

Prof. dr hab. inż. Adam Piestrzyński
Katedra Geologii Żyłowej i Górnicej
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska
Akademia Górnice-Hutnicza

Kraków 15.11.2021

Recenzja

Rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Dominika Galica

Tytuł pracy: Cyfrowy model geologiczny złoża jako narzędzie wspomaganie decyzji w działalności kopalni węgla kamiennego

Praca została wykonana pod naukowym kierownictwem dr hab. inż. Jacka Sobczyka i promotora pomocniczego dr inż. Jerzego Kickiego

Recenzja została wykonana na zlecenie Rady Naukowej Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie pismo AO-520-6/16 z dnia 26.10.2021

Wprowadzenie

Przedstawiona do oceny praca jest opracowaniem monograficznym, mającym wszelkie cechy pracy badawczej. Zawiera bardzo dobrze opracowany i obszerny materiał faktograficzny, uzupełniony szczegółowymi rozwiązaniami modelowania 3D. Zakres metod badawczych został dobrany prawidłowo. W pracy zostały przedstawione wyniki badań i rozważań nad konstrukcją cyfrowych modeli geologicznych i ich znaczenie w postępowaniu decyzyjnym.

Praca składa się z ośmiu dobrze opracowanych rozdziałów, w sumie z 182 strony tekstu, 14 stron z cytowaną literaturą oraz 4 stron ze spisem rysunków. W części zasadniczej przedstawiona praca zawiera 14 tabel. Tabele i rysunki są cytowane poprawnie, aczkolwiek zdaniem recenzenta informacja w podpisach „opracowanie własne” nie powinna być umieszczana. Po prostu materiał przedstawiony w rozprawie doktorskiej jest materiałem autorskim a więc taki dopisek jest zbędny.

Ocena merytoryczna pracy

Rozdział 1. Wprowadzenie

Rozdział ten zawiera krótkie wprowadzenie w temat z podaniem problemów związanych z wprowadzaniem systemów modelowania geologicznego opartego na zapisach cyfrowych. Modele takie mogą się stać jednym z elementów wspomaganie decyzyjnego.

„Problemy decyzyjne” w górnictwie powinny być tutaj lepiej zdefiniowane.

Rozdział 2. Cel, tezy badawcze oraz zakres pracy.

Cel rozprawy jest przedstawiony w sposób zwięzły. Co do tezy/tezy istnieje następująca wątpliwość. W tytule rozdziału autor wymienia „tezy badawcze”. W samym rozdziale pisze o tezie badawczej. Zaś pogrubiony fragment dotyczący tezy zawiera dwa zdania mogące być odrębnymi tezami. Na stronie następnej (13) wymieniane są zadania, które mają posłużyć

weryfikacji postawionej tezy. Elementy weryfikacji tezy przedstawione są jasno. Cała praca będzie omówieniem szczegółowego procesu budowy cyfrowego modelu.

Zdaniem recenzenta doktorant powinien przedstawić swój wybór złoża sygnalizowany w końcówce rozdziału i ewentualnie podać kryteria jego wyboru.

Rozdział 3. Cyfrowy model złoża jako narzędzie interpretacji i dokumentacji złoża.

Rozdział ten składa się z trzech podrozdziałów. Przedstawiony został historyczny rozwój zobrazowania złoża oraz rola geologa górniczego. Model złoża został przedstawiony przez Doktoranta jako narzędzie ułatwiające „zarządzanie dużymi zbiorami danych geologicznych”. Rozwijając tą myśl, Doktorant stwierdza, że cyfrowy model jest podstawą do „wszelkich działań związanych” z planowaniem eksploatacji i optymalizacją rachunku ekonomicznego. W rezultacie jest narzędziem służącym do sterowania wydobywaniem. Zdaniem doktoranta prawidłowo zbudowany model cyfrowy pozwala na lepsze zarządzanie wydobywaniem wraz z przyrostem ilości danych oraz do szybszego podejmowania decyzji.

W pierwszym podrozdziale został przedstawiony podział, charakterystyka różnych modeli, trudności w ich tworzeniu oraz zalety i wady. Wyróżnia następujące grupy modeli: deterministyczne i probabilistyczne; jawne i niejawne, modele siatkowe i blokowe. Wyróżnia również modele strukturalne i jakości kopaliny.

Wyjaśnienia wymaga zapis na stronie 23 „podstawowe jednostki stratygraficzne, które podlegać będą modelowaniu są nazywane unikalnie”.

W podrozdziale drugim Doktorant przedstawia pięć etapów geologicznego modelowania:

1. Gromadzenie danych
2. Wybór metody modelowania
3. Definiowanie modelu
4. Budowa i weryfikacja modelu
5. Utrzymywanie i aktualizacja modelu.

Zdaniem recenzenta pierwsze dwa punkty powinny być przestawione. Wybór metody modelowania zwykle determinuje systemy gromadzenia danych.

Słowo „validacja” (str. 25) jest spolszczoną wersją angielską. Czy nie lepiej użyć słowa zatwierdzenie, rewizja czy weryfikacja. To geolog, jako osoba kompetentna, zatwierdza, sprawdzając jakość zebranych danych wyjściowych do modelowania.

W gromadzeniu danych brak informacji o geofizyce. Geofizyka jest zwykle częścią prac dokumentacyjnych. Właściwie zinterpretowana pomaga w wyznaczaniu granic interpolacyjnych i ekstrapolacyjnych, które we wszystkich modelach sprawiają dużo trudności.

Zdanie na stronie 16 „Wybór odpowiedniej metody modelowania związany jest z (Wellma i Caumon,2018): Powinno być: Wg Wellmana’a i Caumona (2028) wybór.....”

Jak rozumieć „wizualna kontrolę modelu”; „Kontrolę wizualną i statystyczna zgodności z danymi wejściowymi”?? (str. 28).

Podrozdział trzeci przedstawia problemy cyfrowego modelowania złóż węgla kamiennego. Doktorant przedstawia historię rozwoju systemów informatycznych cyfrowych modeli złóż węgla, jak również ich udział w systemach zarządzania. Przedstawia problemy praktycznego zastosowania ze względu na wykorzystanie skomplikowanych narzędzi geostatystycznych. W zależności od typu węgla stosowane są modele o zróżnicowanej ilości parametrów.

Rozdział 4. Planowanie górnicze z wykorzystaniem cyfrowego modelu geologicznego złoża. Rozdział ten zawiera dwa podrozdziały.

W podrozdziale pierwszym, Doktorant przedstawia różnorodne elementy planowania górniczego. Jest ono związane z etapem działalności takiego zakładu. Wyszczególnione zostały trzy segmenty takiego planowania: i) poziom szczegółowości, ii) hierarchia ważności problemów i iii) ramy czasowe analizy. W segmencie hierarchicznym wyróżniono planowanie strategiczne, taktyczne i operacyjne. Wszystkie elementy planowania omówione zostały w oparciu o prawidłowo cytowaną literaturę. Wskazuje to na dobrą znajomość przedstawianych problemów przez Doktoranta.

Wyjaśnienia wymaga ostatnie zdanie ze strony 37. Co znaczy dobrze rozpoznane złożo. Wskazane jest podanie przykładu. Trudno jest znaleźć dobrze rozpoznane złożo.

Podrozdział drugi przedstawia możliwości i reguły wykorzystania modelu złóż węgla kamiennego na poszczególnych etapach jego zagospodarowania. Na różnych etapach udostępniania złoża wyznaczane są odrębne cele. Zdaniem Doktoranta, właściwy model cyfrowy złoża pozwala na zwiększenie poprawności decyzyjnej, uniknięcia błędów również na etapie harmonogramowania. Wymusza to sekwencję wykonywania robót górniczych, co z kolei ma znaczny wpływ na koszty wszystkich prac i robót. Dużą rolę odgrywają również informacje zawarte w modelu o obecności potencjalnych przerostów skały płonnej. Obecność przerostów ma duży ujemny wpływ finansowy na wszystkie elementy związane z urabianiem i przeróbką. Model cyfrowy wpływa istotnie na decyzje etapu planowania operacyjnego i monitorowania procesu eksploatacji. Pozwala to przewidzieć zmiany ilościowe zaburzeń tektonicznych i zmiany w jakości urobku.

Zdaniem recenzenta, w przypadku braku modeli rzeczywistych, wykorzystanie algorytmów heurystycznych do optymalizacji metod rozcięcia złoża może prowadzić do wypaczenia metod planowania optymalizacji położenia np. wyrobisk udostępniających i rozcinających

Rozdział 5. Wielokryterialne wspomaganie rozwiązywania decyzji.

Rozdział ten składa się z trzech podrozdziałów.

Cały rozdział poświęcony jest wyborze i ocenie wybranej metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji. Doktorant analizuje przedstawione schematy podziału wielokryterialnych metod. Najwięcej dyskusji poświęca metodzie AHP (Analytic Hierarchy Process), która jest najczęściej wybieraną metodą typu hierarchicznego. Analizie metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji poświęcony jest cały podrozdział pierwszy. Natomiast w podrozdziale drugim Doktorant zrobił opisowy przegląd zastosowań tych metod, wskazując metodę AHP jako najbardziej popularną w rozwiązaniach górnictwa węglowego.

W podrozdziale trzecim szczegółowej analizie poddana jest właśnie ta wybrana metoda z uwzględnieniem analizy SWOT i modeli hierarchicznych BOCR (benefits, oportunities, costs, risk). Właściwego wyboru dokonuje się poprzez opracowanie strategicznych kryteriów jako standardów, oraz współczynnika obliczeniowego BO/CR. Doktorant wykazuje się tutaj doskonałą znajomością omawianych problemów. Wszystkie punkty dyskusyjne poparte są właściwymi cytowaniami polskiej i międzynarodowej literatury. Obydwa te elementy wskazują na opanowanie przez Doktoranta procesu analiz wielokryterialnych. Wybór analizy AHP nie

jest przypadkowy. Jest ona stosowana w wielu dziedzinach badań. Działa poprzez redukcję kryteriów analizując je parami.

Rozdział 6. Metodyka wspomaganie decyzji w działalności kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem cyfrowego modelu geologicznego.....

W tym rozdziale Doktorant przedstawia metodykę najlepszego sposobu zagospodarowania złoża węgla wykorzystując wielokryterialne metody wspomaganie decyzji.

W podrozdziale pierwszym przedstawione zostały założenia metodyki wspomaganie decyzji w działalności ZG na podstawie cyfrowego modelu złoża. Doktorant przedstawia własną koncepcję metodyki wspomaganie decyzji w zarządzaniu złożem analizując cztery wyróżnione etapy o stopniowo wzrastającej szczegółowości kryteriów i wariantów symulacyjnych. Etap I to charakterystyka problemu decyzyjnego; etap II przedstawia warianty zagospodarowania złoża, etap III sprowadza się do wyboru kryteriów oceny i etap IV stanowi ostateczną ocenę wariantów z wykorzystaniem analizy SWOT i modelu AHP

W podrozdziale drugim przedstawiony jest przegląd kryteriów w procesie konstrukcji wariantów zagospodarowania złoża. Doktorant proponuje również dobór kryteriów geologicznych, produkcyjnych, środowiskowych oraz społecznych i formalnoprawnych (Rys. 6.2).

W podrozdziale 3 omówiony został proces tworzenia cyfrowego modelu złoża. Doktorant przedstawia elementy, które powinny być modelowane (str. 74). Model cyfrowy ma przedstawić „możliwie pełną informację o kopalinie i warunkach jej zalegania”.

W jaki sposób można określić stosunek takiego modelu do modelu heurystycznego opisywanego wcześniej. Recenzentowi brak tutaj informacji o tektonice. Wyjaśnienia wymaga również stwierdzenie na Rys. 6.3 – Walidacja danych – co Doktorant rozumie pod tym pojęciem?; jak ma przebiegać, czy może jest to „cross-validation” ?.

Schemat tworzenia modelu strukturalnego przedstawiony został na Rys.6.5. Na podstawie takiego schematu tworzony jest model jakości kopaliny. Zdaniem Doktoranta modelowaniu podlegają te parametry, które decydują o wartości kopaliny.

W podrozdziale 6.4 przedstawione zostały zasady projektowania robót górniczych oraz harmonogramowania robót i produkcji wraz z raportowaniem. Wszystkie te elementy przedstawione zostały na przejrzystych schematach.

W podrozdziale 6.5 Doktorant proponuje ocenę efektywności ekonomicznej przedstawionych wariantów zagospodarowania złoża. Wskazuje metodę NPV jako najbardziej wiarygodną gdyż uwzględnia zmiany wartości pieniądza w czasie. Natomiast największy wpływ na ocenę wartości inwestycji będą miały parametry uzysku i wszystkie związane z jakością węgla. Zmiana wskaźnika uzysku, który jest płynny i bezpośrednio związany z produkcją powinna skutkować korektą kosztów.

Zdaniem Recenzenta wskazany jest tutaj konkretny przykład. Jak głęboko może się zmienić decyzja w oparciu o zmianę jednego parametru jakim jest uzysk. Parametry jakościowe raczej nie ulegają gwałtownym zmianom.

Podrozdział 6.6. przedstawia schemat oceny wpływu eksploatacji na środowisko. Jest to ważny fragment pracy wskazujący również na pomoc w rozwiązywaniu tych problemów z udziałem

modelu 3D. Doktorant wskazuje na dwa istotne czynniki deformacje terenu i prognozę ilości odpadów (Rys.6.12)

Podrozdział 6.7. Doktorant wskazuje na trudności w doborze kryteriów oceny. Kryteria zostały podzielone na 8 grup. Ich rozwinięciem jest Tab. 6.2.

Wyjaśnienia wymaga „ Ryzyko nieuzyskania koncesji”- czy są to kwestie polityki surowcowej, strategii rozwoju czy społeczne. Te ostatnie zaczynają odgrywać coraz większą rolę. Zdaniem Doktoranta, niektóre kryteria mogą mieć znikomy wpływ na ocenę inwestycji i/lub jej wariantów.

W podrozdziale 6.8 Doktorant przedstawia pięć etapów wyboru wariantu eksploatacji z wykorzystaniem metody AHP.

Wyjaśnienia wymaga pierwsze zdanie zapisane w etapie I – „Budowa modeli dla”- jakich modeli - geologicznych, ekonomicznych czy eksploatacji ?.

Rozdział 7. Weryfikacja zaproponowanej metodyki

Weryfikacja zaproponowanej metodyki zagospodarowania złoża węgla kamiennego została przeprowadzona na wymyślonym modelu złoża, któremu zmieniono parametry. Można to jedynie zrozumieć jako symulacja procesu decyzyjnego. W etapie pierwszym, Doktorant przedstawia charakterystykę zlokalizowanego obok zakładu górniczego przedstawiając m.in. zdolności wydobywcze szybów. *Pozostaje pytanie a co z wentylacją?, przy znacznym wydłużeniu dróg transportowych.* Informacja o wyrobiskach pionowych pojawia się dopiero w podrozdziale 7.2.3.1. Doktorant przedstawia w jednym z podrozdziałów budowę złoża „perspektywicznego”, które udokumentowane jest w różnych kategoriach (C1, B i C2). Z opisu wynika, że złożo jest udokumentowane geologicznie prawidłowo. Dlaczego w opisach występuje jako perspektywiczne? Zdaniem recenzenta, ryzyko inwestycyjne nie będzie tylko związane z oceną warunków geologiczno-górnicznych i wpływu eksploatacji na środowisko, lecz również z decyzjami politycznymi i społecznymi lokalnych władz wydawanych pod presją społeczną.

W etapie drugim, Doktorant przedstawia założenia do konstrukcji cyfrowego modelu. Wszystkie założenia do konstrukcji modelu zostały przedstawione prawidłowo. Wartość merytoryczna całej pracy zawarta jest w tym podrozdziale. Doktorant analizuje rozwiązania wariantowe przedstawiając kolejno problemy z zagospodarowaniem złoża, projekty rozcięcia złoża i harmonogramy prac z tym związane, projekty rozcięcia pokładów, przedstawia ocenę wpływu eksploatacji na środowisko i ocenę efektywności ekonomicznej. W tym harmonogramy robót górniczych kalkulację nakładów, kosztów operacyjnych, różnorodnych podatków, odpisów finansowych (np. na likwidację zakładu) i dywidend.

Ważnym elementem tego rozdziału jest fragment poświęcony wyborowi kryteriów i oceny przedstawionych wariantów z wykorzystaniem analizy SWOT. Doktorant proponuje tutaj budowę modeli hierarchicznych (BOCR) i porównanie kryteriów z wykonanymi ankietami. W modelu korzyści kryteriami są wartości ekonomiczne, techniczne i geologiczne. W modelu szans wyróżniane są grupy kryteriów: ekonomiczne, techniczne, społeczne, rynkowe i środowiskowe. Modele kosztów dopasowane zostały do konkretnych kosztów. Doktorant wyróżnia tutaj dwie grupy kryteriów: nakłady inwestycyjne i koszty operacyjne oraz koszty środowiskowe. Ostatnim modelem hierarchicznym jest model ryzyka związanego z wyborem optymalnego wariantu eksploatacji. W punktowej ocenie SWOT wygrywają warianty

dynamiczne charakteryzujące się również wysokim wskaźnikiem PSS. Zdaniem recenzenta ocena punktowa będzie wyglądała inaczej, jeśli do kryteriów oceny włączony zostanie wskaźnik wykorzystania zasobów.

Recenzent ma wątpliwości czy zaproponowana metodyka weryfikacji będzie właściwa, jeśli złoża jest tylko „perspektywiczne” czyli takie, na którym raczej nie rozpatruje się sposobów zagospodarowania złoża. Na modelu geologicznym powinny być zaznaczone obszary o różnym stopniu udokumentowania. Kategoria niskiego rozpoznania C2 wymagać będzie dodatkowej dokumentacji geologicznej i/lub górniczej, co wymaga dodatkowych nakładów i koncesji. Obszar objęty rozpoznaniem kategorii C2 powinien być wykluczony z wariantowości inwestycyjnych. Pozostaje pytanie – jak będzie przedstawiała się ocena/ranking wariantów jeśli weźmiemy pod uwagę ochronę zasobów ?. Czy wariant eksploatacji złoża bez budowy dodatkowych szybów uzyskałby tak wysoką pozycję rankingową?.

Rozdział 8. Podsumowanie i wnioski

Doktorant dokonuje podsumowania zaproponowanej własnej metodyki wyboru zagospodarowania złoża. Podstawą zaproponowanej metody jest wykorzystanie cyfrowego modelu złoża do przygotowania wielowariantowego modelu eksploatacji. W efekcie zaproponowanej analizy powstaje ranking zaproponowanych wariantów zagospodarowania złoża. Doktorant w swojej rozprawie wskazuje na szereg zalet związanych z wykorzystaniem cyfrowego modelu złoża wspomagającego decyzje wyboru sposobu zagospodarowania złoża.

Wniosek końcowy:

W rozumieniu ustawy o tytule naukowym i stopniach naukowych (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z roku 2003) oraz rozporządzenia Ministra Edukacji z dnia 14 grudnia 2005 roku w sprawie szczegółowego trybu przeprowadzania czynności w przewodach doktorskim i habilitacyjnym stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca o charakterze monograficznym, spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim. Zakres wykorzystania metod badawczych stosowanych zwykle w przygotowaniu modelu cyfrowego złoża oraz prawidłowa interpretacja wyników badań świadczą o dojrzałości naukowej Doktoranta. Wyszczególnione uwagi mają charakter dyskusyjny, które powinny zostać usunięte i/lub przedyskutowane podczas publicznej obrony. Pomimo szeregu uwag, wyszczególnionych na końcu rozdziałów, stawiam wniosek do Rady Naukowej Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie o dopuszczenie Pana mgr inż. Dominika Galicy do dalszego postępowania przewidzianego regulaminem przewodu doktorskiego tj. obrony publicznej. Praca zawiera obszerne, spojrzenie na wykorzystanie modelu cyfrowego złoża, w procesie inwestycyjnym i decyzyjnym związanym z wyborem wariantu udostępnienia i eksploatacji złoża węgla kamiennego. Rozprawa doktorska jest przykładem interdyscyplinarnego i wieloaspektowego rozwiązania problemów decyzyjnych w górnictwie pozwalającego na formowanie interesujących koncepcji badawczych o dużym potencjale aplikacyjnym. Rozprawa przedstawia jednoznacznie olbrzymie znaczenie prawidłowo przygotowanego modelu cyfrowego złoża we wszystkich etapach zagospodarowania złoża węgla kamiennego. Biorąc pod uwagę merytoryczną stronę pracy, głęboką znajomość

omawianych problemów, złożoność procesów decyzyjnych oraz udokumentowaną znajomość elementów inwestycyjnych przez Doktoranta, stawiam wniosek o wyróżnienie tej rozprawy doktorskiej. Rozprawa powinna zostać opublikowana w całości jako monografia.

Prof. Adam Piestrzyński