

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Mateusza Masłowskiego pt.: *Wpływ wgniatania ziaren materiału podsadzkowego w skałę złożową na efektywność podsadzania szczeliny w zabiegach stymulacyjnych wybranych złóż niekonwencjonalnych*

Podstawa formalna i przedmiot recenzji

Podstawą formalną przygotowania recenzji jest pismo z dnia 21.07.2022 r. prof. dr hab. inż. Andrzeja Rusina, Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska o tytule jw., która zawiera:

- streszczenia w języku polskim i angielskim,
- spisy treści, rysunków, tabel, indeksów stosowanych akronimów, symboli i jednostek (strony I – XV) oraz 150 stron tekstowych (strony 1 – 150), w tym
 - cel i teza pracy
 - wprowadzenie do tematyki (stan wiedzy)
 - 6 głównych rozdziałów merytorycznych obejmujących metodykę badań, symulację zjawiska wgniatania ziaren podsadzki w skałę, analizę wpływu wyżej wymienionego zjawiska na efektywność podsadzania szczeliny, statystyczną ocenę uzyskanych wyników badań, ich dyskusję oraz podsumowanie i wnioski.

Ponadto,

- na stronach 141 – 150 znalazły się spisy literatury, aktów prawnych i norm.

Integralną częścią pracy doktorskiej jest załącznik, który zawiera obrazy mikroskopowe powierzchni rdzeni badanych skał.

Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Tematykę pracy doktorskiej, która jest o charakterze poznawczym, metodycznym i aplikacyjnym, uważam za aktualną, ze względu na to, że zasoby węglowodorów w złożach konwencjonalnych stopniowo zmniejszają się w wyniku intensywnej ich eksploatacji a zasoby w złożach tzw. niekonwencjonalnych są oceniane, jako znacznie większe i będą mogły być eksploatowane dzięki zintensyfikowaniu prac poszukiwawczych nowych, ale trudniej dostępnych złóż węglowodorów, zwłaszcza złóż gazu ziemnego. Obecna sytuacja geopolityczna również będzie motorem napędowym poszukiwań nowych złóż węglowodorów, a co za tym idzie stałego doskonalenia istniejących metod badawczych w tym zakresie, oraz opracowywania nowych rozwiązań technologicznych.

Na wstępie dysertacji Doktorant jasno sformułował:

- cel naukowy pracy polegający na zbadaniu zjawiska wgniatania ziaren materiału podsadzkowego w skałę złożową na efektywne podsadzenie wytworzonej szczeliny, po wykonaniu zabiegu hydraulicznego szczelinowania złóż niekonwencjonalnych

oraz

- tezę w brzmieniu *Na podstawie określenia parametrów opisujących zjawisko embedmentu jest możliwa ocena efektywności podsadzania szczeliny w zabiegach stymulacji złóż niekonwencjonalnych.*

Zrealizowanie celu naukowego oraz weryfikację postawionej tezy Doktorant planował dokonać poprzez realizację zakresu pracy, który obejmował:

- określenie warunków geologiczno-złożowych niekonwencjonalnych złóż węglowodorów w Polsce, niezbędnych do wykonania laboratoryjnej symulacji wgniatania ziaren podsadzki w skałę i wytypowanie złóż, oraz oznaczenie wybranych właściwości fizycznych skał, w tym petrofizycznych i mechanicznych, pochodzących z głębokich otworów badawczych,

- zaproponowanie technologii stymulacji dedykowanej dla wybranych dwóch krajowych skał pochodzących ze złóż niekonwencjonalnych wraz z wyznaczeniem właściwości płynów szczelinujących oraz materiału podsadzkowego,
- opracowanie metodyki przygotowania próbek, obrazowania powierzchni skały oraz badania i analizy uzyskanych wyników pomiarów,
- wykonanie symulacji zjawiska wgniatania ziaren podsadzki w skałę w warunkach laboratoryjnych, zbliżonych do warunków złożowych i wyznaczenie parametrów charakteryzujących to zjawisko,
- analizę zmian morfologii powierzchni skały,
- statystyczną ocenę uzyskanych wyników,
- analizę efektywności podsadzenia szczeliny zaproponowanym materiałem podsadzkowym.

Sformułowany cel naukowy pracy doktorskiej uważam za oryginalny i świadczący o dobrym rozpoznaniu zagadnienia naukowego podjętego przez Doktoranta, nad czym pracował od 2014 roku i systematycznie publikował wyniki swoich badań (artykuły naukowe przywoływane w doktoracie).

Przegląd literatury składa się z 142 pozycji literatury, z czego 50% stanowią artykuły w języku angielskim. W tej liczbie Doktorant cytuje 12 artykułów, w tym 5 publikacji samodzielnych i 7 współautorskich (3 w języku angielskim), oraz współautorski patent dotyczący sposobu wyznaczania wysokości wycisku materiału skalnego dla szczeliny (2021).

W mojej opinii, Doktorant szczegółowo dokonał przeglądu literatury w zakresie:

- budowy geologicznej i warunków złożowych obszarów występowania w Polsce niekonwencjonalnych złóż węglowodorów i właściwości fizycznych wybranych skał złożowych, w tym właściwości mechanicznych, petrofizycznych i badania mineralogiczne,
- metod intensyfikacji wydobycia węglowodorów ze złóż niekonwencjonalnych (zabieg hydraulicznego szczelinowania górotworu, rodzaje płynów szczelinujących i rodzajów podsadzki oraz zjawisk niekorzystnie wpływających na efektywność podsadzanie szczelin)
- przewodniego nurtu pracy doktorskiej dotyczącego zjawiska wpływu wgniatania ziaren materiału podsadzkowego w skałę złożową na efektywność podsadzania szczeliny w zabiegach stymulacyjnych wybranych złóż niekonwencjonalnych na podstawie doświadczeń światowych i krajowych.

Tę część pracy doktorskiej uważam za wystarczającą w zakresie merytorycznym, w tym w zakresie liczby publikacji przywołanych w tekście rozprawy doktorskiej.

Szacowane zasoby gazu ziemnego w złożach niekonwencjonalnych stanowią znaczny potencjał, ale jest przy tym konieczna poprawa rozpoznania budowy geologicznej oraz doskonalenie technologii udostępniania tych zasobów umożliwiających samoczynny i wydajny przepływ węglowodorów ze złoża do otworu wiertniczego - drenującego. Jednym z wielu ważnych zagadnień naukowych i technicznych, dotyczących poprawy drożności masywu skalnego, umożliwiających przepływ węglowodorów ze złoża do otworu drenującego, jest podsadzanie materiałem podsadzkowym szczelin wytworzonych w procesie szczelinowania górotworu. W grupie zjawisk, które negatywnie wpływają na efektywność podsadzenia, powstałego w ten sposób systemu szczelin a tym samym zachowania ich drożności, jest zjawisko wgniatania ziaren stosowanego materiału podsadzkowego w skałę złożową.

Dla zrealizowania założonego celu naukowego Doktorant opracował odpowiednią, zmodyfikowaną względem wcześniejszych samodzielnych swoich prac i współautorskich, metodykę badań laboratoryjnych i analizę uzyskanych wyników, w tym z uwzględnieniem wycisku materiału skalnego pochodzącego z powstałych wgniecień na powierzchni skały. Autor wyraził taką potrzebę, gdyż Jego zdaniem wcześniejszy „sposób analizy danych pomiarowych wymagał weryfikacji i dopracowania”. Tak więc, Doktorant badania eksperymentalne przeprowadził zgodnie z opracowaną samodzielnie metodyką oraz opracowaną metodą analizy zjawiska wgniatania ziaren podsadzki w powierzchnie czołowe próbki z uwzględnieniem wycisku materiału skalnego.

Doktorant słusznie zdecydował się na przeprowadzenie badań dwóch rodzajów skał osadowych pochodzących z niekonwencjonalnych złóż węglowodorów, różniących się składem mineralnym, strukturą oraz teksturą i sposobem zakumulowania gazu ziemnego, w przestrzeni porowej lub w matrycy skalnej. Pozwoliło mu to na szersze spojrzenie na problem niszczenia ścian szczelin wytworzonych w procesie hydraulicznego zruszenia górotworu, w złożach zbudowanych ze skał ilastych oraz okrucowych.

Do zrealizowania celu pracy Doktorant zdefiniował warunki przeprowadzenia eksperymentów dla każdej ze skał, uwzględniając rzeczywiste warunki złożowe panujące na średnich głębokościach ich zalegania. Moim zdaniem jest to słuszne podejście w badaniach laboratoryjnych uwzględniające w bardzo dużym przybliżeniu warunki złożowe a więc w pewnym zakresie również „efekt skali”. Przyjęte założenia dotyczące średniej wartości zalegania danej formacji złożowej oraz wartości temperatury panującej w formacjach geologicznych, z których pochodziły skały opierają się na wiedzy literaturowej. Z powodu braku danych literaturowych dotyczących wielkości naprężenia panującego w górotworze, w wytypowanych rejonach badań, Doktorant przyjął pewne założenia, dotyczące wartości naprężenia ściskającego, korzystając ze „źródła zastrzeżonego dla ogólnodostępnej publikacji”. Wobec powyższego nie jest możliwe zweryfikowanie poprawności tego założenia, które wpływa na wynik końcowy analiz.

Badanie wpływu wgniatania ziaren materiału podsadzkowego wypełniającego sztucznie wytworzoną szczelinę w skale na efektywność podsadzania było poprzedzone badaniami mineralogicznymi skał, badaniami właściwości petrofizycznych i geomechanicznych celem ustalenia wartości wybranych parametrów opisujących te właściwości. Przedstawione w pracy wyniki oznaczenia składu mineralnego oraz właściwości petrofizycznych skał zostały określone zgodnie z powszechnie stosowaną obecnie metodyką i przy użyciu nowoczesnej aparatury, w którą są wyposażone liczne placówki badawcze i uczelnie. Charakterystykę geomechaniczną Doktorant słusznie oparł o wartości parametrów mechanicznych, na podstawie, których wskazał na dużą plastyczność skał. Wyznaczone wskaźniki kruchości pozwoliły natomiast na dobór płynu szczelinującego a publikowane w literaturze naukowej schematy doboru rodzaju materiału do podsadzenia szczelin sztucznie wytworzonych. Ponadto, z pomiarów ultradźwiękowych przeprowadzonych na próbkach skał wynikało, że obie skały charakteryzowały się obniżoną podatnością na hydrauliczne szczelinowanie. W związku z tym Doktorant słusznie zdecydował się na zastosowanie technologii szczelinowania przy użyciu sieciowanych polimerów, identycznych ze stosowanymi w zabiegu szczelinowania górotworu badanego złoża niekonwencjonalnego, oraz podsadzki ceramicznej – technologii odpowiedniej dla skał charakteryzujących się, między innymi, podwyższoną plastycznością. Dla płynu szczelinującego, jak i dla podsadzki zostały przeprowadzone stosowne badania w celu potwierdzenia odpowiednich ich właściwości w aspekcie stosowania w zabiegach hydraulicznego szczelinowania.

Badanie wpływu wgniatania ziaren materiału podsadzkowego wypełniającego sztucznie wytworzoną szczelinę na efektywność podsadzania przeprowadzono na stanowisku składającym się z maszyny wytrzymałościowej i komory do badania tego zjawiska, którą podgrzewano do temperatury zbliżonej wartością do złożowej i zadawano wartość obciążenia równego ciśnieniu efektywnemu. Wartość tego ciśnienia przyjęto, jako równe obliczonemu ciśnieniu zamknięcia szczeliny. Badanie zmian rozwarości szczeliny w trakcie prowadzonego eksperymentu pozwoliło na obserwację momentu stabilizacji jej rozwarości. Na podstawie tych wartości Doktorant dokonał wstępnej oceny możliwości zastosowania konkretnej technologii szczelinowania skał.

Do oceny wpływu zjawiska wgniatania ziaren podsadzki na efektywności podsadzania szczeliny w zabiegach stymulujących, Doktorant, na podstawie obrazowania pierwotnej powierzchni szczelin w wymiarze 3D i powierzchni uszkodzonej przez ziarna podsadzki, oznaczył wartości parametrów, według metody autorskiej:

- średnią głębokość i średnią szerokość wgniecenia ziaren podsadzki w ścianę szczeliny z uwzględnieniem wysokości wycisku materiału skalnego,
- procentowe uszkodzenie powierzchni czołowej rdzenia przez wgniecenia ziaren podsadzki z uwzględnieniem wycisku materiału skalnego z wgnieceń,
- całkowitą głębokość wgnieceń ziaren podsadzki w ściany szczeliny wraz z wysokością wycisków materiału skalnego z tych wgnieceń,
- średnie procentowe uszkodzenia powierzchni ścian szczeliny spowodowane przez wgniecenia ziaren podsadzki w skałę i w skałę wraz wyciskiem materiału skalnego.

Doktorant, mając świadomość, że na efektywność przepływu węglowodorów przez warstwę podsadzki wypełniającej szczelinę ma wpływ głębokość wgnieceń ziaren podsadzki w skałę i wysokość wycisków materiału skalnego, finalnie opracował parametry definiujące uszkodzenia powierzchni skały, jak również parametr definiujący przestrzeń porową dostępną dla przepływu węglowodorów:

- efektywną rozwartość szczeliny wypełnionej materiałem podsadzkowym i procentowa efektywną rozwartość szczeliny z posadzką została wyznaczona z uwzględnieniem wgniecień ziaren podsadzki w skałę i wycisków materiału skalnego pochodzących od wgniecień - mające wpływ na przepływ węglowodorów przez podsadzkę do otworu drenującego
- procentową efektywną powierzchnię ściany szczeliny dostępną dla przepływu węglowodorów ze skały do szczeliny.

Za ważny element pracy doktorskiej uważam zaproponowany przez Doktoranta schemat klasyfikacji efektywności podsadzenia szczeliny, oparty o autorskie wskaźniki, opracowane na podstawie odporności skały i podsadzki na badane niekorzystne zjawisko, z uwzględnieniem warunków termicznych panujących w górotworze, w rejonach skąd pochodziły skały, ciśnienia zaciskającego szczelinę i przy uwzględnieniu czterech koncentracji powierzchniowych stosowanej w eksperymentach podsadzki. Klasyfikacja pozwoliła na określenie klasy tej odporności dla badanych skał i ma w ten sposób bezpośrednie przełożenie na ocenę drożności szczelin powstałych w procesie szczelinowania górotworu, w aspekcie intensywności przepływu mediów przez spękany górotwór i podsadzkę do otworu drenującego.

Opracowanie parametrów, które definiują wpływ wgniatania ziaren podsadzki na efektywności podsadzenia szczeliny w zabiegach stymulujących oraz zaproponowaną na ich podstawie klasyfikację oceny odporności skały i podsadzki na badane zjawisko, uważam za najważniejsze rezultaty pracy doktorskiej.

Wyniki badań wykonanych na próbkach suchych i próbkach nasyconych płynem szczelinującym, w tym wyniki opracowanych parametrów, i analiz wgniatania ziaren podsadzki w powierzchnie ścian szczelin wygenerowanych w piaskowcu i skale ilastej typu „łupek” Doktorant jasno zaprezentował w zestawieniach tabelarycznych i na wykresach oraz w sposób opisowy.

Doktorant mając świadomość, że w górotworze, w wyniku procesu szczelinowania powstaje sieć szczelin o różnej rozwartości, które są połączone hydraulicznie ze szczeliną inicjującą, przeprowadził również teoretyczną symulację wpływu zjawiska wgniatania ziaren, z uwzględnieniem wycisku materiału skalnego, dla 4 zadanych koncentracji powierzchniowych podsadzki. Wyniki badań skonfrontował z maksymalnymi możliwymi do uzyskania rozwartości szczelin bez zjawiska wgniatania ziaren i wycisku. Wyniki powyższych badań przedstawił na diagramach słupkowych i w formie opisowej.

Doktorant bardzo rzetelnie przeprowadził oszacowanie niepewności uzyskanych wyników badań parametrów określających procentowe uszkodzenie powierzchni skały, które pochodziły z bezpośrednich pomiarów oraz wartości obliczonych, w tym opracowanych wskaźników a ich wartości przedstawił w zestawieniach tabelarycznych. Ważnym elementem analizy statystycznej były testy równości średnich wykonane dla parametrów chropowatości powierzchni czołowych rdzeni, pomiarów głębokości i szerokości wgniecień oraz wysokości i szerokości wycisków, dla sprawdzenia czy *wyniki badań z różnych obszarów powierzchni czołowych rdzeni należą do tej samej populacji*. Doktorant, mimo iż badania przeprowadził tylko na dwóch rodzajach skał, to każdą z nich badał w dwóch stanach: suchym i nasyconym płynem szczelinującym i wykonał wystarczającą liczbę eksperymentów (20 eksperymentów oznaczenia chropowatości powierzchni czołowych rdzeni i 40 testów zjawiska wgniatania ziaren podsadzki w skały z uwzględnieniem wycisku materiału skalnego) by przeprowadzić rzetelną analizę statystyczną testu równości średnich i potwierdzić w większości przypadków, że *„pomiarów wykonane w różnych obszarach rdzeni nie odbiegają od siebie w znaczeniu zastosowanej miary statystycznej”*. Doktorant jednoznacznie wskazał też nieliczne przypadki, w których test równości średnich nie potwierdził zgodności statystycznej wartości wykonanych pomiarów, co w żaden sposób nie obniża wartości merytorycznej pracy.

Opisanie, na podstawie analizy morfologii, mechanizmów niszczenia powierzchni czołowych skał w wyniku szczelinowania hydraulicznego, w zależności od tego, czy skały były suche, czy nasycone płynem szczelinującym, stanowi uzupełnienie wiedzy dotyczącej zjawiska wgniatania ziaren w skałę w wytworzonej sztucznie szczelinie.

Treść rozdziału *Podsumowanie i wnioski* jest zwięzłe i poprawnie sformułowana.

Podsumowując, temat rozprawy doktorskiej uważam za trafny, bo z przeglądu literatury przedstawionej w pracy wynika, że badania przeprowadzone przez Doktoranta są oryginalne, gdyż w literaturze naukowej do niedawna były publikowane dane dotyczące wyłącznie wartości całkowitej głębokości wgniatania podsadzki

w ściany szczeliny i jej rozwartość. Badania Doktoranta opublikowane w 2021 r, oraz wyniki pracy doktorskiej, wniosą do literatury dane dotyczące wartości modułów dynamicznych badanych skał ze złóż niekonwencjonalnych i nowe parametry dotyczące powierzchni ścian szczeliny, uwzględniające również wycisk materiału skalnego pochodzącego z wgniatania ziaren podsadzki w skałę.

Na podstawie przeprowadzonych badań Doktorant jasno sprecyzował wpływ zjawiska wgniatania ziaren podsadzki z uwzględnieniem wycisku materiału skalnego na efektywność podsadzenia sztucznie wytworzonej szczeliny w piaskowcu i skale ilastej. Wedle mojej wiedzy, Doktorant, jako pierwszy zaproponował badanie efektywności podsadzania szczeliny w zabiegach stymulujących z uwzględnieniem wycisku materiału skalnego, na co wskazują przywołane w doktoracie publikacje dotyczące złóż w USA i w Polsce.

W mojej opinii, uzyskane przez Doktoranta rezultaty badawcze, w tym metodyczne przyczyniły się do pozyskania nowej wiedzy, opartej o empiryk i nowego narzędzia służącego ocenie zniszczenia powierzchni szczelin powstałych w procesie hydraulicznego szczelinowania. W związku z tym na podkreślenie zasługuje wartość aplikacyjna pracy doktorskiej w analizach skuteczności tego procesu. Cenne jest również uzupełnienie przez Doktoranta istniejącej bazy danych właściwości fizycznych skał zbiornikowych z obszarów będących przedmiotem badań, w tym przypadku, o unikatowe dane dotyczące dynamicznych modułów i wycisku materiału skalnego w procesie wgniatania ziaren podsadzki w skałę, które w istotny sposób mogą przyczynić się do uszczegółowienia charakterystyki wytypowanych poligonów badawczych.

Praca jest napisana starannie, z nielicznymi błędami edytorskimi a wyniki badań są dobrze udokumentowane tabelarycznie i graficznie. Cytowanie pozycji literatury wykazanej w spisie jest prawie idealne – tylko 3 artykuły gdzieś się zgubiły lub ich nie dostrzegłam w tekście.

Doktorant zrealizował cel naukowy dysertacji w oparciu o wyniki szerokiego zakresu badań, które zaplanował i przeprowadził, a sformułowana przez Niego teza została zweryfikowana.

Pomimo wskazanych wyżej walorów poznawczych i aplikacyjnych recenzowanej pracy doktorskiej nasunęły mi się uwagi i spostrzeżenia, które przedstawiam w dalszej części recenzji, ale które nie umniejszają jej dużych walorów.

Uwagi i spostrzeżenia

- 1) Czytając pracę czasem było trudno się zorientować, czy Doktorant współuczestniczył w eksperymentach a może je w całości wykonywał - właściwie w całej pracy stosował bezosobową formę czasownika. Dotyczy to również interpretacji i dyskusji wyników badań – proszę o wyjaśnienia w tym zakresie.
- 2) Str. 19 – *Natomiast ility mają moduł Younga ok. 15,8 GPa* – myślę, że to nie były ility a np. ility bardzo silnie zapiaszczone lub mułowce - do sprawdzenia.
- 3) Str. 39 Doktorant napisał – *Mogło się to przyczynić do znaczącego kruszenia się bloków skalnych przy wyższych wartościach zadawanych naprężeń* – czy naprężenie (Pa) zadaje się czy może obciążenie a naprężenie w skałach/górotworze jest wynikiem działającej siły/obciążenia (N). Powtórzenie na str. 65 - *Z kolei wartość zadanego naprężenia...*
- 4) Str. 54 - Doktorant przyjął pewne założenia, co do wartości najmniejszego naprężenia poziomego, korzystając ze „źródła zastrzeżonego dla ogólnodostępnej publikacji”. Recenzenta nie była w stanie zweryfikować poprawności tego założenia, które wpływa na wynik końcowy analiz. Proszę o przybliżenie tego fragmentu pracy podczas obrony.
- 5) Str. 64; Rys. 3.4. – na rys. jest „*Naprężenie ściskające*” – proponowałabym opis *Kierunek obciążania ściskającego* albo *Kierunek obciążania próbki prostopadły do uwarstwienia*.
- 6) Str. 65 – *Skała była ściskana w komorze tylko w kierunku pionowym* – z rysunku 3.4 na str. 64 wynika, że była to komora typu „edometr” bez możliwości odkształcania się próbki w kierunku poziomym. Jak to się ma w stosunku do sformułowania na str. 58 – *Podczas badań rdzeń umieszczano w komorze rdzeniowej, umożliwiającej pomiar właściwości sprężystych skał podczas konwencjonalnego, trójosiowego ściskania...* – proszę o uściślenie problemu naprężeniowego w tych dwóch przypadkach.
- 7) Str. 71; wzór(3.24) w porównaniu z (3.27) na str. 72 – do sprawdzenia.
- 8) Str. 74 – *Związane jest to z efektywną rozwartością warstwy podsadzki* – skrót myślowy - nie podsadzki a szczeliny wypełnionej podsadzką.

- 9) Str. 78 – Z kolei próbkę łupka stanowiła ... - proponowałabym stosować termin, np. skała ilasta typu łupek.
- 10) Str. 103; Tab. 4.26 – Nazwy parametrów w tabeli powinny być dokładnie takie jak w tekście.
- 11) Str. 121; Tab. 5.3. – na podstawie, jakiej wiedzy przyjęto zakresy wartości dwóch najniższych klas (1 i 2) odporności skały i podsadzki na badane niekorzystne zjawisko wgniatania ziaren podsadzki w skałę.
- 12) Str. 127, Tab. 6.2 i Str. 129; Tab. 6.6 – tytuł tabeli jest błędny; patrz Str. 90 i 98.
- 13) Pomiędzy stroną 45 a 46 – znalazła się strona 96.
- 14) Nie dostrzegłam w tekście odwołania do publikacji wykazanych w spisie literatury (Argawal i in. 1979; Sato and Ichikawa 1988; Środoń i in. 2001).

Wniosek końcowy

Przedmiotem rozprawy doktorskiej mgr inż. Mateusza Masłowskiego było, zgodnie z tytułem, określenie wpływu wgniatania ziaren materiału podsadzkowego w skałę złożową na efektywność podsadzania szczeliny w zabiegach stymulacyjnych wybranych złóż niekonwencjonalnych.

Praca doktorska jest oryginalnym rozwiązaniem zdefiniowanego przez Doktoranta celu naukowego, gdyż szeroki zakres zaprojektowanych badań i analiz został zrealizowany na podstawie autorskiego programu badawczego w zakresie metodyki badań, opracowania nowych parametrów i klasyfikacji na ich podstawie, oraz uszczegółowienia statystycznej analizy wyników. Na podstawie eksperymentów laboratoryjnych, Doktorant zaproponował, więc kompleksową metodykę badań i oceny wpływu wgniatania ziaren materiału podsadzkowego na skuteczność podsadzania sztucznie wytworzonej w skale szczeliny, co moim zdaniem znacząco rozwija metodykę badań tego zjawiska.

Wyniki badań naukowych Doktoranta mają również wymiar aplikacyjny, gdyż odnoszą się do skuteczności technologii podsadzania sztucznie wytworzonego systemu spękań w procesie hydraulicznego szczelinowania górotworu dla celów pozyskania gazu ziemnego z górotworu.

Pod względem merytorycznym dysertację autorstwa mgr inż. Mateusza Masłowskiego oceniam bardzo dobrze. Analizy dokonane przez Doktoranta na podstawie przeprowadzonych badań stanowią dobrą podstawę do dalszych badań w celu lepszego poznania skomplikowanych procesów zachodzących w skałach zbiornikowych, w aspekcie możliwości pozyskiwania węglowodorów z perspektywicznych zasobowo złóż niekonwencjonalnych.

Stwierdzam, że doktorant wykazał się umiejętnością formułowania problemu naukowego oraz poprawnym doбором metod i narzędzi służących jego rozwiązaniu, co świadczy o umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej w dyscyplinie *Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka*.

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska spełnia wymagania ustawy z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789 z późn. zm.) o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, w związku z artykułem 179 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1669 z późn. zm.).

Biorąc powyższe pod uwagę, wnoszę do Rady Dyscypliny *Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka* Politechniki Śląskiej o dopuszczenie Pana mgr inż. Mateusza Masłowskiego do publicznej dyskusji nad rozprawą doktorską Jego autorstwa. Wnoszę także o wyróżnienie przedłożonej do recenzji rozprawy doktorskiej.

