



Kraków, 26.04.2024

Prof. dr hab. Katarzyna Zarębska
Wydział Inżynierii Środowiska, Geodezji i Energetyki Odnawialnej

Politechnika Świętokrzyska
kzarebska@tu.kielce.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Mateusz Szul

pt. „*Opracowanie metody filtracji gorących gazów procesowych przy wykorzystaniu filtrów świecowych*”

1. Podstawa prawna sporządzenia recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgr inż. Mateusza Szula pt.: „Opracowanie metody filtracji gorących gazów procesowych przy wykorzystaniu filtrów świecowych” opracowana pod kierunkiem promotora prof. dr hab. inż. Jarosława Zuwały i promotora pomocniczego dr inż. Tomasz Iluka.

Formalną podstawą przygotowania opracowania jest pismo Pana dr. inż. Jana Bondaruka, p.o. Dyrektora Głównego Instytutu Górnicztwa w Katowicach, z dnia 27 marca 2024r (NOP/79/2024/R).

2. Dane o Kandydacie

Kandydat ukończył studia magisterskie na Wydziale Chemii Politechniki Śląskiej w Gliwicach w roku 2014, otrzymując tytuł mgr. inż. Od roku 2012 pracuje w Instytucie Technologii Paliw i Energii (poprzednio Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla). Jego praca magisterska została wyróżniona pierwszym miejscem w ogólnopolskim konkursie SITPChem na najlepszą pracę dyplomową w dziedzinie chemii, mającą zastosowanie w przemyśle. Pan Mateusz Szul odbył staż zawodowy w Instytucie, ponadto aktywnie uczestniczył lub pełnił funkcję kierownika wielu krajowych i zagranicznych projektów badawczych i komercyjnych.

Jest współautorem jednej monografii oraz współautorem 16 opracowań naukowych, w tym większości o wysokim współczynniku oddziaływania. Jako współautor brał udział w 14 konferencjach oraz licznych szkoleniach i sympozjach.

Na podstawie przedstawionej dokumentacji, dorobek naukowy i aktywność naukową Kandydata oceniam bardzo wysoko.

Dotychczas Kandydat nie ubiegał się o nadanie stopnia doktora.



3. Ocena rozprawy doktorskiej

3.1. Temat rozprawy

Przedstawiony temat rozprawy doktorskiej pt.: „*Opracowanie metody filtracji gorących gazów procesowych przy wykorzystaniu filtrów świecowych*” mieści się w dyscyplinie Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki, jest aktualny i ściśle związany z problemem eliminacji zanieczyszczeń ze środowiska oraz koniecznością poszukiwania nowych metod ich udoskonalania. Zaproponowane przez Autora zastosowanie tego typu filtrów gazu może stanowić usprawnienie technologii i zwiększenie niezawodności instalacji oczyszczania. Występujące problemy technologiczne związane z filtrami gazu gorącego w procesach zgazowania wynikają głównie z niedostatecznej skuteczności regeneracji filtrów świecowych oraz warunków filtracji, wpływając niekorzystnie na charakterystykę zanieczyszczeń w odpylanych gazach. Celem podjętych badań było opracowanie nowej metody filtracji gorących gazów procesowych. Podczas ich realizacji zidentyfikowano szereg problemów naukowych, których rozwiązanie wymagało zaplanowania i wykonania określonych zadań. Głównym efektem pracy Doktoranta było zaprojektowanie, budowa i eksperymentalna weryfikacja układu filtra gazu gorącego, umożliwiającego stabilną w czasie filtrację gorących gazów procesowych, uzyskiwanych na drodze zgazowania biomasy drzewnej oraz SRF w reaktorach ze złożem stałym oraz fluidalnym.

3.2. Układ pracy

Recenzowana rozprawa liczy 209 ponumerowanych stron, zawiera streszczenie, spis treści, spis rysunków i tabel, wykaz skrótów i symboli. Zasadniczą część pracy stanowi dziesięć ponumerowanych rozdziałów, obejmujących: aktualny stan wiedzy, charakterystykę pracy filtra, cel i zakres pracy, opis założeń techniczno-technologicznych, badania eksperymentalne i ich analizę, ocenę pracy zmodyfikowanej konstrukcji filtra (charakterystyka przebiegu procesu filtracji gazu gorącego z fluidalnego zgazowania SRF), podsumowanie i wnioski końcowe. Uzyskane wyniki eksperymentalne pozwoliły Kandydatowi na opracowanie autorskiego poradnika praktyk inżynierskich, który został systematycznie udokumentowany w dziesiątym rozdziale pracy i także stanowi o jej ponadprzeciętnej wartości.

Ostatni, nieponumerowany rozdział stanowi literatura, która obejmuje 142 pozycji, z czego przeważają prace o zasięgu międzynarodowym. Praca zawiera 73 rysunki, 28 tabel, z których większość stanowi dane własne Autora.

Układ pracy jest przejrzysty.

3.3. Ocena celowości podjętej tematyki

Badania filtracji gazów gorących, w kontekście technologii zgazowania biomasy i odpadów, są istotne ze względu na rosnące zainteresowanie alternatywnymi źródłami energii oraz pozostają w związku z koniecznością minimalizacji emisji zanieczyszczeń do atmosfery. Tematyka jest aktualna, bowiem konieczność poprawy efektywności i niezawodności systemów filtracji gazu gorącego jest kluczowym elementem w procesach oczyszczania gazów w procesie zgazowania. Opracowanie nowych metod



filtracji gazów gorących, pozwoli na redukcję zanieczyszczeń do poziomów zgodnych z normami, co może mieć istotny wpływ na przemysł energetyczny oraz na środowisko naturalne.

3.4. Struktura i ocena kluczowych rozdziałów rozprawy

Rozdział 1 - Wprowadzenie prezentuje kontekst technologiczny i naukowy dotyczący procesu zgazowania oraz oczyszczania gazów procesowych. Autor zwraca w nim uwagę na lukę badawczą, w zakresie analizy właściwości gazów procesowych oraz efektywnych metod ich filtracji, ze szczególnym uwzględnieniem rzeczywistych gazów procesowych w miejsce syntetycznych mieszanek. W rozdziale tym zwrócono uwagę na konieczność badań nad nowymi metodami filtracji, które spełnią wymagania technologii zgazowania biomasy i odpadów w małej i średniej skali produkcji.

Rozdział 2 obejmuje kompleksowy przegląd literatury, aktualnego stanu wiedzy dotyczącego wytwarzania, charakterystyki oraz filtracji gorących gazów procesowych. Analiza objęła głównie tematykę procesu zgazowania, struktury reaktora, rodzaju surowca oraz parametrów procesowych, które determinują skład chemiczny i właściwości zanieczyszczeń obecnych w oczyszczanym gazie. Uwzględniono aspekty związane z funkcjonowaniem oraz technologicznymi rozwiązaniami instalacji do oczyszczania gazów procesowych, w tym separacji zanieczyszczeń stałych. Wykazano, iż kluczowe znaczenie ma przypadku temperatura filtracji, układ technologiczny instalacji zgazowania, skład filtrowanego gazu oraz charakterystyka zanieczyszczeń. Dominujący wpływ na filtrację wykazują związki mineralne i smoliste. Temperatura procesu, rodzaj reaktora oraz skład gazu surowego decydują o fizykochemicznych i reologicznych właściwościach gazu, determinując efektywność oraz stabilność procesu. Niemniej jednak, przytoczone w pracy badania opierają się na uproszczonych modelach, co ogranicza możliwość przeniesienia wyników na rzeczywiste warunki przemysłowe. Dlatego proponowane są dalsze badania eksperymentalne, które mogą dostarczyć bardziej precyzyjnych danych i umożliwić rozwój skuteczniejszych technologii filtracji.

W **rozdziale 3** dokonano analizy pracy filtra gorącego gazu procesowego, zwanego zamiennie w dysertacji wariantem bazowym. Do badań charakterystyki pracy wykorzystano pilotową instalację zgazowania paliw stałych zlokalizowaną w Centrum Czystych Technologii Węglowych, Instytutu Technologii Paliw i Energii w Zabrzu. Najważniejsze wnioski z przeprowadzonych badań dotyczące pracy wariantu bazowego filtra gorącego gazu procesowego zdaniem Autora to:

- Wykazany szereg problemów technicznych i procesowych prowadzących do nieskuteczności i awaryjności działania filtra;
- Badania na różnych konfiguracjach wkładów filtracyjnych oraz parametrach procesowych nie doprowadziły do osiągnięcia stabilnego przebiegu procesu filtracji;
- Wkłady ceramiczne charakteryzowały się wzrostem oporu filtracji, co wskazuje na trudności w ich regeneracji;
- Wkłady metalowe nie zapewniały skutecznej regeneracji, a ich warstwy filtracyjne ulegały uszkodzeniu w trakcie pracy. Wkłady F_C_01 wykazały się najbardziej obiecującymi właściwościami, sugerując ich potencjał jako filtrów o niskim koszcie, wysokiej dostępności i skuteczności;
- Optymalna prędkość filtracji gazu gorącego mieściła się w zakresie 2-3 cm/s, jednak obserwowano destabilizację procesu filtracji przy zbyt dużym obciążeniu filtrów;



- Badania nad regeneracją wkładów wskazały na konieczność dalszych prac nad optymalizacją procesu, zwłaszcza w kontekście efektywności pracy układu regeneracji;
- Temperatura pracy filtra powyżej 550°C nie przyczyniła się do stabilizacji procesu filtracji, a badania nad zatykaniem się filtrów wskazały na trudności w identyfikacji przyczyn tego zjawiska;
- Analiza placków filtracyjnych wykazała różnice w strukturze w zależności od typu wkładu, co wpłynęło na metody usuwania placka z urządzenia;
- Nieszczelność połączeń wkładów z przegrodą filtracyjną stanowiła istotny problem techniczny, wymagający eliminacji dla poprawy niezawodności działania filtra.

Przedmiotowe wnioski sugerują konieczność dalszych badań i optymalizacji procesu filtracji gazu gorącego, aby rozwiązać istniejące problemy i zwiększyć skuteczność oraz niezawodność działania filtra. W rozdziale 4 zatytułowanym „Cel i zakres pracy” zidentyfikowano przyczyny niskiej dojrzałości technologicznej urządzeń wykorzystywanych do filtracji gazów procesowych produkowanych na drodze zgazowania biomasy. Wśród nich wymieniono:

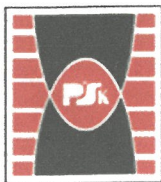
- niedostatecznie wysoką skuteczność stosowanych układów impulsowej regeneracji,
- realizację procesu filtracji w warunkach niekorzystnie wpływających na charakterystykę zanieczyszczeń zawartych w filtrowanych gazach,
- brak jednoznacznych metodyk określania optymalnych warunków pracy filtra,
- brak jasnych wytycznych dotyczących projektowania filtrów gazu gorącego – szczególnie konstrukcji wykorzystywanych do filtracji gazu procesowego produkowanego na drodze zgazowania.

Poprzez realizację tych działań, Autor dążył do znaczącego podniesienia gotowości technologicznej metody filtracji gorących gazów procesowych, szczególnie tych pochodzących z procesu zgazowania biomasy i SRF. Określone czynniki pozwoliły sformułować problem badawczy związany z eksploatacją filtrów gazu gorącego za pomocą dwóch pytań badawczych:

- 1) Czy możliwe jest udoskonalenie konstrukcji filtra gazu gorącego do takiego stopnia, aby urządzenie to gwarantowało sprawną i niezawodną pracę w warunkach gazu procesowego?
- 2) Czy w ujęciu rozwijanych w Instytucie technologii zgazowania możliwe jest, aby urządzenie takie pozwalało na stabilne odpylanie gazu produkowanego na drodze zgazowania różnych surowców oraz przy wykorzystaniu różnych konstrukcji reaktorów zgazowania?

Celem aplikacyjnym realizacji pracy było opracowanie udoskonalonej metody filtracji gorącego gazu procesowego. Metoda ta powinna umożliwiać skuteczne i niezawodne odpylanie wszystkich typów gazów procesowych, pozwalać na prowadzenie procesu filtracji w jak najszerszym zakresie temperatury (260–900°C) oraz zredukować zapylenie gazu do poziomu nieprzekraczającego 5 mg/Nm³. Filtr gazu gorącego powinien zapewnić możliwość pracy ciągłej przy obciążeniu gazem wynoszącym min. 1–2 cm/s oraz oporach filtracji nieprzekraczających 2–3 kPa. Integralnym elementem dopełniającym funkcjonalność filtra jest opracowanie metody impulsowej regeneracji świecowych wkładów filtracyjnych, co decyduje o jego długoterminowej stabilności działania. Dla przyjętego celu rozprawy zdefiniowano następujący zakres pracy, który umożliwił osiągnięcie postawionych celów o charakterze naukowym:

- Zaprojektowanie i wykonanie stanowiska badawczego do badań nad układem impulsowej regeneracji wkładów świecowych;
- Analiza i badania eksperymentalne wybranych aspektów technologicznych filtracji gazu gorącego;



- Opracowanie skutecznej metody wyznaczania optymalnej objętości zbiornika buforowego;
- Określenie temperaturowego okna pracy filtra poprzez eksperymentalną walidację metod analitycznych;
- Opracowanie metody wspomagania procesu filtracji poprzez wykorzystanie dodatków mineralnych;
- Budowa i walidacja obranych koncepcji technicznych i technologicznych zmodyfikowanej konstrukcji filtra w warunkach rzeczywistego gazu procesowego;
- Opracowanie pobocznych zagadnień technicznych i procesowych warunkujących stabilną i ciągłą pracę filtra;
- Opracowanie poradnika dobrych praktyk inżynierskich w zakresie filtracji gorącego gazu procesowego.

Dla przyjętego celu rozprawy zdefiniowano zakres pracy, który umożliwił osiągnięcie postawionych celów o charakterze naukowym.

Rozdział 5 zawiera opracowanie projektu techniczno-technologicznego oraz modelu 3D filtra gazu gorącego. Zaproponowana koncepcja miała umożliwić skuteczne odpylanie gorących gazów procesowych, co przyczyniłoby się do poprawy ich dalszego oczyszczania za pomocą metod niskotemperaturowych. Koncepcja projektowa zmodyfikowanej konstrukcji filtra gorącego gazu procesowego stanowi podstawę dla dalszych analiz i badań eksperymentalnych.

Dla każdego aspektu projektowanego filtra omówiono rozwiązania stosowane w układzie komercyjnym, ich ograniczenia oraz cechy charakterystyczne proponowanych modyfikacji. Opracowane urządzenie zawiera autorskie rozwiązania, mające na celu eliminację problemów technicznych zidentyfikowanych w trakcie badań wstępnych. Istotne modyfikacje obejmują sposób mocowania wkładów przy użyciu połączenia śrubowego oraz zmianę sposobu wprowadzania i dystrybucji gazu zapyłonego. Projekt kompletnego filtra gorącego obejmuje koncepcję budowy, pracy i sterowania układem impulsowej regeneracji wkładów świecowych oraz aspekty związane z dodatkami mineralnymi, mającymi stabilizować proces filtracji.

Rozdział 6 zatytułowany „Analiza i badania eksperymentalne wybranych aspektów technologicznych filtra gazu gorącego” dotyczy rozszerzonej analizy i badań eksperymentalnych w kluczowych obszarach decydujących o efektywności i niezawodności filtra. Z uwagi na zauważony niedostateczny poziom technologicznej dojrzałości aktualnych metod impulsowej regeneracji filtrów gazu gorącego, rozdział ten podejmuje wyzwanie opracowania sposobu poprawy skuteczności tego procesu. Wyniki badań eksperymentalnych przedstawione w tym rozdziale stanowią opis głównych celów badawczych, które były niezbędne do rozpoczęcia prac związanych z eksperymentalną weryfikacją skuteczności opracowanego filtra gorącego gazu procesowego.

Zaprojektowanie i budowa stanowiska laboratoryjnego umożliwiły ocenę stosowanych rozwiązań i wskazanie koncepcji układu cechującego się elastycznością i potencjalną skutecznością usuwania placka filtracyjnego z powierzchni wkładów w warunkach gazu gorącego.

Analiza głównych zmiennych i parametrów procesowych układu uzasadnia wybór konkretnego wariantu układu regeneracji do dalszych eksperymentów. Ponadto, opracowano nowatorską metodę określania optymalnej wielkości zbiornika buforowego, co jest kluczowe dla skuteczności działania filtra. Przeprowadzone analizy pozwoliły na określenie warunków temperaturowych, w których proces filtracji powinien przebiegać stabilnie. Przeprowadzono także wstępną charakterystykę chemiczną, termiczną



ireologiczną dodatków mineralnych, które mogą być wykorzystane w celu ograniczenia spoistości placka filtracyjnego. Otrzymane wyniki są istotnym elementem warunkującym kompletność i skuteczność opracowanej metody filtracji gorącego gazu procesowego.

Rozdział 7 poświęcony jest ocenie działania zmodyfikowanej konstrukcji filtra gorącego gazu procesowego, która została zintegrowana z istniejącą infrastrukturą badawczą ITPE. Wprowadzone modyfikacje w konstrukcji i procesie filtracji spowodowały stabilizację procesu oraz działanie urządzenia przy bardzo niskim spadku ciśnienia, poniżej 1 kPa. Testy walidacyjne przeprowadzono z użyciem jednego zestawu wkładów ceramicznych, bez potrzeby ich mechanicznej regeneracji między testami. Podczas testów uzyskano stabilny przebieg filtracji dla większości prób. Zastosowany system regeneracji pozwalał na skuteczne usuwanie nawet małych ilości placka, utrzymując bardzo niskie opory filtracji. Dodatkowe substancje wprowadzone do procesu przyczyniły się głównie do rozrzedzenia karbonizatu i zmniejszenia spoistości placka filtracyjnego, co pozwoliło na stabilne działanie urządzenia.

Rozdział 8 zawiera wyniki oraz omówienie testów filtracji gazu, wygenerowanego z reaktora o odmiennych charakterystykach procesowych i rozwiązaniach technicznych. W tym celu zintegrowano pilotowy reaktor z cyrkulującym złożem fluidalnym oraz układ oczyszczania gazów, wykorzystywany wcześniej do badań gazu z reaktora GazEla, co umożliwiło również badanie filtracji gazu pochodzącego ze zgazowania odpadów. Stabilność procesu filtracji gazu pozyskanego z reaktora CFB była wyższa, w porównaniu z gazami z reaktora ze złożem stałym, dodatkowo wytwarzane zanieczyszczenia smolistych gazów z reaktora fluidalnego miały niższą zawartość frakcji smół, co zmniejszało ryzyko zatykania porów wkładów. Opracowane rozwiązania konstrukcyjne i procesowe filtra umożliwiają stabilną filtrację gazów procesowych z różnych typów reaktorów zgazowania oraz surowców.

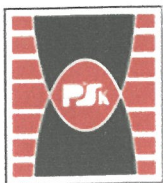
W rozdziale 9 przedstawiono opracowanie, konstrukcję i eksperymentalną weryfikację nowego filtra gazu gorącego, zapewniającego stabilną filtrację gazów procesowych. Badania uwzględniły identyfikację luk badawczych oraz analizę wpływu czynników destabilizujących proces filtracji. Ich efektem było opracowanie zmodyfikowanej konstrukcji filtra oraz zaprojektowanie i budowa dedykowanego stanowiska testowego do badań regeneracji impulsowej. Testy wykazały, że proces filtracji gazów z reaktora CFB przebiegał korzystniej niż z reaktora ze złożem stałym, a wprowadzenie dodatków mineralnych nie zawsze było konieczne. Opracowane metody analityczne pozwoliły na określenie optymalnych warunków temperaturowych procesu filtracji. Rozwiązanie to może znaleźć zastosowanie nie tylko w odpylaniu gorących gazów, ale także w reaktorach rozpyłowych, co czyni je perspektywnym narzędziem w praktyce przemysłowej.

Cele i tezy postawione w pracy uważam za prawidłowe i w sposób wyczerpujący zrealizowane przez Kandydata.

Metodyka przeprowadzonych i opisanych badań/ procedur badawczych jest wystarczająca i właściwa. Podjęty temat jest aktualny i omawiany w literaturze, jednak podejście Doktoranta do tematu jest **oryginalne i nowatorskie**, stanowi istotny wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki w zakresie procesu oczyszczania gazów.

W trakcie czytania rozprawy nasuwają się drobne uwagi, przedstawione poniżej, w mojej opinii najistotniejsze:

- Brak jednostek przy stosowaniu symboli w pracy doktorskiej stanowi pewną niedoskonałość, szczególnie w kontekście jej potencjalnego zastosowania praktycznego. Odbiorcy, którzy zainteresowani



są wykorzystaniem wyników tej pracy w praktyce, mogą mieć trudność z poprawnym zrozumieniem informacji, co może ograniczyć jej wartość aplikacyjną;

- Brak odniesień do źródeł w przypadku niektórych rysunków stanowi istotną lukę w pracy, która utrudnia identyfikację, które z tych rysunków zostały opracowane przez Autora. Właściwe cytowanie powinno obejmować opracowanie rysunków i tabel na podstawie literatury, podając dokładnie ich źródło. W niektórych przypadkach w pracy zauważono tekst lub opisy rysunków, które zostały wstawione bez odniesienia do odpowiednich źródeł (np. Rys. 2.1, 2.2, 2.4, 2.11, 2.21, 3.1 itp.), co nie powinno mieć miejsca zgodnie z obowiązującymi standardami naukowymi.
- Zalecana liczba pojedyncza do parametrów fizykochemicznych jak: temperatura, ciśnienie, ilość smół, większość biomas itp.;
- Edycja tabel wymaga poprawy czytelności, aby jasno określić, gdzie występuje wypunktowanie, a gdzie jest dzielenie wyrazu, np. w formacie: "Tabela 2-1";

Powyższych uwag nie należy odczytywać jako zarzutów, gdyż należy podkreślić, iż temat jest aktualny, przeprowadzone przez Autora badania bardzo ciekawe i istotne zarówno w aspekcie naukowym jak i ich potencjalnego zastosowania. Poniżej komentarze i uwagi, o których wyjaśnienie poproszę podczas publicznej obrony:

1. Jakie cechy charakterystyczne posiada zaprojektowany filtr gazu gorącego?
2. Jaka jest jednostka naprężenia, Rys. 2.24?
3. Proszę o wyjaśnienie jak Autor rozumie pojęcie „filtracja bliska prawidłowej”, termin używany w pracy, między innymi na rysunku 3.16?
4. Czy i jak Autor ocenia ekonomię proponowanych rozwiązań?
5. Jak rozumieć pył z wysoką zawartością sadzy? Rys. 5.2?
6. Proszę o wyjaśnienie czy zasadne jest zamienne stosowanie pojęć: współczynnik oporów przepływu czy oporu przepływu?
7. W jaki sposób przeprowadzono weryfikację autorskiego układu filtra gazu gorącego?
8. Jakie perspektywy rozwoju tej technologii można przewidzieć w kontekście przyszłych zastosowań gospodarczych?

Rozprawa została napisana starannie i wykazuje głęboką znajomość tematu. Autor wykazał się dużą kompetencją w doborze materiałów oraz planowaniu i przeprowadzeniu eksperymentów, co zaowocowało publikacją obszernych wyników w renomowanych czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym. Zaangażowanie i profesjonalizm podczas realizacji pracy sprawiają, że pretendują kandydata do kontynuacji dalszej kariery zawodowej i naukowej samodzielnie, skutecznie i z satysfakcją. Cel, jaki sobie postawił, został osiągnięty, co dowodzi jego bogatej wiedzy i determinacji w pracy naukowej. Mimo drobnych uwag, głównie edytorskich, dysertacja zasługuje na wysoką ocenę.

4. Wniosek końcowy

Pan mgr inż. Mateusz Szul wykazał się znaczącymi kompetencjami w zakresie swojej dysertacji, demonstrując dogłębną znajomość aktualnych osiągnięć naukowych oraz umiejętność efektywnego planowania i przeprowadzania badań. Jego zdolność do wykorzystania różnorodnych metod badawczych,



analizy wyników oraz wyciągania wniosków z badań jest godna uznania. Rozprawa doktorska prezentuje pana mgr. inż. Mateusza Szula jako eksperta w dziedzinie Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki, zdolnego do samodzielnego prowadzenia zaawansowanych prac naukowych.

Recenzja podkreśla, że temat rozprawy jest aktualny, a badania przeprowadzone przez Autora są zarówno interesujące, jak i istotne zarówno z punktu widzenia naukowego, jak i ich potencjalnego praktycznego zastosowania. Oryginalne podejście do problemu naukowego, zaprezentowane w pracy doktorskiej, wnosi istotny wkład w rozwój wiedzy w obszarze Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki.

Ostateczna ocena pracy jest bardzo wysoka, spełniając wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy. Na tej podstawie wnioskuję o dopuszczenie Pana mgr. inż. Mateusza Szula do publicznej obrony rozprawy. Ponadto, uwzględniając wyjątkową wartość merytoryczną oraz aspekt aplikacyjny i wysoki potencjał wdrożeniowy wyników pracy, zwracam się do Wysokiej Rady Naukowej Głównego Instytutu Górnictwa z wnioskiem o **wyróżnienie rozprawy**.

Krzysztof Kwiecień