Dr hab. inż. Alicja Krzemień, prof. GIG-PIB
Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut Badawczy
Katowice

Katowice, 29.10.2026 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Leszka Malinowskiego

pt. „Dynamiczna baza zasobowa jako element efektywnego zarządzania złożem"

WPROWADZENIE

Podstawę opracowania recenzji stanowi oprawiony wydruk komputerowy pracy doktorskiej, która została zrealizowana pod kierunkiem naukowym promotora, dr. hab. inż. Michała Kopacza, prof. IGSMiE PAN, przy udziale promotora pomocniczego dr. inż. Dominika Galicy. Dyrektor Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, prof. dr hab. inż. Magdalena Wdowin, w imieniu Rady Naukowej Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN oraz swoim zwróciła się 10.09.2026 roku o sporządzenie recenzji pracy doktorskiej mgr. inż. mgr. inż. Leszka Malinowskiego pt. „Dynamiczna baza zasobowa jako element efektywnego zarządzania złożem".

Dysertacja obejmuje 157 stron: 148 stron części głównej wraz z bibliografią i spisami oraz dziewięciostronicowy załącznik nr 1. Rozprawa zawiera osiem rozdziałów merytorycznych, 175 numerowanych pozycji bibliograficznych, 13 numerowanych tabel i 25 rysunków. Załącznik przedstawia dziewięć szczegółowych zestawień scenariuszy eksploatacji.

CHARAKTERYSTYKA TREŚCI ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Rozdział 1 (s. 7-10) przedstawia przesłanki ekonomicznej weryfikacji dostępności zasobów węgla. Autor wskazuje, że wielkość zasobów możliwych do opłacalnego wydobycia zależy nie tylko od rozpoznania geologicznego, lecz także od sposobu i terminu eksploatacji, kosztów oraz otoczenia rynkowego.

Rozdział 2 (s. 11-14) zawiera hipotezę główną i pomocniczą, cel pracy, zadania badawcze oraz wykaz metod i narzędzi informatycznych. Zapowiada integrację modelowania geologicznego, projektowania rozcięcia złoża, rachunku ekonomicznego, oceny ryzyka i harmonogramowania.

Rozdział 3 (s. 15-38) omawia klasyfikowanie zasobów, cyfrowe modele złóż, ewidencję kosztów, metody wyceny oraz ryzyko przedsięwzięć górniczych. Stanowi teoretyczne uzasadnienie zastosowania podejścia dochodowego i kryterium NPV.

Rozdział 4 (s. 39-67) dotyczy planowania produkcji, uwarunkowań geologicznych, technicznych i ekonomicznych oraz zagrożeń naturalnych. Przegląd

narzędzi cyfrowych i metod optymalizacyjnych wyjaśnia specyfikę planowania eksploatacji systemem ścianowym.

Rozdział 5 (s. 68-71) syntetyzuje przegląd literatury i określa lukę badawczą. Autor uzasadnia potrzebę powiązania geometrii eksploatacji z ekonomiczną kwalifikacją zasobów i aktualizowaniem ocen w zmiennych warunkach.

Rozdział 6 (s. 72-107) stanowi zasadniczą część metodyczną. Przedstawiono architekturę rozwiązania, modele złoża i eksploatacji, zasady alokacji kosztów oraz algorytm generowania układów ścian. Dla parceli H porównano warianty geometrii i przeprowadzono analizę wrażliwości na cenę węgla.

Rozdział 7 (s. 108-123) przedstawia zastosowanie metody do złoża „N". Wyodrębniono warianty „Efektywna Kopalnia", „Efektywna Parcela" i „Efektywna Ściana", a dla każdego z nich trzy sposoby harmonogramowania. Wyniki dziewięciu scenariuszy zestawiono w tabeli 7.3, na rysunku 7.7 i w załączniku nr 1. Przedstawiono również sposób dostosowania stopy dyskontowej do ryzyka.

Rozdział 8 (s. 124-131) podsumowuje metodę i wyniki oraz wskazuje ograniczenia i kierunki dalszych badań. Bibliografię zamieszczono na s. 132-145, a spisy tabel i rysunków na s. 146-148.

W recenzji przyjęto następujące kryteria oceny: uzasadnienie wyboru tematu i problematyki badawczej, poprawność formułowania celów i tezy pracy, ocena struktury rozprawy i jej zawartości merytorycznej, uwagi merytoryczne i formalne oraz wynikającą z wyżej sformułowanych kryteriów ostateczną konkluzję.

Wybór tematu i określenie problematyki badawczej

Wybór tematu oceniam jako trafny. Autor podejmuje rzeczywisty problem zarządzania złożem: rozbieżność pomiędzy ilością rozpoznanej kopaliny a ilością, którą można wydobyć w technicznie wykonalnym i ekonomicznie uzasadnionym harmonogramie. Szczególnie wartościowe jest rozpatrywanie zasobów łącznie z geometrią ścian, koncentracją produkcji i kosztami utrzymania infrastruktury, zamiast posługiwania się jedynie wskaźnikiem zasobów przypadających na roczne wydobycie.

Lukę badawczą należy jednak ujmować precyzyjniej niż jako ogólny brak dynamicznego podejścia do zasobów. Sam Autor omawia ekonomiczne przesłanki kwalifikowania zasobów w standardzie JORC (s. 16-17) oraz istniejące metody planowania i optymalizacji (s. 61-71). Oryginalności pracy upatruję zatem przede wszystkim w szczegółowej integracji tych elementów dla eksploatacji ścianowej, a nie w samym uzależnieniu wielkości zasobów od opłacalności.

Wartość aplikacyjna jest potencjalnie duża: metoda może wspomagać porównywanie kierunków rozwoju eksploatacji i identyfikowanie partii złoża niekorzystnych ekonomicznie. Zastosowanie przemysłowe wymaga jednak wiarygodnej kalibracji i sprawdzenia wykonalności harmonogramu. Zaprezentowany przykład jest weryfikacją obliczeniową na danych rzeczywistego złoża, a nie dowodem osiągnięcia prognozowanych efektów w eksploatacji.

Cel i teza pracy

Na s. 12 sformułowano hipotezę główną: „Istnieje możliwość opracowania metody wyznaczania dynamicznej bazy zasobowej z wykorzystaniem profesjonalnych narzędzi informatycznych dedykowanych zarządzaniu złożem". Hipoteza pomocnicza dotyczy możliwości wyboru optymalnego scenariusza eksploatacji, uwzględniającego efektywność ekonomiczną i maksymalizującego wartość złoża.

Cel oraz zadania badawcze na s. 12-14 są ze sobą powiązane i odpowiadają tytułowi rozprawy. Hipoteza główna ma charakter konstrukcyjny: opracowanie działającej procedury i przedstawienie jej zastosowania stanowią argument na jej potwierdzenie. Jej wartość poznawczą zwiększyłoby określenie mierzalnych kryteriów poprawy względem rozwiązania referencyjnego, np. jakości decyzji lub czasu przygotowania wariantów.

Silniejszego uzasadnienia wymaga hipoteza pomocnicza. Wybór najkorzystniejszego wyniku spośród wariantów dyskretnych i dziewięciu skonstruowanych scenariuszy nie jest równoważny wykazaniu globalnego maksimum wartości złoża. Autor dostrzega potrzebę szerszych testów na s. 128, dlatego stwierdzenie pełnej weryfikacji hipotez na s. 129 powinno zostać odpowiednio ograniczone.

Należy też konsekwentnie oddzielać maksymalizację NPV od maksymalizowania ilości zasobów przy warunku dodatniego NPV. Autor rozróżnia te kryteria w podsumowaniu na s. 127. Zasadniczy cel konstrukcyjny pracy został osiągnięty; zakres dowodu optymalności oraz ilościowego potwierdzenia korzyści wymaga doprecyzowania.

Metoda badawcza

Dobór metod odpowiada interdyscyplinarnemu charakterowi zagadnienia. Schemat na rysunku 6.1 (s. 76) przedstawia logiczne połączenie modeli geologicznego, eksploatacyjnego i ekonomicznego, algorytmu rozcięcia parceli, oceny uciążliwości oraz harmonogramowania. Powiązanie informacji przestrzennej z kosztami i terminami robót stanowi mocną stronę koncepcji.

Model geologiczny wykonano w MineScape, natomiast projektowanie i harmonogramowanie w Deswik.CAD i Deswik.Sched. W opisie danych wymieniono 66 otworów archiwalnych, 10 profili wyrobisk oraz 42 próbki wykorzystane do modelowania parametrów jakościowych (s. 77-79). Uzasadniono wybór interpolatorów FEM 0 i FEM 1 oraz odstąpienie od HEIGHT 4. Nie przedstawiono jednak ilościowej oceny błędów prognozowania miąższości i jakości, co ogranicza możliwość oszacowania niepewności wartości zasobów.

Podział kosztów na związane z pracą ścian, drążeniem wyrobisk oraz utrzymaniem zakładu (s. 88-96) umożliwia odwzorowanie skutków zmiany geometrii eksploatacji. Jest to rozwiązanie bardziej informacyjne niż jednolity koszt wydobycia na tonę. Wymaga jednak uzgodnienia danych bazowych, zasad przenoszenia kosztów kopalni „X" na złoże „N" oraz odróżnienia kosztów księgowych od wydatków pieniężnych.

Algorytm rozcięcia testuje kombinacje parametrów geometrycznych w zadanych granicach. Dla parceli H wygenerowano 6864 warianty (s. 106). Podano kroki

dyskretyzacji i ograniczenia (tabela 6.5), a ocenę uzupełniono kontrolą ekspercką warunków górniczych (s. 105).

Weryfikacja obejmuje jeden przypadek złożowy, trzy reguły selekcji zasobów i trzy sposoby układania harmonogramu. Doceniam analizę cenową parceli H (s. 107) oraz dodatkowy test zależności postępu od długości ściany (s. 109). Nie zastępują one jednak walidacji prognoz kosztów, sprawdzenia modelu na niezależnych danych ani analizy odporności całego rankingu scenariuszy.

Struktura rozprawy, zawartość merytoryczna

Układ rozprawy jest logiczny: od przeglądu literatury i identyfikacji problemu Autor przechodzi do budowy metody, przykładu obliczeniowego i wniosków. Rozdziały 6 i 7 stanowią wyraźnie wyodrębniony rdzeń pracy. Część przeglądowa jest obszerna, miejscami podręcznikowa; korzystne byłoby mocniejsze powiązanie opisu poszczególnych zagrożeń z ograniczeniami faktycznie zastosowanymi w modelu.

Za najważniejsze osiągnięcia uznaję zbudowanie zintegrowanej procedury wspomagania decyzji, opracowanie algorytmu generowania rozcięcia parceli oraz powiązanie geometrii ścian z alokacją kosztów. Wartościowe jest także pokazanie odmiennych skutków kwalifikowania zasobów na poziomie ściany, parceli i kopalni. Wkład ten ma charakter metodyczno-aplikacyjny i wykracza poza samo wykorzystanie gotowego oprogramowania.

Sposób prezentacji przestrzennej na rysunkach 7.1-7.4 oraz zestawienie scenariuszy w tabeli 7.3 ułatwiają interpretację wyników.

Przegląd bibliograficzny obejmuje opracowania geologiczne, górnicze, ekonomiczne i optymalizacyjne. Autor odwołuje się do wcześniejszych metod oceny ryzyka i kosztów, w tym prac Kulpy [74] i Kopacza [175], oraz publikacji współautorskich [155]-[156]. Należy wyraźniej wskazać, które elementy danych, modeli i implementacji stanowią samodzielny wkład Doktoranta, a które zostały zaadaptowane. Nie jest to zarzut niesamodzielności, lecz potrzeba jednoznacznego przypisania osiągnięć.

Uwagi dotyczące strony merytorycznej i formalnej

Strona formalna

Opracowanie jest czytelne, a większość tabel i rysunków ma podpisy i wskazane źródła. Szczególnie przydatne są schemat metody (rys. 6.1), diagram algorytmu (rys. 6.7) i mapy wyników ekonomicznych. Zestawienia w załączniku są jednak bardzo gęste i wymagają powiększenia, co utrudnia kontrolę rachunkową w wydruku.

Korekty wymagają oznaczenia i jednostki. W tabeli 6.6 (s. 106) cenę węgla wzorcowego opisano jednostką PLN zamiast PLN/Mg. Symbol nr oznacza w równaniu (6.8) sumę roboczodni, a w (6.11) liczbę ścian prowadzonych równolegle. Podpis rysunku 7.5 (s. 115) nie zachowuje konsekwentnie rozróżnienia wariantu bazy zasobowej i scenariusza harmonogramowania.

W bibliografii pozycje [23] i [83] powtarzają tę samą monografię Revuelty. Wykaz skrótów dwukrotnie wymienia UNFC (s. 6). Wskazane jest ujednolicenie opisów

bibliograficznych, zapisu nazw programów oraz korekta językowa, m.in. sformułowania „zarządzania w każdym przedsięwzięciem" na s. 39.

Strona merytoryczna

Poniższe uwagi obejmują zarówno pytania metodyczne, jak i rozbieżności wymagające korekty lub wyjaśnienia. Obliczenia kontrolne przywołane w recenzji wykonano na liczbach opublikowanych w rozprawie; nie zastępują one weryfikacji oryginalnych plików modelu.

Uwagi dyskusyjne:

1. Kryterium wyboru i zakres wykazanej optymalności

Praca operuje maksymalizacją wyniku parceli, jednostkowego wyniku ściany, NPV oraz wielkości zasobów. Kryteria te są uzasadnione dla różnych decyzji, ale wymagają jednoznacznej hierarchii (s. 10-13, 83-84, 111-114, 127). Układ parceli wybrany według wyniku niedyskontowanego nie musi maksymalizować NPV po ułożeniu harmonogramu. Ponadto skończona siatka parametrów i trzy reguły kolejności nie wyczerpują wszystkich dopuszczalnych rozwiązań.

Proszę przedstawić formalny zapis zadań decyzyjnych oraz wyjaśnić, w jakim zakresie używa się określenia „optymalny". Czy wykonano test zagęszczenia siatki, porównanie z projektem eksperckim lub rozwiązaniem odniesienia dla uproszczonego przypadku? Brak gwarancji globalnego optimum nie przekreśla wartości heurystyki, lecz wymaga odpowiedniego ograniczenia hipotezy pomocniczej i wniosków.

2. Wiarygodność modelu geologicznego i reprezentatywność danych

Liczba 66 otworów, 10 profili oraz 42 próbek jakościowych stanowi konkretną informację o materiale wejściowym, ale sama nie dowodzi jego wystarczalności dla obszaru przekraczającego 36 km^2 (s. 77-79). Wyniki ekonomiczne zależą od lokalnej miąższości, jakości węgla i przebiegu granic parcel. Opis porównania interpolatorów nie zastępuje ilościowej walidacji.

Jakie błędy modelu uzyskano dla danych kontrolnych lub w walidacji krzyżowej? Jak dobrano parametry interpolacji jakości metodą odwrotnych odległości i jak uwzględniono nierównomierne rozpoznanie? Proszę wskazać, w jaki sposób niepewność geologiczna przenosi się na granice zasobów uznanych za efektywne, zwłaszcza dla ścian o wyniku bliskim zeru. Istotne jest także podanie okresu odniesienia danych kosztowych i cenowych bez naruszania anonimizacji kopalni.

3. Ekwiwalent wyniku operacyjnego a przepływy pieniężne

Na s. 83 Autor właściwie zastrzega, że stosowana miara jest ekwiwalentem wyniku operacyjnego. W równaniu (7.1), s. 116, przepływ pieniężny wyznaczono jednak bezpośrednio przez opodatkowanie tej miary. Uzasadnieniem uproszczenia jest względne równoważenie amortyzacji i nakładów w czasie. Nie przedstawiono zestawienia potwierdzającego to założenie ani pełnego uzgodnienia zmian kapitału obrotowego, nakładów odtworzeniowych oraz wydatków końcowych.

Które wydatki są już zawarte w kosztach modelu, które są historyczne i nieodwracalne, a które pominięto? Proszę odróżnić ocenę przyrostowej eksploatacji pola przy istniejącej kopalni od wyceny całego przedsięwzięcia. Koszt wspólny dla wariantów może nie zmieniać ich kolejności, ale nadal wpływać na spełnienie warunku NPV > 0, jeżeli pozostaje przyszłym wydatkiem. Czy uwzględnienie likwidacji, rekultywacji i zmiany kosztów infrastruktury pod koniec eksploatacji zmienia kwalifikację zasobów?

4. Dyskontowanie przy stopie zmiennej w czasie

Równanie (7.2), s. 116, wykorzystuje mianownik (1 + WACCt)t. Jednocześnie na s. 119 WACCt jest wyznaczane przez ważenie ryzyka ścian eksploatowanych w danym roku. Powstaje zasadnicze pytanie, czy stopa oznacza koszt kapitału danego okresu, czy równoważną stopę dla całego horyzontu od momentu wyceny do roku t.

W pierwszej interpretacji czynnik dyskontujący powinien wynikać z iloczynu kolejnych czynników rocznych. Potęga zastosowana w rozprawie może być uzasadniona przy drugiej interpretacji, której jednak nie wyprowadzono. Kontrolne przeliczenie opublikowanych, zaokrąglonych CF i WACC z załącznika przy interpretacji stóp okresowych daje dla EŚ-GRUPY około 239,0 mln PLN, a dla EŚ-MAX-MIN około 252,7 mln PLN, zamiast odpowiednio 257,41 i 243,22 mln PLN z tabeli 7.3. Zmienia się więc kolejność tych dwóch scenariuszy. Nie są to zastępcze wyniki wyceny, lecz test konsekwencji interpretacji stóp. Proszę uzasadnić przyjętą konwencję i przedstawić uzgodnione obliczenia na danych niezaokrąglonych.

5. Kalibracja ryzyka i odróżnienie go od ograniczeń technicznych

Rysunek 7.6 (s. 118) pokazuje strukturę i wagi modelu AHP, a równania (7.3)-(7.6) opisują przeliczenie wskaźnika RF na stopę dyskontową. Samo podanie wag nie wystarcza jednak do oceny wiarygodności ich wyznaczenia. Istotne są skład i dobór ekspertów, macierze porównań, miary zgodności oraz zasady normalizacji zmiennych.

Jak zweryfikowano kalibrację modelu dla złoża „N", wykorzystując podejście zaczerpnięte z pracy [74]? Proszę podać wartości parametrów niezbędnych do odtworzenia WACC i zbadać wrażliwość rankingu na wagi oraz bazowy poziom 10%. Należy również rozdzielić oczekiwany koszt trudniejszych warunków, niepewność tego kosztu oraz ograniczenia bezpieczeństwa eliminujące wariant. Podwyższona stopa dyskontowa nie zastępuje obowiązku technicznej wykonalności ani nie musi właściwie odwzorowywać ryzyka przyszłych strat.

6. Wykonalność harmonogramu i porównywalność scenariuszy

Na s. 81-82 opisano zależności zapewniające kolejność robót, lecz na s. 83 wyraźnie zaznaczono, że w przykładzie jako zadania zamodelowano jedynie wyrobiska eksploatacyjne, bez powiązań z robotami chodnikowymi. Koszt ich wykonania jest uwzględniony, natomiast samo ujęcie kosztu nie potwierdza terminowej dostępności frontu.

Jak zweryfikowano wydolność robót przygotowawczych, możliwości transportu, wentylacji i organizacji pracy dwóch kompleksów? Proszę wskazać ograniczenia

sprawdzane automatycznie i pozostawione ocenie eksperckiej. Dodatkowo reguła eliminowania ścian, których ponad 75% zasobów miałoby być wybierane bez drugiej równoległej ściany (s. 114), zmienia skład bazy zasobowej. Jak uzasadniono ten próg? Rozdzielenia wymaga wpływ samej kolejności eksploatacji od wpływu zmiany zbioru wybieranych ścian.

7. Dynamiczny charakter metody i odporność rekomendacji

Rozprawa zasadnie definiuje bazę zasobową jako zależną od zmiennych uwarunkowań. W dziewięciu tabelach załącznika cena węgla wzorcowego pozostaje jednak równa 450 PLN/Mg w każdym roku. Zmienność harmonogramu i ryzyka potwierdza czasowy wymiar oceny, lecz nie jest jeszcze demonstracją adaptacyjnego reagowania na zmiany rynku. Analiza cenowa na s. 107 dotyczy pojedynczej parceli, nie całego rankingu NPV.

Jak zmieniają się zasoby i rekomendowany scenariusz przy współwystępowaniu zmian cen, kosztów energii i pracy oraz postępu robót? Szczególne znaczenie ma różnica NPV EŚ-GRUPY i EP-GRUPY: 1,72 mln PLN, czyli około 0,67% wartości drugiego z tych wyników (tab. 7.3). Bez analizy niepewności nie wiadomo, czy przewaga ta jest stabilna. Doceniam wskazanie przez Autora potrzeby badania odporności na s. 128; należy wyraźnie oddzielić ten postulowany kierunek od już wykonanej weryfikacji.

8. Interpretacja wielkości zasobów, okresu eksploatacji i korzyści

Wariant EK-MAX-MIN daje według tabeli 7.3 dodatnie NPV 159,60 mln PLN, lecz ujemną sumę przepływów -194,70 mln PLN. Taki układ nie stanowi sam w sobie sprzeczności matematycznej: wcześniejsze wpływy mogą mieć większą wartość bieżącą niż późniejsze wydatki. Wymaga jednak omówienia finansowania końcowych strat i ekonomicznie uzasadnionego momentu zakończenia eksploatacji. Autor dostrzega problem kosztów końcowych na s. 123; powinien go powiązać z wnioskiem o 22 latach „stabilnej" eksploatacji na s. 127.

Na s. 127 wskazano ponadto, że rezygnacja z około 17,5 mln Mg i skrócenie eksploatacji do 14 lat zwiększa NPV o 129%. Dla odpowiadającego temu opisowi porównania EK-MAX-MIN i EŚ-GRUPY wzrost z 159,60 do 257,41 mln PLN wynosi około 61,3%. Proszę wskazać podstawę obliczenia 129% albo poprawić wniosek. Czy 47,8 mln Mg oznacza maksimum w przebadanym zbiorze scenariuszy, czy maksimum wykazane dla wszystkich rozwiązań dopuszczalnych? Wynik ten powinien pozostać warunkowy względem jawnie określonych założeń, a nie być przedstawiany jako niezależna od nich cecha złoża.

Konkluzja

Całościowa analiza rozprawy pozwala stwierdzić, że mgr inż. Leszek Malinowski podjął istotny problem naukowo-aplikacyjny i wykazał znajomość zagadnień modelowania złóż, planowania eksploatacji oraz oceny ekonomicznej. Integracja modeli, opracowanie algorytmu rozcięcia parceli i wykonanie wielowariantowego studium przypadku wskazują na umiejętność samodzielnego prowadzenia prac badawczych. W tym zakresie praca zasługuje na pozytywną ocenę.

Oryginalnego wkładu upatruję w zintegrowanej metodzie wspomagania decyzji dla eksploatacji ścianowej oraz w jej autorskich elementach obliczeniowych.

Art. 187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tekst jednolity ogłoszony w Dz.U. z 2026 r. poz. 1362) wymaga wykazania wiedzy teoretycznej, zdolności do samodzielnej pracy naukowej oraz oryginalnego rozwiązania problemu naukowego albo oryginalnego zastosowania wyników własnych badań. Oceniana rozprawa dostarcza argumentów za spełnieniem tych kryteriów.

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia wymogi określone w ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, w której sformułowano wymóg, iż "rozprawa doktorska powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub artystycznego oraz wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej lub artystycznej, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej".

Wnoszę zatem do Rady Naukowej Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN o dopuszczenie jej do publicznej obrony.