

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Katarzyny Koziel pt.: „**Analiza parametrów układu skała-gaz w aspekcie możliwości predykcji zjawisk gazogeodynamicznych w kopalniach rud miedzi w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym**”

1. Wprowadzenie

Recenzję rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Katarzyny Koziel pt.: „*Analiza parametrów układu skała-gaz w aspekcie możliwości predykcji zjawisk gazogeodynamicznych w kopalniach rud miedzi w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym*” opracowano w oparciu o zlecenie Rady Naukowej Instytutu Mechaniki Górotworu Polskiej Akademii Nauk oraz Dyrektora Instytutu dra hab. inż. Przemysława Skotnicznego z dnia 27.10.2021 r. Praca została napisana pod kierunkiem dra hab. inż. Norberta Skoczylasa, prof. IMG PAN.

Przedmiotowa recenzja została wykonana zgodnie z wymogami obowiązującej Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o „stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” wraz z późniejszymi zmianami, w tym zmianami z dnia 3 lipca 2018 roku. W oparciu o treść tej ustawy rozprawa doktorska „powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub oryginalne rozwiązanie problemu w oparciu o opracowanie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne, oraz wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej”.

Stwierdzam, że przedstawiona rozprawa merytorycznie mieści się w dziedzinie nauk inżynierijno-technicznych w obszarze dyscypliny naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

2. Ocena zasadności podjęcia tematu pracy

Rozprawa dotyczy tematyki badawczej związanej z ważnym problemem bezpieczeństwa prowadzenia ruchu zakładu górniczego w warunkach występowania zagrożenia wyrzutami gazów i skał na obszarze LGOM. Zjawiska te występują w Polsce od wielu lat w kopalniach węgla kamiennego oraz w kopalniach soli. Prognozowanie oraz przeciwdziałanie skutkom tych zjawisk ma więc długą historię w tych zakładach i pozwala prowadzić działalność wydobywczą przy akceptowalnym poziomie ryzyka. W okresie ostatnich kilkunastu lat zaczęło dochodzić także w kopalniach KGHM do zjawisk gazogeodynamicznych. W odniesieniu do szczegółów, mechanizm tych zjawisk jest inny w kopalniach węgla kamiennego niż w kopalniach rud miedzi. Rozpoczęto wówczas proces wyjaśnienia specyfiki tych zjawisk w LGOM, w celu doboru odpowiednich metod predykcji i prewencji. Można z całą pewnością uznać, że proces ten ciągle jest realizowany, tak więc tematyka recenzowanej pracy doktorskiej wpisuje się w bieżące potrzeby nauki i praktyki. Należy też

dodać, że rezultaty badań w analizowanej tematyce powinny być dużym wsparciem także dla organów nadzoru górniczego, co dodatkowo podnosi aktualność i wagę niniejszej pracy doktorskiej.

3. Charakterystyka rozprawy

Recenzowana rozprawa składa się z dziewięciu rozdziałów merytorycznych i zawarta jest na 143 stronach, w tym mieści się materiał ilustracyjny w postaci rysunków, tabel oraz spis literatury. Praca zawiera cztery załączniki, gdzie przedstawiono algorytm obliczeniowy (nazwany jako „model komputerowy”), tabelę z wynikami obliczeń powierzchni całkowitej ziarn, skany powierzchni próbek po teście brazylijskim na rozciąganie oraz tabelę z wynikami badań z tunelu aerodynamicznego. Tabele zdecydowanie powinny znaleźć się w tekście bowiem zawarte są na jednej stronie każda. W spisie literatury znajduje się 106 pozycji, przy czym w jednym przypadku Doktorantka jest współautorką publikacji.

Rozdział 1

Stanowi wstęp pracy doktorskiej, gdzie zawarto dość szczegółowe wprowadzenie do tematu rozprawy, w tym nakreślono problematykę występowania zjawisk gazogeodynamicznych. Podano krótką charakterystykę wyrzutów gazów i skał w kopalniach węgla kamiennego, w kopalniach soli oraz opisano zaistniałe przypadki gazogeodynamiczne w kopalniach KGHM. Dokonano także analizy wpływu aktywności sejsmicznej na zjawiska wyrzutów. W rozdziale tym znalazły się także cel i teza pracy. Doktorantka w ramach dysertacji postawiła sobie za zadanie zidentyfikowanie fizycznych parametrów układu gaz-skała w kopalniach zlokalizowanych w LGOM, które mają największy wpływ na możliwość wystąpienia zjawiska wyrzutu. Wyznaczenie indykatorów prowadzić ma do „*opracowania klasyfikacji i zasad oceny zjawisk gazogeodynamicznych w kopalniach rud miedzi*”. Aktualne przepisy w zakresie prewencji przy zagrożeniu wyrzutami gazu i skał w kopalniach rud uwzględniają trzy parametry mierzone w otworze badawczym tj.: zawartość metanu powyżej 5%, ciśnienie gazu w otworze większe od 2 MPa oraz intensywność wypływu gazu większą od 500 dm³/min. Wskazane przez Doktorantkę dodatkowe wskaźniki mogą być bardzo przydatne do poprawienia metod predykcji.

Rozdział 2

W rozdziale tym Doktorantka opisała parametry układu skała-gaz takie jak: porowatość, gazonośność, wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie, wytrzymałość na rozciąganie i pojemność sorpcyjną oraz wykonała badania tych parametrów, bazując na próbkach dolomitu pochodzących z rdzeni otworów badawczych wykonanych w O/ZG Polkowice-Sieroszowice. Stwierdzona porowatość zmieniała się w granicach 0,3 ÷ 27,6%, przy średniej wartości ok. 5,3%. Konsekwencją tych zmian, były także znaczące różnice jakie Autorka pracy uzyskała dla gazonośności i ciśnienia porowego gazu. Wartości te zmieniały się w zakresie odpowiednio 0,13-169 cm³/kg oraz 0,01-1,42 MPa. Szkoda, że nie wykonano bardziej szczegółowych analiz i porównania parametrów dla tych samych próbek. Np. porowatość nie zawsze jest skorelowana z gazonośnością czy ciśnieniem gazu, bowiem dla próbki R-97 porowatość wynosi ok. 8,4% a gazonośność jedynie 0,13 cm³/kg, przy ciśnieniu

porowym gazu 0,01 MPa. Takie korelacje, również z innymi parametrami mogłyby przynieść dodatkowe istotne informacje.

Rozdział 3

Rozdział trzeci jest najbardziej istotnym dla całości pracy. Przedstawiono w nim autorską metodę do badań i charakterystyki zjawiska wyrzutu gazu i skał w warunkach kopalń w LGOM. Mgr inż. Katarzyna Kozieł wyznaczyła bądź oszacowała szereg parametrów, takich jak: energię gazu w strukturze porowej skały, ciepło właściwe, powierzchnię ziarn, autorską metodę pracy rozdrobnienia na podstawie badania wytrzymałości na rozciąganie w teście brazylijskim. W ramach tego rozdziału opracowano model matematyczny, który posłużył do obliczenia zmian temperatury w czasie. Skrypt modelu matematycznego przedstawiono w zał. 1. Ważnym elementem tego rozdziału są szerokie badania parametrów transportu ziarn, w tym opór tarcia statycznego i kinematycznego, siły naporu, prędkości transportu ziarn, prędkości powietrza dla wywołania ruchu ziarn. Efektem tych badań była możliwość określenia pracy transportu, przy założonych lub zbadanych parametrach ruchu.

Rozdział 4

Rozdział czwarty to podjęcie próby oszacowania bilansu energetycznego występującego podczas zjawiska wyrzutu gazów i skał. Za podstawę przyjęto tu zasady teorii sprężystości i mechaniki górotworu. Przyjmując pewne założenia oraz wyniki przeprowadzonych w pracy badań laboratoryjnych oszacowano pracę potrzebną do rozdrobnienia 1 m³ skały na 0,38 MJ. Zestawiając dane dla wyrzutów zaistniałych w O/ZG „Rudna” oraz dla O/ZG „Polkowice-Sieroszowice” stwierdzono, że suma energii potencjalnej górotworu i energii gazu była około dwukrotnie większa od sumy energii potrzebnej do rozdrobnienia i energii potrzebnej do przetransportowania ziarn. Rozdział kończy stwierdzenie ważne, choć dość oczywiste, że *„warunkiem koniecznym do zaistnienia wyrzutu skał i gazów jest obecność gazu pod ciśnieniem w strukturze porowej skały”*.

Rozdział 5

Rozdział piąty stanowi niejako punkt kulminacyjny pracy, bowiem Doktorantka przedstawia w nim koncepcję zasad oceny zagrożenia wyrzutami skał i gazów w kopalniach rud miedzi. Początek rozdziału jest nieco mylący bowiem zawarto tam fragment przeglądu literatury, który powinien znaleźć się we wcześniejszej części pracy. W dalszej części przedstawiona została autorska klasyfikacja zjawisk gazogeodynamicznych w kopalniach rud, podano wartości progowe porowatości i ciśnienia złożowego, przy których zaleca się pewne działania prewencyjne. Ostatnim elementem tego rozdziału jest propozycja oceny stopnia zagrożenia zjawiskami wyrzutowymi na podstawie logiki rozmytej w oparciu o dwie cechy skał, tj. porowatości oraz ciśnienia złożowego gazu. Rezultatem tej analizy jest przestrzenny wykres do procentowej kwalifikacji zagrożenia wyrzutami skał i gazu.

Rozdział 6

Rozdział szósty zatytułowany jest jako podsumowanie, jednak w zasadzie jest to streszczenie poszczególnych rozdziałów pracy doktorskiej.

3. Analiza rozprawy doktorskiej

Analizę przeprowadzono zgodnie ze schematem obejmującym następujące elementy: ocena słuszności podjęcia tematu, znajomość literatury dotyczącej badanego zagadnienia, znajomość i prawidłowość zastosowania metod badawczych, umiejętność wnioskowania i interpretacji wyników, skuteczność udowodnienia postawionej tezy, ocena realizacji celu oraz ocena najważniejszych osiągnięć i uwag do pracy.

Jak wykazano na wstępie podjęty temat badania zjawisk wyrzutów gazów i skał w kopalniach rud miedzi jest jak najbardziej zasadny. Pojawienie się tego zagrożenia w LGOM było dużym zaskoczeniem i wymagało prac nad jego rozpoznaniem. Doświadczenia w zakresie wyrzutów gazów i skał w kopalniach węgla kamiennego były dobrze udokumentowane, a wieloletnie, niezwykle szerokie badania (w tym dołowe) pozwoliły na zaproponowanie odpowiednich indyktorów wyrzutów. W zagłębiu LGOM należało na nowo definiować parametry do prognozy.

Doktorantka podjęła więc badania celem „*identyfikacji fizycznych parametrów skała – gaz*”, których efektem jest „*klasyfikacja i ocena zjawisk gazogeodynamicznych w kopalniach rud miedzi*”. Z badawczego punktu widzenia, w celu opisanie zjawiska fizycznego, niezbędne jest posiadanie odpowiedniej bazy danych z pomiarów w warunkach naturalnych. Umożliwia to stosowanie szerokiego wachlarza metod badawczych, testowanie różnych hipotez i w konsekwencji stosowanie modeli wielowariantowych celem powiązania poszczególnych parametrów. W przypadku analizowanego zagadnienia dysponowano nieporównywalnie mniejszą bazą pomiarową niż z kopalń węgla kamiennego, bowiem obejmowała ona zinwentaryzowane w latach 2009 ÷ 2021 r. cztery zjawiska wyrzutów gazów i skał w LGOM, kilka stwierdzonych zjawisk gazowych oraz kilkanaście innych „*incydentów gazowych*” objawiających się wpływami gazu czy rozdrobnieniem rdzeni wiertniczych. Można więc uznać, że z punktu widzenia robót górniczych intensywność zjawisk była niewielka, jednak dla realizacji celów badawczych, należało przyjąć wiele założeń. Lektura pracy wskazuje, że tym właśnie tropem podążała Doktorantka.

Oceniając pracę pod kątem przeglądu literatury można stwierdzić, że z zakresu tematyki liczba prac jest wystarczająca. Przywołano część prac powstałych we wcześniejszych latach oraz pewną liczbę prac bieżących. Należy jednak zaznaczyć, że z uwagi na nieznaczną liczbę wyrzutów w kopalniach rud, także publikacji w tym właśnie zakresie jest niewiele. Wydaje się jednak, że warto było przeanalizować dodatkowo przynajmniej część bardzo licznych i cennych prac dotyczących wyrzutów w kopalniach węgla kamiennego wykonanych między innymi w Polsce (np. Kozłowski B., 1980, *Zagrożenie wyrzutami gazów i skał w górnictwie węglowym*, PWN, Warszawa–Kraków., Majcherczyk T, 1990: *Zagadnienie możliwości występowania zjawisk gazogeodynamicznych w świetle pomiarów przeprowadzonych w kopalniach*. Zeszyty Naukowe AGH, ser. Górnictwo, zeszyt 157, Kraków; i wiele innych) czy w dawnym Związku Radzieckim (Petrosjan, Pietuchow). Według danych WUG w samym DZW wystąpiło ponad 1700 wyrzutów, przy czym ostatnie notowano w pierwszej połowie lat 90-tych XX w. Dotyczyły one przede wszystkim wyrzutów węgla i gazu, ale również obejmowały skały płonne. Liczba zdarzeń pozwalała na szerokie analizy, stawianie licznych hipotez

i wyciąganie wniosków, które mogły być przydatne także w trakcie analizy wyrzutów w kopalniach rud miedzi. Tym bardziej, że w pracy na str. 106 jest odwołanie do „*adoptowania sposobu oceny gazonośności węgla...*”. Ponadto brak odniesienia się do aktualnych pozycji literaturowych np.: Kozłowski B., Polak Z., Prokop P.: *Wyrzuty gazów i skał. Prognoza, kontrola, zwalczanie i ochrona załóg*. Wydawnictwo Śląsk, 2014, s. 652 oraz Król K., Dzik G.: *Zagrożenie gazogeodynamiczne i sposoby jego zwalczania w kopalniach rud miedzi w świetle prac Zespołu doradczo-opiniotawczego ds. analizy zjawisk gazogeodynamicznych w KGHM Polska Miedź S.A.* Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie nr 5(309)/2020. Doktorantka, powinna także umieścić w spisie literatury trzy anglojęzyczne publikacje swojego współautorstwa, które są ściśle powiązane z pracą doktorską. Reasumując ten punkt należy stwierdzić, że warto korzystać z dotychczasowego doświadczenia. aby sprawniej i dokładniej planować własne badania.

W dysertacji przeprowadzono bardzo wiele zaawansowanych eksperymentów laboratoryjnych. Badania są kompleksowe i poprawnie zaplanowane. Wszystkie mierzone wielkości były powiązane z układem skała – gaz, a materiał badawczy stanowiły próbki pozyskane z rdzeni otworów wykonanych w warstwach dolomitów. W ramach badań wyznaczono takie parametry jak: porowatość, gęstość (szkieletową, rzeczywistą, pozorną), wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie i rozciąganie, pojemność sorpcyjną, gazonośność, ciśnienie porowe gazu, własności powierzchni ziarn. W tym celu stosowane były dedykowane urządzenia w postaci analizatorów, piknometrów, mikroskopów, pras hydraulicznych. Uzyskiwane wartości nie budzą wątpliwości choć wskazują na dość duże rozbieżności mierzonych parametrów (np. porowatość w zakresie $0,3 \div 27,6\%$ a gazonośność $0,13-169 \text{ cm}^3/\text{kg}$). Autorka pracy stwierdza, że przeprowadzone badania pozwoliły na scharakteryzowanie masywu podatnego na wyrzuty.

Część z wymienionych parametrów mgr inż. K. Kozieł wykorzystwała w kolejnej serii pomiarów polegających na charakterystyce przebiegu zjawiska wyrzutu. W tym celu Doktorantka zastosowała oryginalne stanowiska badawcze wykonane specjalnie dla potrzeb pracy doktorskiej. Na stanowiskach tych próbowano odzwierciedlić przebieg procesu, badając przy tym wybrane parametry zjawisk wyrzutowych takich jak opór ziarn, prędkość przemieszczania się ziarn, prędkość powietrza niezbędną do przemieszczania okruchów skał. Na podstawie badań laboratoryjnych został zbudowany model matematyczny wymiany ciepła w układzie „ziarno-gaz” oraz wykonano bilans energetyczny wyrzutu. W bilansie zestawiono energię górotworu i gazu podczas dekompresji, a z drugiej strony pracę rozdrobnienia i pracę transportu. Z uwagi na niewielką liczbę wyrzutów i pochodzących z tych rejonów danych, poczyniono pewne założenia, np. w zakresie porowatości czy ciśnienia gazu w porach. Ponadto bilans energetyczny nie uwzględnia energii skał otaczających oraz naprężeń eksploatacyjnych i tektonicznych czy podczas wyrzutu energii rozproszenia (ciepło, energia sejsmiczna, akustyczna). Również pracę rozdrobnienia należy traktować szacunkowo, bowiem nie ma przekonujących dowodów na jakość (rozdrobnienie) materiału przed wyrzutem.

Umiejętność prowadzenia pracy badawczej przez Doktorantkę w warunkach laboratoryjnych należy więc ocenić bardzo wysoko. Jako narzędzia badawcze są stosowane także modele matematyczne i logika rozmyta. Analiza otrzymanych wyników badań laboratoryjnych wydaje się być poprawna, choć moim zdaniem nie w pełni je wykorzystano. Szczególnie należało podjąć próbę

powiązania badanych parametrów strukturalnych, gazowych i mechanicznych skał. Względnie należało wykazać brak istotności danych parametrów w procesie wyrzutu bądź jego predykcji.

Doktorantka postawiła tezę: „*Istnieje grupa parametrów opisujących układ skała-gaz, za pomocą których można określić możliwość występowania zjawisk gazogeodynamicznych w kopalniach rud miedzi LGOM*”

W moim odczuciu udowodnienia tezy należy szukać głównie w rozdziale 5.1, którego tytuł to „*Wyznaczenie najistotniejszych parametrów w ocenie zagrożenia zjawiskami gazogeodynamicznymi*”. Wskazane są tam takie parametry jak: ilość gazu w próbce skały, a przede wszystkim porowatość i ciśnienie gazu w strukturze porowej. Można więc uznać, że teza jest udowodniona, choć mając na uwadze tak szeroko przeprowadzone badania, pozostaje pewien niedosyt. Brakuje wykorzystania innych parametrów, lub wskazanie dlaczego pozostałe parametry są mniej istotne. Np. wytrzymałość na rozciąganie skały, która decyduje o podatności na rozdrabnianie podczas wyrzutu. Dla porowatości podano cztery wartości progowe tj. do 6, 12, 18 i pow. 18%, podobnie jak dla ciśnienia porowego tj. do 0,2 MPa, 1,0 MPa, 3,0 MPa i pow. 3 MPa. Autorka wskazuje, że metoda progowa jest „*szybka i jednoznaczna*”, choć nie podaje sposobów wyznaczania ww. parametrów w warunkach kopalnianych.

Podając procentową skalę zagrożenia zjawiskami gazogeodynamicznymi w kopalniach rud miedzi, Doktorantka zrealizowała także postawiony cel użyteczny i praktyczny. Brakuje jednak wyjaśnienia tak przyjętych progów (0-20% bezpiecznie, 20-50% badania kontrolne, 50-85% poszerzone badania, 85-100% poszerzone badania i profilaktyka). Należy się spodziewać, że klasyfikacja ta powinna być teraz kalibrowana w warunkach naturalnych, na co Doktorantka nie wskazuje, uznając swoją metodę jako ostateczną. Z uwagi na liczbę zjawisk i symptomów wyrzutowych, kalibracja może trwać przez dłuższy okres czasu nim będzie mogła stać się narzędziem stosowanym w praktyce.

Recenzowana praca mgr inż. K. Kozieł świadczy o dobrym przygotowaniu Doktorantki do samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Praca napisana jest w sposób spójny i metodycznie poprawny, a więc wskazuje na odpowiedni poziom wiedzy w zakresie dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Do najważniejszych zalet pracy zaliczam przeprowadzenie bardzo szerokich, zaawansowanych i unikatowych badań laboratoryjnych w zakresie odwzorowania parametrów przebiegu wyrzutów gazu i skał. Dużą wartość poznawczą posiadają już same w sobie parametry dolomitu w zakresie ich porowatości, gazonośności czy ciśnienia gazu w porach skały. Parametry te stanowią w decydującej mierze o skłonności dolomitu do wyrzutów gazu i skał.

Na duże uznanie zasługuje fakt, że dla potrzeb badań do pracy doktorskiej, opracowano i zbudowano kilka oryginalnych stanowisk laboratoryjnych. Wymagało to dużej wiedzy technicznej, ale również znajomości fizyki badanego zagadnienia wyrzutów gazu i skał. Tak więc na zbudowanych stanowiskach odtwarzano nie tylko pojedyncze i proste parametry takie jak opór ziarn skalnych podczas staczania się po równi, ale także stanowiska, w których badano prędkości ziarn i gazu w tunelu aerodynamicznym. Określono także charakter procesu termodynamicznego czy parametry

transportu ziarn skalnych. Interesująca propozycja to także ocena pracy zniszczenia skały podczas próby rozciągania w tzw. teście brazylijskim.

Analizy pozwoliły na matematyczne modelowanie zjawiska wyrzutu uwzględniając jego charakterystyczne cechy takie jak parametry inicjujące niszczenie struktury skały, transport tej skały, niezbędną prędkość gazu.

Doktorantka umiejętnie wykorzystuje, interpretuje i wprowadza własne metody badawcze do bardzo złożonych analiz naukowych i praktycznych. Zaproponowana klasyfikacja zjawisk gazogeodynamicznych w kopalniach LGOM oraz ocena progowa wraz z oceną progową i oceną ciągłą mogą stanowić ważny składnik predykcji zjawisk wyrzutowych w kopalniach rud miedzi. Praca doktorska jako całość wnosi więc nowe aspekty poznawcze i użyteczne, ale także ma wymiar praktyczny.

Podczas czytania i analizy dysertacji nasuwają się pewne uwagi dyskusyjne oraz krytyczne o charakterze ogólnym i szczegółowym:

1. w pracy nie zdefiniowano we wstępie pojęcia „wyrzut gazu i skał” oraz „zjawisko gazogeodynamiczne”, przez co w treści pojęcia te stosowane są niekiedy zamiennie, co nie jest poprawne; ponadto nie podaje się rodzaju i objętości gazu biorącego udział w zjawiskach gazogeodynamicznych jaki występuje w kopalniach rud miedzi, należy to uzupełnić;
2. na str. 23 podane są wykresy pudełkowe zawartości procentowej makro, mezo i mikroporów. W jaki sposób je określano i klasyfikowano;
3. jak podano w pracy *„rdzenie zostały ... pogrupowane do poszczególnych eksperymentów”*. Brakuje informacji czy pozyskane fragmenty rdzenia różniły się pod względem makroskopowym i czy dobór próbek do typów badań był losowy czy przyjęto jakieś kryteria. Proszę o informacje w tym zakresie, bowiem dobór materiału badawczego jest niezwykle istotny dla otrzymanych rezultatów;
4. w odniesieniu próbek badawczych (laboratoryjnych) w wielu miejscach używane jest słowo „złoże”, które generalnie jest zarezerwowane do określenia pierwiastków użytecznych w masywie skalnym. Proponuję w tym przypadku używać innych określeń „próbka laboratoryjna” „próbka ze złoża” „(rozdrobiony) dolomit ze złoża” itp.;
5. na str. 28 (rys. 16) przedstawiono wyniki badań porowatości metodą densometryczną i optyczną. Która metoda wg Doktorantki jest dokładniejsza;
6. zawartość i ciśnienie gazu w próbkach badano po wstępnym rozdrobieniu. Jaki jest wpływ rozdrobienia materiału na wartości mierzonych parametrów, w odniesieniu do masywu skalnego;
7. część rysunków (np. rys. 3, 4, 5, 15, 27 itd.) składa się z dwóch i więcej części (zdjęć, wykresów), w podpisie brak opisu poszczególnych części,
8. brakuje w pracy próby powiązania badanych parametrów strukturalnych, gazowych i mechanicznych skał, czy takie analizy Doktorantka przeprowadzała,
9. załącznik 2 i 4 stanowią tabele i każda zawarta jest na jednej stronie, korzystniejsze byłoby umieszczenie ich w tekście, podobnie jak innych tabel, co ułatwia lekturę pracy,

10. w pracy podano propozycję wyznaczania pracy rozdrobnienia skały. Proszę o opinię czy wartość pracy jest taka sama przy rozdzielaniu ziarn o dużych wymiarach np. ok. 100 mm do klasy 1-20 mm oraz przy rozdzielaniu ziarn o wielkości ok. 40 mm, również do klasy do klasy 1-20 mm;
11. w rozdz. 3.3.2.2. podczas badań prędkości przepływu gazu przez tunel aerodynamiczny korzystniej jest posługiwać się szybkością (prędkością) przepływu niż częstotliwością falownika (wartość charakterystyczna urządzenia), efekt przemieszczenia generuje prędkość przepływu gazu;
12. w opisach urządzeń badawczych nie zawarto informacji nt. przyjętych kryteriów modelowania, czy uwzględniano efekt skali;
13. w rozdziale 4 obliczenia energii potencjalnej opierają się na teoretycznych wartościach naprężeń pierwotnych (oznaczane wówczas jako „ p ” nie „ σ ”). W LGOM badane są wartości naprężeń pierwotnych więc właśnie takie powinny być uwzględnione (naprężenia poziome zbliżone do pionowych, np.: $\sigma_{H, h} = 22-29$ MPa, $\sigma_v = 27,7$ MPa);
14. jaka jest propozycja Doktorantki w zakresie „szybkiego” badania w warunkach kopalnianych porowatości i ciśnienia porowego w skale (str. 108);
15. którą metodę prognozy zjawisk gazogeodynamicznych w kopalniach rud miedzi z zaproponowanych przez siebie preferuje Doktorantka, bowiem metoda progowa i na podstawie logiki rozmytej wskazują na rozbieżności; np. wg metody progowej dla ciśnienia porowego gazu pow. 3 MPa, jest bardzo wysokie prawdopodobieństwo zagrożenia zjawiskami (niezależnie od porowatości), natomiast dla metody z logiką rozmytą ważna jest jeszcze porowatość, czy zaproponowane metody mogą posłużyć do prognozy regionalnej czy lokalnej;
16. we podsumowaniu na str. 119 stwierdzono, że „Opracowane metody oceny można wykorzystać do bieżącej profilaktyki...”. Jakie obecnie stosowane są metody profilaktyki wyrzutowej w KGHM;
17. W pracy stwierdzono pewne usterki stylistyczne (np. str. 51 „ilość gazu jest proporcjonalna do ilości gazu”), edytorskie czy skróty myślowe np. „*zjawiska gazogeodynamiczne w węglu*”, „*program określił*”, „*model obliczył*”. Brak w spisie literatury publikacji Black, 2019, a niektóre publikacje mają niepoprawny rok wydania. Do tej grupy usterek należy zaliczyć także poddawanie stężenia w różnych jednostkach tj. ppm lub %, np. na stronie 8 podano obecność H₂S jako „7ppm i 12 ppm” a CH₄ jako „0,2% i 0,3%”, podczas gdy rząd wielkości jest taki sam. Szczegółowe dane w tym zakresie przekazano Doktorantce.

Powyższe uwagi mają charakter porządkowy i uzupełniający, a więc mają na celu dopracowanie metody projektowej zaproponowanej przed Doktorantką lub korektę dokumentu przed ewentualną publikacją.

5. Wniosek końcowy

Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzam, że przedłożona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Katarzyny Kozieł pt.: „**Analiza parametrów układu skała-gaz w aspekcie możliwości predykcji zjawisk gazogeodynamicznych w kopalniach rud miedzi w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym**” spełnia wymagania obowiązującej ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku (Dz.U. nr 65 pozycja 595 z dnia 16.04.2003r. z późniejszymi zmianami), a tym samym rekomenduję Radzie Naukowej Instytutu Mechaniki Górotworu PAN o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

