

Dr hab. inż. Mirosław Wierzbicki
os. Witkowice Nowe 24
31-235 Kraków

Kraków, 29 marca 2022 r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Małgorzaty Kani p.t.:
„ZALEŻNOŚĆ POMIĘDZY WYKSZTAŁCENIEM LITOFACJALNYM, A ILOŚCIĄ
I SKŁADEM MOLEKULARNYM GAZÓW POCHODZĄCYCH Z DEGAZACJI
RDZENI SKALNYCH”**

Promotor rozprawy doktorskiej: dr hab. inż. Irena Matyasik, prof. INiG – PIB.
Promotor pomocniczy: dr inż. Krzysztof Sowizdzał.

1. Podstawa wykonania recenzji

Recenzję wykonano na zlecenie Rady Dyscyplin Naukowych nauki o Ziemi i środowisku oraz geografia-społeczno-ekonomiczna – pismo z Instytutu Nauk Geologicznych Wydziału Nauk o Ziemi i Kształtowania Środowiska Uniwersytetu Wrocławskiego z dnia 18.02.2022 r.

2. Cel pracy

Cel pracy przedstawiony jest we Wstępie i pokrywa się z tytułem rozprawy. Autorka wymienia również kwestie jakie zostały przeanalizowane i wyjaśnione na podstawie badań i analiz w ramach pracy doktorskiej. Są nimi (cytuję):

- Określenie korelacji pomiędzy wykształceniem litofacjalnym, a ilością i składem molekularnym gazów pochodzących z degazacji rdzeni skalnych z obszaru górniczego O/ZG Polkowice-Sieroszowice, należących do KGHM Polska Miedź S.A.
- Wyjaśnienie zjawiska obecności dużych ilości m.in. azotu nadmiarowego, węglowodorów oraz związków siarki w gazie desorbowanym i resztkowym.
- Ocena jakościowo-ilościowa gazów pochodzących z degazacji rdzeni skalnych w relacji do wybranych właściwości petrofizycznych.
- Próba odpowiedzi na pytanie czy zamknięty w porach gaz (w próbkach rdzeni skalnych o różnym wykształceniu litologicznym) został wygenerowany i uwięziony w skale „in situ”, czy też jest efektem migracji (przewidywana geneza poszczególnych składników gazowych).

- Określenie dojrzałości termicznej substancji macierzystej w aspekcie występowania procesu generacji węglowodorów, będących składową gazów desorbowanych.
- Ocena gazonośności skał o różnym wykształceniu litofacjalnym w wydzielonych rejonach „OG Sieroszowice” dla wskazania preferencji nagromadzeń gazowych.

Cele rozprawy przedstawiono w sposób jasny a jego osiągnięcie oparto na przedmiocie badań, jakim były próbki skał zróżnicowanych pod względem litologicznym i petrofizycznym, pobrane z formacji miedzionośnej południowej części monokliny przedsudeckiej, poddane analizie gazonośności i składu molekularnego, cząsteczkowego oraz izotopowego.

3. Zawartość pracy

Recenzowana rozprawa doktorska obejmuje dysertację w jednym tomie o objętości 174 stron oraz tom zawierający załączniki o objętości 116 stron. Dysertacja zawiera streszczenie w języku angielskim, spisy rysunków i tabel oraz treść zawartą w 11 rozdziałach. Poniżej przedstawiam tytuły poszczególnych rozdziałów.

Wstęp

Zagrożenia naturalne w zakładach górniczych

Zasady pomiarów gazonośności

Poszukiwanie i rozpoznanie złóż rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej

Lokalizacja obszaru badań

Budowa geologiczna złóż Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM)

Zarys tektoniki

Stratygrafia i litologia

Metodyka badań laboratoryjnych

Wyniki badań

Wyniki badań

Dyskusja wyników

Podsumowanie i wnioski

Literatura

W pracy zawarto 90 rysunków i dziewięć tabel z wynikami pomiarów. Są one zestawione w części początkowej dysertacji. Spis literatury obejmuje 192 pozycje i znajduje się na końcu pracy. Autorka czerpała również informacje ze stron internetowych. Wymieniono 5 takich stron www. W osobnym tomie, dostarczonym wraz z pracą znajduje się 106 tabel obejmujących wyniki badań ilości i składu molekularnego gazu desorbownego (zał. 1) i resztkowego (zał. 2).

W Rozdziale 1 **Wstęp**, autorka przedstawia powody, dla których zajęła się daną tematyką, informując, że celem było usystematyzowanie i rozszerzenie o aspekty korelacyjne i interpretacyjne wyników badań chromatograficznych gazów wykonywanych od lat dla KGHM Polska Miedź S.A. Podjęcie tych działań uważam za celowe i niezwykle potrzebne zarówno z punktu widzenia rozwoju nauki jak i powodów utylitarnych. Wraz

z postępem eksploatacji rud miedzi wzrasta bowiem zagrożenie gazowe w kopalniach oraz pojawia się związane z nim zagrożenie wyrzutami gazów i skał, czego przykładem było m.in. zdarzenie jakie miało miejsce w dniu 6 września 2009 roku w rejonie chodników T.W 169 O/ZG Rudna. Zagrożenie gazowe obejmuje również potencjalną możliwość wystąpienia zagrożenia metanowego oraz zagrożenie silnie toksycznym siarkowodorem.

Rozdział 2 zawiera opisy wybranych zagrożeń naturalnych występujących w podziemnych zakładach górniczych. Szczególną uwagę skierowano na zagrożenie wyrzutami gazów i skał. Rozdział ma charakter opisowy, bazujący na aktualnych rozwiązaniach prawnych w tym zakresie.

W Rozdziale 3 przedstawiono zasady pomiarów gazonośności wraz z przedstawieniem wybranych metod i urządzeń do ich oznaczania.

Krótki, bo zawierający cztery strony tekstu **Rozdział 4** obejmuje rys historyczny opisujący poszukiwanie i rozpoznanie złóż rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej.

Rozdział 5 przedstawia lokalizację obszaru badań wraz z odpowiednią mapą.

Z budową geologiczną złóż LGOM zapoznałem się w **Rozdziale 6**, obejmującym podrozdziały dotyczące tektoniki oraz stratygrafii i litologii.

Treść zasadnicza pracy, obejmująca metodykę badań oraz wyniki wraz z ich dyskusją zawarte są w **Rozdziałach 7-9**. Rozdziały te zawierają łącznie 105 stron maszynopisu.

Rozdział 7 zatytułowany: „Metodyka badań laboratoryjnych” zawiera opis próbek skalnych będących materiałem badawczym. Było ich łącznie 803. Największą ich ilość pobrano z warstwy anhydrytu (298) a najmniejszą z łupku miedzionośnego (28). Dokonano również podziału całego rejonu badań na pięć bloków. Celem takiego podziału było wskazanie potencjalnych miejsc kumulacji gazowych. Patrząc na populację próbek w poszczególnych rejonach, zauważam, że w rejonie południowo-zachodnim (Sr) pobrano tylko cztery próbki do badań, co, w mojej opinii nie pozwala na osiągnięcie postawionego celu w tym rejonie. W mojej ocenie, dla lokalizacji można było wykorzystać współrzędne geograficzne miejsc pobrania prób.

W rozdziale tym przedstawiono metodykę odgazowania próbek skalnych, analizy składu molekularnego pozyskanego gazu metodą chromatograficzną. W badaniach zastosowano katalizator niklowy, który w połączeniu z detektorem płomieniowo-jonizacyjnym FID pozwolił na oznaczanie śladowych stężeń tlenu i ditlenku węgla. Nie sprecyzowano, niestety co oznacza wyrażenie „śladowe ilości”. Opisano również metodykę oznaczania właściwości petrofizycznych skał obejmujących m. in. badania porowatości metodą porozymetrii rtęciowej oraz oznaczania objętości metodą piknometrii helowej.

W opisie badań przepuszczalności gazowej, Doktorantka porusza zagadnienie nieliniowości przepływu oraz równanie Klinkenberga, stosowane do opisu przepływów w obszarach, gdzie średnica (kapilary) a w przypadku skał przestrzeni porowej, jest zbliżona do średniej drogi swobodnej cząstki gazu. Podejście takie jest jak najbardziej słuszne

podczas badań przepływów przy niskich ciśnieniach średnich (mała droga swobodna). Nie znalazłem jednak żadnej informacji dotyczących średnich ciśnień przepływu.

Rozdział 8 zaczyna się od opisu pojęć i skrótów. Znajdują się one dopiero na 53 stronie pracy, mimo że wcześniej wielokrotnie używano tych, wcześniej niezdefiniowanych pojęć.

W przypadku gazu desorbowlanego kilkunastokrotnie. Uważam, że te opisy winny znajdować się na początku pracy.

Wyniki badań w tym rozdziale obejmują m. in. zestawienia dotyczące:

- ilości i skład molekularnego gazów uzyskanych z degazacji rdzeni w uwzględnieniu litologii, z podziałem na gaz sorbowany i resztkowy. Do tego podziału odniosę się w dalszej części recenzji.
- wybranych parametrów petrofizycznych skał,
- opisu składu izotopowego gazu dla wybranych próbek skalnych,
- charakterystyki materii organicznej na bazie analizy pirolitycznej Rock-Eval 95.

Wyniki, w zdecydowanej większości przedstawiono w postaci stabelaryzowanej oraz na wykresach przygotowanych w większości skali półlogarytmicznej. Takie przygotowanie wykresów wynikało z bardzo szerokiego zakresu wyników pomiarowych od 0 do ok. 1 500 000. Wykresy te, poza pojedynczymi przypadkami są czytelne. Wątpliwości moje budzą bardzo duże różnice pomiędzy wartościami średnich arytmetycznych oraz median. Do tych zagadnień, związanych ze statystyką, również wrócę w kolejnym punkcie recenzji.

4. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Zauważam pewną sprzeczność w używanym nazewnictwie. Gaz uzyskany w czasie odgazowania rdzenia, zwany jest zamiennie gazem „desorbowlanym” oraz „wolnym”. Gaz „wolny” posiada trzy stopnie swobody. Tymczasem sorpcja prowadzi do ograniczenia ilości stopni swobody. Gazu pierwotnie związanego siłami Van der Vallsa (sorpcja fizyczna) z powierzchnią skały, z ograniczonym stopniem swobody cząstek nie powinno się więc nazywać gazem wolnym. W mojej opinii, w przypadku badanych skał a w szczególności dolomitu, anhydrytu i soli, dokonując procesu odgazowania, w pierwszej jego fazie pozyskujemy gaz wolny oraz (w niewielkiej ilości) gaz desorbowlany z przestrzeni porowej porów otwartych. Podkreślam słowo „oraz”. Ta suma składników winna być traktowana łącznie, gdyż w mojej opinii jest nierozdzielna. W drugiej fazie procesu odgazowania, po zmieleniu skały i udostępnieniu dla procesu odgazowania porów wcześniej niedostępnych (zamkniętych oraz mikroporów), pozyskujemy głównie gaz wolny i sorbowany z tych przestrzeni. Zauważam jednocześnie, że składnik gazu, zwany w pracy „resztkowym” jest dominującym składnikiem całości gazu pozyskanego ze skał (rys. 52, rys. 63). W przypadku węglowodorów suma (ΣCH) gazu zwanego „resztkowym” jest ponad dziesięciokrotnie większa niż gazu „desorbowlanego” (rys. 71).

Dzieląc w ten (moim zdaniem wątpliwy) sposób składniki pozyskane w procesie odgazowania, autorka dokonuje odrębnych analiz dla gazu „desorbowlanego (wolnego)” oraz resztkowego. Niezależnie od tego jak dokonamy podziału gazów na poszczególne

składniki, jakie przyjmujemy kryteria podziału i jaką zastosujemy nomenklaturę, brakuje mi w pracy wartości liczbowych opisujących całość gazu zawartego w badanych skałach. Ten parametr wydaje się najważniejszy biorąc pod uwagę zagrożenie gazowe w kopalniach. Jedynymi rysunkami przedstawiającym całkowitą ilość gazu są rysunki Rys. 53, Rys. 55 i rys. 57. Są one jednak jednymi z tych mniej czytelnych w pracy. Z wykresów można dokonać wyłącznie szacunku ich wielkości. W pracy nie można także odnaleźć informacji o maksymalnych zawartościach poszczególnych gazów oraz ich sumy. Wartość maksymalna każdego ze składników może bowiem nie być sumą wartości maksymalnych poszczególnych składników.

Autorka, opisując metodykę oznaczenia gazonośności definiuje również „gaz tracony” (str. 20) i bez podania przyczyny, całkowicie pomija ten składnik gazu. Udział tego składnika w całości gazu staje się tym bardziej znaczący im większy jest udział gazu wolnego w całości gazu zawartego w skale, co ma miejsce w przypadku skał niesorbujących lub słabosorbujących. Proszę o wyjaśnienie przyczyny.

Jedną z ważnych uwag do całości wyników zaprezentowanych w pracy jest brak informacji o niepewnościach pomiarowych. Uważam, że wiarygodny wynik pomiaru, musi być podany wraz z niepewnością pomiarową. Bez tego trudno ocenić wiarygodność wyników. Informację tą próbowałem uzyskać, analizując cyfry znaczące w tablicach (np. tab. 3 i tab. 4). Przykładowo, w przypadku maksymalnej zawartości gazu desorbowanego w anhydrycie mamy wartość $84\,128,8\ \mu\text{l/kg}$ skały. Jeśli przyjmujemy, że wszystkie podane cyfry są cyframi znaczącymi, to wynik winien się zawierać w przedziale $84\,128,8 \pm 0,05\ \mu\text{l/kg}$ skały. To, z kolei oznacza, że niepewność oznaczenia byłaby na poziomie rzędu $10^{-4}\%$. W przypadku minimalnej zawartości gazu desorbowanego ($2,4\ \mu\text{l/kg}$) niepewność pomiarowa, oszacowana na podstawie ilości cyfr znaczących byłaby na poziomie 2%. Różnica w tak oszacowanych niepewnościach wynosi pięć rzędów wielkości. W mojej opinii nie wszystkie podane w tabelach cyfry są cyframi znaczącymi.

Głównym składnikiem mieszanek gazowych, pozyskanych z badanych skał jest N_2 . Dla czterech z pięciu analizowanych warstw skalnych stanowi on ponad 95% całości pozyskanego gazu. W mojej opinii możemy mieć do czynienia z sytuacją, gdzie suma wyników pomiarów zawartości wszystkich pozostałych gazów może być mniejsza od niepewności oznaczenia zawartości azotu nadmiarowego. Niestety, na podstawie przekazanych w pracy informacji nie można tego potwierdzić ani temu zaprzeczyć. Może celowym byłoby przeprowadzenie analizy opartej na udziałach poszczególnych składników, po odjęciu nadmiarowego azotu? Autorka nie podaje w swojej pracy w jaki sposób oznaczono ten składnik (N_2). Jeśli był on obliczony jako „domknięcie” bilansu w chromatografii, może być obciążony większą niepewnością niż pozostałe składniki. Wśród składników gazowych brak tlenu, którego zawartość (stężenie) mógłoby zostać wykorzystane do bilansowania powietrza atmosferycznego w pojemnikach. Niestety tych informacji praca nie zawiera.

W dysertacji podkreślane są stwierdzenia o użyciu metod statystycznych. Obejmują one jednak głównie statystykę „opisową” zawierającą opis tabelaryczny oraz prezentację graficzną wyników na odpowiednich wykresach. Miary rozkładu cech obejmują wyłącznie ekstrema wartości, wartości średnie, medianę oraz rozstęp. Temat ten poruszyłem wstępnie

już wcześniej. Mimo, że nie jestem matematykiem, uważam, że to zbyt mało. Brakuje mi informacji dotyczących miar różnicowania rozkładów. Autorka wielokrotnie używa pojęcia korelacja. Przykładowo mamy: „...korelacji pomiędzy wykształceniem litofacjalnym, a ilością ... gazów...”. Korelacja oznacza, że znając wartość jednej zmiennej możemy wnioskować na temat wartości drugiej. Korelacja winna być przedstawiona liczbowo, np. współczynnikiem korelacji Pearsona. Nie można obliczyć jakiegokolwiek współczynnika korelacji pomiędzy litologią a np. ilością gazu, przepuszczalnością czy porowatością. Dodatkowo nie można wykonać korelacji na zbiorach obejmujących pięć par zmiennych.

W ujęciu statystycznym można, a nawet należałoby przeprowadzić odpowiednie obliczenia dotyczące korelacji pomiędzy wymienionymi wielkościami ale na zbiorach danych uzyskanych dla poszczególnych formacji litologicznych. Pozwala na to liczność zbiorów, przedstawiona w załącznikach do recenzowanej rozprawy. Tego w dysertacji nie znalazłem. Z powyższych powodów uważam, że w pracy nie przedstawiono korelacji a tylko zależności.

Już pobieżna analiza stabelaryzowanych danych pokazuje, mamy do czynienia z bardzo dużymi różnicami pomiędzy wartościami średnimi a medianami. W połowie wyników (15 na 30) pomiarów zawartości Cl , CO_2 , CO , zw. S , H_2 i He , mediana ma wartość zero. Oznacza to, że co najmniej połowa pomiarów zawartości tych gazów wykazała wartości zerowe. W przypadku zawartości nadmiarowego azotu w gazie desorbowlalnym, w czterech skałach na pięć przebadanych, mediana również wynosi zero (patrz rys. 20) a dla helu „resztkowego” wszystkie wartości median są zerowe.

W rozprawie znajdujemy zestawienia wyników, gdzie wartości maksymalne są bardzo wysokie (np. ponad 50 000), średnia (arytmetyczna) wynosi ok. 600 a mediana ma wartość 0 (zero)!! Oznacza to, że te, podane jako przykłady, rozkłady populacji nie są rozkładami normalnymi. Obliczanie średniej arytmetycznej, czy też mediany na podstawie wyników z których tylko kilka procent z nich ma niezerowe wartości a wszystkie mediany mają wartość zero (np. zawartość związków siarki w gazie desorbowlalnym – Tabela 3) budzi moje duże wątpliwości co do końcowych wniosków wyciągniętych na jej podstawie.

Jeśli przyjrzeć się zawartościom metanu „desorbowanego” w soli kamiennej, okaże się, że:

- występuje bardzo duża różnica między średnią a medianą (odpowiednio: 48,8 i 8,8 $\mu l/kg$ skały),
- wszystkie próbki poza jedną, wykazują zawartość poniżej 400 $\mu l/kg$ skały. Jedna próbka ma zawartość metanu powyżej 3400 $\mu l/kg$ skały, czyli o rząd większą od pozostałych. Bardzo wstępna analiza zmiennych dla omawianego przypadku, po odrzuceniu maksymalnego wyniku, pokazuje, że:
- średnia arytmetyczna obliczona bez uwzględnienia tej maksymalnej wartości spada z 48,8 do 28,6 $\mu l/kg$ skały,
- do zawartości ok. 35 $\mu l/kg$ skały, rozkład wyników jest zbliżony do rozkładu normalnego (średnia i mediana mają wartości ok. 8 $\mu l/kg$),
- przy uwzględnieniu wyższych zawartości metanu w badanych próbkach, znacząco zaczyna rosnąć różnica pomiędzy wartością średnią a medianą.

Mimo tego, poddając analizie uzyskane dane, Doktorantka posługuje się głównie wartościami średnimi z całych populacji. W takich przypadkach wartości średnich arytmetycznych mogą, być niestety mylące. Wydaje się, że lepszy efekt dałaby analiza

rozkładów prawdopodobieństw wystąpienia wartości z przedziałów zawartości poszczególnych składników. Uważam, że przed publikacją wyników warto szerzej je szerzej przeanalizować, w szczególności pod kątem rozkładów populacji i ich miar.

Wyjaśnienia wymaga pojęcie gradientu. W pracy mamy np. przykładowo: „....gradient temperaturowy od 30°C do 240°C” (str. 46), „....gradientu temperaturowego od 300 do 850 °C i narosie 20 °C/min.”. W mojej opinii jednostką gradientu jest °C/min., czyli gradientem jest „narość” z ostatniego z cytatów. Czytam również (str. 45): „....z gradientem przepływu od 3 ml/min do 6 ml/min”. Podana jednostka (ml/min) nie jest jednostką gradientu lecz przepływu. W takim przypadku gradient przepływu winien mieć wymiar ml/min².

W pracy opisano metodykę pomiarów piknometrycznych metodą rtęciową i helową. Obydwie metody stosowane są do oznaczenia porowatości zamkniętej. W tablicy 5 zestawiono również wyniki dotyczące porowatości całkowitej. Nasuwają się następujące pytania: Jaką metodą uzyskano te wyniki? Czy wyniki oznaczenia porowatości otwartej, całkowitej oraz zawartości gazów wykonane zostały na tych samych próbkach?

Ponadto:

- Na str. 49 mamy: „...jeżeli ...prosta $k = f(1/p)$ wykazuje niezaniechdywalne nachylenie...”
- Jakie jest kryterium zaniechdywania/niezaniechdywania?
- W równaniu Klinkenberga współczynnik m – „nachylenie krzywej” winien mieć wymiar ciśnienia.
- Co oznacza „nachylenie krzywej”? Pochodną krzywej w punkcie?
- W pracy stosowane są zamiennie „przepuszczalność” i „współczynnik przepuszczalności”. Czy to to samo? Podobnie dla „porowatości” i „współczynnika porowatości”.

Drobne uwagi i omyłki:

Str. 18: Co oznacza „kształt wyrzutu”?

Tabele 1 i 2: Winno być „Liczby...”.

Strona 47: Jest „psi”, winno być przeliczone na bar.

Strona 99: „Uwzględniono przede wszystkim zależność w profilu litologicznym w ujęciu sumarycznym gazu, jak i poszczególnych jego składników w relacji do właściwości petrofizycznych i lokalizacji na terenie działalności „OG Sieroszowice”. Nie rozumiem.

Str. 121: Powinno być: „tys.” a jest „tyś.”.

Str. 136: Błędnie podpisany Rysunek 77.

5. Podsumowanie

Bardzo pozytywnie oceniam tematykę opiniowanej pracy doktorskiej. Podejmuje ona zagadnienia związane z obecnością gazów w rejonach prowadzonej eksploatacji rud miedzi.

Zagadnienie to jest ważne z uwagi na pojawiające się symptomy, wskazujące na możliwość wzrostu tego zagrożenia. Tytuł pracy zgodny jest z treścią. Praca napisana jest starannie pod względem edytorskim, zawarta grafika jest w zdecydowanej większości czytelna a pojawiające się omyłki bardzo nieliczne. Zestawienie literatury obejmuje odpowiednie powołania. Drobną uwagę dotyczyć mogą braku rozdziału zawierającego wprowadzenie czytelnika do podjętej tematyki na podstawie przeglądu dotychczasowej wiedzy. Wiedzę tą uzyskamy jednak w poszczególnych rozdziałach pracy.

Poważne zastrzeżenia budzą zagadnienia związane z niepewnościami pomiarowymi dotyczącymi oceny zawartości gazów, przyjęty podział na gaz „desorbowalny” oraz resztkowy oraz po części analiza danych pomiarowych oparta głównie na wartościach średnich arytmetycznych obliczonych z populacji charakteryzujących się rozkładami znacząco odbiegającymi od rozkładów normalnych. Doktorantka wielokrotnie podkreśla używanie metod statystycznych. W tym zakresie niewątpliwie można było wykorzystać dane w szerszy sposób a przynajmniej uniknąć stwierdzeń dotyczących „korelacji” pomiędzy litologią a wartościami liczbowymi opisującymi układ skała-gaz. Korelacja lub jej brak w statystyce opiera się bowiem na wartościach liczbowych określających zależność pomiędzy zbiorami danych np. współczynnik korelacji Pearsona. Takich korelacji w pracy nie znalazłem.

Mając na uwadze powyższe, nie mogę zgodzić się z treściami zawartymi w punktach 4 i 5 wniosków końcowych doktorantki, że:

- „*Zaobserwowano wyraźną korelację pomiędzy całkowitą ilością gazu (sumą gazu desorbowanego i resztkowego) a litologią. ...*” (Pkt. 4),
- „*Zdecydowanie najwyższe odstępstwo od liniowej zależności całkowitej ilości gazu od porowatości całkowitej i otwartej dla badanych wydzielił litologicznych wykazały próbki łupku miedzionośnego.*” (pkt. 5).

W treści dysertacji nie znalazłem podstaw do takich stwierdzeń.

Podjęcie Doktorantki do statystyki, w niniejszej recenzowanej dysertacji, jest w głównej mierze podejściem nie ilościowym ale jakościowym. W przeprowadzonych analizach wzięto pod uwagę zależności pomiędzy ilościami gazów zgromadzonych w pięciu formacjach skalnych, ich właściwościami petrograficznymi. Tą, opisową część pracy, oceniam pozytywnie. Pozwoliła ona, w sposób jakościowy, m.in. na określenie związków dotyczących dystrybucji poszczególnych składników gazowych. Autorka dokonała również porównania składników gazowych uzyskanych z pobranych rdzeni ze składami gazów zakumulowanych w złożach sąsiednich. Dopełnieniem było uzupełnienie analiz o ocenę genetyczną oraz ocenę możliwości generacyjnych poszczególnych formacji w oparciu o badania składu izotopowego węgla w węglowodorach pobranych ze złoża. To wszystko, po uwzględnieniu m.in. wyników badań przepuszczalności i porowatości pozwoliło na wyciągnięcie pewnych wniosków dotyczących migracji gazu w obrębie złoża. Autorka dokonała również podziału całego obszaru badań na pięć rejonów. Takie podejście pozwoliło na wskazanie potencjalnych miejsc kumulacji węglowodorów we wschodniej i północno-wschodniej części złoża. W mojej ocenie rozprawa zawiera bardzo bogaty zestaw informacji dotyczących układu węgiel-skała, mających potencjał wdrożeniowy dla górnictwa rud miedzi.

Niniejsza dysertacja pokazała, że Doktorantka posługuje się nowoczesnymi metodami i narzędziami badawczymi, zna odpowiednią literaturę naukową dotyczącą omawianej tematyki. Uważam również, że rozprawa wnosi elementy nowości w rozpoznanie układu skała gaz, które mogą być istotne zarówno pod względem naukowym jak i w zakresie rozpoznania i zwalczania zagrożenia gazowego oraz wyrzutami gazów i skał w kopalniach rud miedzi. Mimo przedstawionych wcześniej uwag krytycznych, analizując całość pracy doktorskiej Pani mgr Małgorzaty Kani, oceniam ją pozytywnie.

Wniosek końcowy

Po zapoznaniu się z treścią rozprawy doktorskiej Pani mgr Małgorzaty Kani p.t.: *„Zależność pomiędzy wykształceniem litoficjalnym, a molekularnym gazów pochodzących z degazacji rdzeni skalnych”*, stwierdzam, że rozprawa spełnia wymagania ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

Wnoszę równocześnie o dopuszczenie mgr Małgorzaty Kani do publicznej obrony.

Arkoś 29.03.2020. 