

Dr hab. inż. Waldemar Korzeniowski, prof.AGH

Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica
Wydział Górnictwa i Geoinżynierii
Katedra Górnictwa Podziemnego
Al.Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Kraków, 15 lutego 2019r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Macieja Bodlaka

p.t.:

PROGNOZA WYRZUTÓW GAZÓW I SKAŁ DLA PROJEKTOWANEJ EKSPLOATACJI ZŁOŻA WĘGLA KAMIENNEGO „WACŁAW-LECH”

Recenzja została wykonana na prośbę Pani Dziekan Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii prof. dr hab.inż. Moniki Hardygóry (pismo z dnia 22.01.2019r., sygn.: W6/135/2019).

1. Ocena wyboru tematu pracy:

Tematyka dysertacji związana jest z planami podjęcia ponownej eksploatacji węgla kamiennego w byłej kopalni Nowa Ruda, której początki sięgają XVIII wieku, a zasoby bilansowe określa się na poziomie ponad 100mln Mg węgla wysokiej jakości. Autor stwierdza ekonomiczną zasadność podjęcia eksploatacji, ale jednocześnie słusznie zwraca uwagę przede wszystkim na specyficzne uwarunkowania tego rejonu związane z problematyką wyrzutów gazów i skał, co w tym przypadku stanowiło największy problem praktycznie w całym okresie funkcjonowania kopalni w przeszłości.

Jako cel pracy przyjmuje sobie zadanie opracowanie teoretycznego modelu do prognozowania wielkości i ilości wyrzutów gazów i skał podczas przyszłej eksploatacji złoża „Wacław-Lech”, stawiając tezę, że możliwie jest prognozowanie tych zjawisk już na etapie projektowania, na podstawie analizy historycznych rejestrów zaistniałych zdarzeń (rozdział 2).

2. Ogólna charakterystyka konstrukcji i treści rozprawy

Recenzowana praca doktorska, której promotorem jest prof. PWr dr hab. inż. Jan Kudełko, zawiera 220 stron tekstu zredagowanego w 7 rozdziałach wraz z podrozdziałami oraz spis 161 pozycji bibliograficznych wykorzystanych jako materiały źródłowe. W tekście zamieszczono 56 tabel i 83 rysunki. Ponadto pracę uzupełnia 67. stronicowy załącznik 1 dokumentujący 1294 zarejestrowane przypadki wyrzutów skał i gazów

w Kopalni Nowa Ruda w latach 1908÷1992. Do wersji tekstowej dołączona jest wersja na nośniku CD.

W *rozdziale* trzecim Doktorant, na podstawie analizy źródeł bibliograficznych przytacza pierwszy zarejestrowany wyrzut w DZW oraz dokładniej charakteryzuje kopalnie noworudzkich oraz złoża „Wacław-Lech”. Charakteryzuje zjawisko wyrzutów gazów i skał z uwzględnieniem doświadczeń górnictwa światowego. W sposób opisowy charakteryzuje efekty zaistniałych tam w przeszłości wyrzutów poprzez wielkości powstałych kawern, długości zasypanych wyrobisk, odległości przemieszczających się mas skalnych, charakterystyki i ilości rozprężających się gazów, itp., zamieszczając odpowiednie tabele i schematy zaczerpnięte z literatury źródłowej dotyczące zjawisk z lat 1974÷1990, zawierającej również pewne próby poszukiwania związków przyczynowo-skutkowych. Większa część tego rozdziału poświęcona jest przyczynom występowania zjawisk gazo-geodynamicznych w rozważanym złożu. Tutaj Autor dokonuje szczegółowego przeglądu literatury dotyczącej mechanizmu powstawania wyrzutów gazów i skał przytaczając istniejące hipotezy w tym zakresie, zwracając uwagę na znaczenie między innymi takich cech jak: głębokość zalegania pokładu i stan naprężeń, ciśnienie gazów, struktura ośrodka skalnego, porowatość i szczelinowatość, zaburzenia tektoniczne, wpływ intensywności eksploatacji. Przywołuje przykładowe rozwiązania analityczne wiążące parametry geomechaniczne górotworu i uwięzionych w nim gazów z kryteriami stateczności wyrobisk. Na podstawie przeprowadzonych studiów literaturowych Doktorant stwierdza, że w omawianym złożu czynnikami determinującymi występowanie gazów i skał są: gazonośność, gazowość i desorpcja calizny węglowej oraz inne właściwości fizykomechaniczne węgla i skał otaczających, jak również naprężenia w górotworze. Ponadto według Autora w złożu panują niepowtarzalne warunki wymuszające każdorazowo indywidualne podejście do zagadnienia.

Rozdział czwarty dotyczy profilaktyki w zakresie wyrzutów gazów i skał. Tutaj Autor koncentruje się na zagadnieniach oceny zagrożenia, prognozowaniu i zwalczaniu zjawiska wyrzutów skał i gazów w przedmiotowym złożu. Na tle bogatych doświadczeń historycznych prezentuje charakterystyczne podejścia analityczne przytaczając stosowane w przeszłości metodyki przypisując szczególną rolę czterem czynnikom, a mianowicie: gazonośności pokładu i skał otaczających, tektonice, naprężeniom i właściwościom fizykomechanicznym węgla i skał. W tym rozdziale znajdują się liczne i obszernie cytaty lub przywołania rozporządzeń formalnych dotyczących warunków technologii eksploatacji węgla w przypadku zagrożenia wyrzutowego, fragmenty obowiązujących wówczas instrukcji, przepisów i wytycznych odnośnie stosowanej technologii, klasyfikacji zagrożeń, sposobów prowadzenia pomiarów, itp., co w dalszej części skonfrontowano również z doświadczeniami zagranicznymi. W konkluzji Autor stwierdza, że z przeglądu literatury wynika, że brak jest publikacji pokazujących możliwość prognozy ilości i wielkości wyrzutów gazów i skał. W dalszej części opisano zróżnicowane podejścia w zakresie zwalczania zagrożenia, przytaczając liczne konkretne przykłady modyfikacji technologii eksploatacji czy też wykorzystywania techniki strzelniczej, metod wskaźnikowych, odgazowania wyprzedzającego, ustalania specyficznych rygorów postępowania, zwłaszcza

w zakresie ochrony załogi. Wydaje się, że pomimo niezaprzeczalnie wielkiego znaczenia omawianego typu zagrożenia w kontekście zapewnienia bezpieczeństwa pracy górników Doktorant nazbyt szeroko i szczegółowo potraktował opis doświadczeń, ale również wszelkiego rodzaju aktów prawno-administracyjnych, które są oczywiście są cenne przede wszystkim dla wykonawców technologii, jednak z punktu widzenia pracy naukowo-badawczej istotniejsze jest wyciągnięcie odpowiednich wniosków z tych doświadczeń. Sporą część tego rozdziału stanowią bardzo szczegółowe analizy katastrofalnych wyrzutów gazów i skał, sięgające okresu sprzed około 90lat, zawierające również archiwalne szkice sytuacyjne.

Począwszy od *rozdziału piątego* rozprawa dotyczy już tylko złoża „Wacław-Lech”, szczególnie scharakteryzowanego pod względem geologicznym, ze szczególnym podkreśleniem dominującego (90%) i nierównomiernie rozłożonego dwutlenku węgla oraz w mniejszych ilościach: azotu, metanu, etanu i wodoru. Kolejne kilkanaście stron tego rozdziału dotyczą uwarunkowań górniczych w aspekcie zagrożenia wyrzutowego w rejonie „Lech”, gdzie Autor ponownie sięga do archiwalnych protokołów, raportów powypadkowych itd., nadmiernie szczegółowo podając daty, godziny, fakty historyczne, etapy restrukturyzacji i modernizacji kopalń, czy też nazwiska poszkodowanych sprzed kilkudziesięciu lat. Podsumowaniem rozdziału 5 jest własna analiza statystyczna przeprowadzona przez Doktoranta na bazie 99,5% danych wszystkich zjawisk zaistniałych w przeszłości w Kopalni „Nowa Ruda” (ponad 1 200 przypadków), pokazując rozkłady mas skał powyrzutowych, objętości gazów i długości zasypanych wyrobisk górniczych w wyniku wyrzutu, uwzględniając statystyki zaistniałych wypadków grupowych lub śmiertelnych od 1908r.

Rozdział szósty stanowi najistotniejszą część rozprawy i dotyczy prognozowania skutków wyrzutów gazów i skał dla złoża „Wacław-Lech”, z wykorzystaniem wcześniej omówionych doświadczeń. Doktorant tworzy model teoretyczny, który w założeniu ma umożliwić zrealizowanie celu zdefiniowanego w tezie rozprawy, polegającego na zaprognozowaniu najbardziej prawdopodobnych wartości ilości masy skalnej, gazów powyrzutowych oraz długości zniszczonych wyrobisk. Zdaniem Autora dotychczas znane metody probabilistyczne dotyczyły jedynie określenia prawdopodobieństw zaistnienia wyrzutów skał i gazów, natomiast nie definiowano spodziewanych ich wielkości w konkretnych warunkach geologiczno-górniczych, co może być kluczowe przy analizie ekonomicznej zasadności prowadzenia bezpiecznej eksploatacji takiego złoża. Jako najbardziej optymalną metodykę badawczą wyżej wymienionych zjawisk Doktorant proponuje zastosowanie narzędzi z grupy metod uczenia maszynowego, to jest implementację metody „lasów losowych” z algorytmem „XGBoost”.

Przed przystąpieniem do modelowania, w rozdziale 6.1 przeanalizowano znane z literatury analityczne podejścia do prognozy wielkości wyrzutów oparte na analizie kinematycznych i dynamicznych właściwości ośrodka, z uwzględnieniem zjawiska przemian gazowych towarzyszących wyrzutom skał i gazów oraz właściwości fizyko-mechanicznych węgla i skał otaczających. Dla wybranego przypadku wyrzutu przeprowadzono obliczenia masy wyrzutowej skał i objętość gazów przywołaną wcześniej

metodę analityczną, zakładając wyrzut samoistny oraz sprowokowany intencjonalnym działaniem materiału wybuchowego. Doktorant stwierdził, że zakres weryfikacji parametrów wyrzutu tą metodą jest niewystarczająco dokładny, zwłaszcza w odniesieniu do wyrzutów sprowokowanych i w związku z tym jest potrzeba zastosowania metod statystycznych z estymatorem z funkcją jądra K, umożliwiającymi wykorzystanie danych historycznych.

Dla poszczególnych zbiorów danych parametrów Doktorant przeprowadził symulacje efektów wyrzutów dla sześciu pokładów ilustrując je wykresami gęstości maksymalnych statystyk. Wyniki przedstawił w formie tabel porównujących zaobserwowane i prognozowane masy powyrzutowe skał, wskazując jednocześnie na brak możliwości określenia tą metodą objętości wydzielonych gazów, co skłoniła Autora do zastosowania na dalszym etapie badań, kolejnej metody - metody uczenia maszynowego. W tym przypadku, jako dane wejściowe posłużyły uśrednione parametry fizykomechaniczne skał pozyskanych z odwiertów badawczych, takie jak: gęstość węgla, miąższość pokładu, wytrzymałość węgla, wskaźniki WET i RQD, gazonośność i metanonośność. Na kolejnych etapach analizy parametrów wyrzutów Autor podejmował próby zastosowania sieci neuronowych i regresji logistycznej, z których ostatecznie rezygnował, oceniając je jako za mało dokładne, przede wszystkim ze względu na niekompletne bazy danych i w rezultacie otrzymanie zbyt dużego błędu obliczeń. Końcowe obliczenia przeprowadzono w oparciu o metodę „lasów losowych”, polegającej na zbudowaniu decyzyjnych drzew niezależnych z wykorzystaniem metody uczenia według implementacji XG Boost. Na tej podstawie przeprowadzona została szczegółowa dyskusja wyników szacowania parametrów wyrzutów w zależności od lokalnych warunków geologicznych i parametrów analizowanych pokładów, w wyniku czego podano zadowalające zdaniem Autora, wartości przewidywanych i zaobserwowanych mas skalnych wyrzutów oraz objętości gazów, zilustrowane w formie wykresów, Rys. 6.3.9÷6.3.14. Ponadto w dalszej części obliczono i podano ranking istotności zastosowanych cech fizykomechanicznych pokładu i gazów przy określeniu: mas skalnych, objętości gazów i długości zasypanych wyrobisk. Stwierdzono, że najważniejszym czynnikiem wpływającymi na wielkość zarówno mas wyrzuconych skał jak i objętość gazów jest głębokość zalegania pokładu. Nie stwierdzono wyraźnej korelacji pomiędzy głębokością i długością zasypanych wyrobisk, natomiast wykazano, że wraz ze wzrostem zawartości CO₂ wzrasta wielkość wyrzutów. Wysoka jakość górotworu opisana wskaźnikiem RQD powoduje wyrzucenie większych mas skał, ale mniejszych objętości gazów.

Pomimo, że głównym celem rozprawy jest opracowanie algorytmu umożliwiającego prognozowanie cech wyrzutów skał i gazów, a nie ich liczebności, to Autor podejmuje próbę prostszego opisu statystycznego opartego na poszukiwaniu korelacji pomiędzy poszczególnymi, wcześniej wymienionymi czynnikami wpływającymi na wystąpienie zjawiska wyrzutów skał i gazów, z liczbą zanotowanych zjawisk. Spośród 17 wskazanych cech pokładu „Lech” tylko 3 odpowiadają umiarkowanej korelacji, większej niż 0,6. Stosunkowo niskie wartości korelacji skłoniły Doktoranta do zastosowania analizy średniej ruchomej uwzględniającej czas trwania eksploatacji złoża z pięciu pokładów (w tym przypadku uwzględniono wartości czasu od 15 do 39 miesięcy). Na przykładzie warunków geologicznych pokładu „Wacław-Lech” wykazano możliwość prognozowania również

liczby potencjalnych zjawisk wyrzutów. Autor opracował przejrzysty i praktyczny algorytm pokazujący sposób dochodzenia do postawionego celu dysertacji oraz metodykę przygotowania danych umożliwiających prognozowanie zjawiska już na etapie rozpoznania złoża i przed podjęciem eksploatacji. Jednocześnie zwrócił uwagę na znaczenie trafności prognozy na aspekt ekonomicznej efektywności eksploatacji pokładów węgla w warunkach zagrożenia omawianym zjawiskiem, uwzględniającej także szacowanie kosztów wypadków.

W rozdziale siódmym Doktorant podsumował swoje dokonania, formułując wnioski oraz uwagi technologiczne dotyczące, nie tylko metodyki prognozowania, ale również planowanej eksploatacji. Mając świadomość ryzyka związanego zagrożeniem wyrzutowym zwrócił uwagę na konieczność poszukiwania nowych systemów eksploatacji, minimalizujących ryzyko wystąpienia tego groźnego zjawiska. W konkluzji stwierdził, że opracowana przez niego metoda prognozowania wraz z zastosowaniem najnowszych dostępnych technologii eksploatacji przyczyni się do zmniejszenia zagrożenia.

3. Ocena pracy

Recenzowana praca jest dość obszerna i wielowątkowa, ma prawidłową konstrukcję i czytelny układ logiczny, z udokumentowanym zbiorem danych wyjściowych do przeprowadzonych analiz. Autor zapoznał się i krytycznie przeanalizował bogate piśmiennictwo krajowe i zagraniczne z zakresu problematyki wyrzutów skał i gazów podczas podziemnej eksploatacji złóż węgla kamiennego. W sposób kompetentny, ze świadomością określonych ograniczeń metodycznych, zastosował nowoczesne analizy statystyczne, podejmując kolejne próby przybliżające go do postawionego w rozprawie celu i tezy pracy.

Mając świadomość skomplikowanej natury zagadnienia wynikającej z szerokiego zakresu zmienności parametrów geomechanicznych skał, górotworu i przemian gazowych, jak również olbrzymiej ilości czynników wpływających na zjawisko wyrzutów skał i gazów, Doktorant słusznie podejmuje kolejne próby stosowania nowych narzędzi, które ostatecznie doprowadzają go do celu.

Do oryginalnych i cennych osiągnięć Doktoranta zaliczam:

- Zebranie i przeanalizowanie olbrzymiej bazy praktycznych danych archiwalnych sprzed kilkudziesięciu lat dotyczących eksploatacji w warunkach zagrożenia wyrzutami skał i gazów, co niewątpliwie będzie niezwykle cennym źródłem wiedzy przy ewentualnym planowaniu i prowadzeniu eksploatacji złoża.
- Zbudowanie modelu teoretycznego i przetestowanie jego wrażliwości oraz opracowanie metodyki umożliwiającej prognozowanie zarówno liczebności, jak i wielkości wyrzutów skał i gazów.

- Stopniowe doprecyzowywanie efektu modelowania z jednoczesnym zastosowaniem kilku różnych, nowoczesnych metod badawczych, umożliwiającej osiągnięcie założonego celu.

3.1. Uwagi krytyczne i edytorskie:

- Liczne akapity w pierwszych rozdziałach pracy przedstawiają nadmiernie szczegółowe opisy wypadków, łącznie z podaniem nazwisk świadków, zeznań, itp., co nie ma odzwierciedlenia w zamieszczonym spisie bibliograficznym.
- Chociaż niewątpliwie w przypadku technologii górniczych, zwłaszcza w przypadku eksploatacji w warunkach zagrożeń, doświadczenie tzw. ruchowe jest zawsze bezcenne, to jednak wydaje się, że w pracy naukowo-badawczej można było pominąć liczne cytowania przepisów, rozporządzeń, instrukcji, itp., które nie wpływają bezpośrednio na opracowany efekt prognozy, a bardziej przydatne byłyby raczej w poradnikach, czy też podręcznikach.
- Na str. 120, 8 i 9 wiersz od góry napisano: *...praca gazu podczas rozprężania adiabatycznego (...) ...jest równa wytrzymałości ociosu....* Zwracam uwagę, że praca i wytrzymałość, to inne wielkości fizyczne. Pracę wyraża się w [N·m], a wytrzymałość w [N/m²]. W konsekwencji występuje niezgodność jednostek we wzorze 6.1.4.
- Wprawdzie Doktorant rozwiązał problem prognozowania parametrów wyrzutów, to jednak z punktu widzenia bezpieczeństwa technologii najważniejsze jest zminimalizowanie ryzyka wystąpienia wyrzutu, a najlepiej jego wyeliminowanie. Jakie działania, według obecnego stanu wiedzy, należy lub można podjąć w tym kierunku?
- Jak Doktorant ocenia szansę realnego podjęcia eksploatacji węgla z pokładu „Wacław-Lech” wobec historycznych doświadczeń i istniejącego zagrożenia i ich prognozy?

Stwierdzam, że Doktorant wykazał się dogłębną wiedzą z zakresu zrealizowanej przez siebie pracy oraz wysoką umiejętnością stosowania metod badawczych z pełną świadomością identyfikowania ich ograniczeń, a następnie rozwiązywania problemów geomechanicznych w ścisłym związku z praktyką górniczą.

Pomimo wyżej wymienionych zalet i wysokiej wartości naukowej recenzowanej rozprawy doktorskiej, jej Autor nie ustrzegł się drobnych nieścisłości, niejasności i nieprecyzyjnych stwierdzeń opisanych szczegółowo poniżej:

Str.11, w. 11 od dołu	Jest: <i>wielość</i> ; powinno być: <i>wielkość</i>
Str. 15,	Jest: <i>przekładanym</i> ; powinno być: <i>przedkładanym</i>
Str. 18 2w. od dołu	Jest: <i>prognozo-waniem</i> ; powinno być: <i>prognozowaniem</i>
Str. 22, 17w. od dołu	Jest: <i>w skutek</i> ; powinno być: <i>wskutek</i>
Str. 31	(Żyła i in. 1997)- brak w spisie bibliograficznym tej publikacji.

Str. 51 (np. *australijskich*)- forma gramatyczna
 Str. 67 5w. od góry „...dobór systemu eksploatacji jest najtańszą metodą prewencji zagrożeń...” – to jest truizm - dobór jest zawsze-należy rozwinąć tę myśl.
 Str. 110, Rys. 5.3.1 ...rozkładów ciężarów...- powinno być: ...rozkładu mas...
 Str. 120, 5w. od góry Jest: *wacha się*... powinno być: *waha się*...
 Str.133 Jak jest poprawna wartość: 0,61m czy 0,62m ?
 Str. 158 i 159 W tabelach kropki zastąpić przecinkami.
 Str. 177 i dalsze, Rys. 6.4.1 ÷ 6.4.5 Jest: ...ilość...; lepiej użyć *liczebność* lub *liczba*

Wymienione powyżej uwagi nie pomniejszają wartości merytorycznej pracy, tym niemniej recenzent sugeruje uwzględnienie ich podczas przygotowywania pracy, bądź jej fragmentów do publikacji.

4. Wniosek końcowy:

Po przeprowadzeniu merytorycznej analizy i oceny pracy stwierdzam, że recenzowana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie naukowe, świadczące o dostatecznej wiedzy Kandydata, umożliwiające prognozowanie zjawiska wyrzutów skał i gazów w kopalni węgla kamiennego, już na etapie rozpoznania właściwości złoża, zarówno pod względem ich liczebności jak i wielkości. Pan *mgr inż. Maciej Bodlak* wykazał się umiejętnością prowadzenia badań naukowych i rozwiązywania problemów w dyscyplinie naukowej *górnictwo i geologia inżynierska*, ze szczególnym uwzględnieniem aspektów praktycznych efektów swoich dociekań. Na podstawie ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65 z 2003r., poz.595 z późniejszymi zmianami) wnioskuję o dopuszczenie Kandydata do publicznej obrony dysertacji.

