



AKADEMIA GÓRNICZO–HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej

Katedra Techniki Ciepłej i Ochrony Środowiska

Dr hab. Aneta Magdziarz, prof. AGH

Kraków, 6 maja 2024 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Pana mgr inż. Matusza Szula

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

wykonanej w Instytucie Technologii Paliw i Energii w Zabrze

Promotor: prof. dr hab. inż. Jarosław Zuwała

Promotor pomocniczy: dr inż. Tomasz Iluk

1. Podstawa opracowania

Niniejsza recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Matusza Szula została opracowana na podstawie pisma dr inż. Jana Bondaruka, p.o. Dyrektora Głównego Instytutu Górnicztwa – Państwowego Instytutu Górniczego z dn. 27.03.2024 roku.

2. Wprowadzenie

Aktualna strategia Unii Europejskiej (UE) dotycząca zagospodarowania odpadów skupia się przede wszystkim na promowaniu gospodarki o obiegu zamkniętym, redukcji ilości generowanych odpadów, zwiększeniu recyklingu oraz ograniczeniu składowania odpadów. Najważniejsze regulacje prawne obowiązujące w UE dotyczące zagospodarowania odpadów oraz ochrony środowiska to: i) dyrektywa w sprawie odpadów (2018/851/EU), która nakłada na państwa członkowskie obowiązek osiągnięcia poziomu recyklingu odpadów komunalnych na poziomie co najmniej 55% do 2025 roku, 60% do 2030 roku i 65% do 2035 roku; ii) dyrektywa w sprawie jednorazowych plastikowych produktów (2019/904/EU), która ma na celu ograniczenie wpływu plastiku na środowisko, w tym poprzez zakaz stosowania jednorazowych plastikowych produktów oraz wprowadzenie innych środków mających na celu ograniczenie zużycia plastiku i zwiększenie jego recyklingu; oraz iii) dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/2413 zmieniająca dyrektywę (UE) 2018/2001, rozporządzenie (UE) 2018/1999 i dyrektywę 98/70/WE w odniesieniu do promowania energii ze źródeł odnawialnych. Przedstawione regulacje są tylko częścią szeregu działań podejmowanych przez Unię Europejską w celu promowania

zrównoważonego gospodarowania odpadami i ochrony środowiska, a tym samym rozwoju technologii np. termochemicznego przetwarzania różnego rodzaju odpadów biomasowych i paliw alternatywnych produkowanych z odpadów. Do najczęściej stosowanych metod termochemicznego zagospodarowania odpadów należą: piroliza, zgazowanie, spalanie i współspalanie, hydrotermiczne uwęglanie i upłynnianie. Głównym celem procesu zgazowania odpadów i paliw alternatywnych jest otrzymanie gazu syntezowego. Jednak generowany gaz zawiera znaczne ilości zanieczyszczeń, takich jak pyły, cząstki stałe, lotne związki organiczne (VOCs) oraz tlenki azotu i siarki. Usunięcie tych zanieczyszczeń jest niezbędne w celu uzyskania wysokoenergetycznego gazu syntezowego, ochrony środowiska i zapewnienia sprawnego działania instalacji zgazowania. W tym kontekście, opracowanie skutecznej metody filtracji gorących gazów procesowych staje się kluczowym wyzwaniem inżynierskim. Jedną z obiecujących technologii filtracji stosowanych w procesie zgazowania jest filtracja gazu za pomocą filtrów świecowych, które charakteryzują się wysoką wydajnością usuwania zanieczyszczeń, zdolnością do pracy w wysokich temperaturach oraz możliwością regeneracji. Ich zastosowanie wpływa na poprawę jakości gazów procesowych, zmniejszenie emisji zanieczyszczeń do atmosfery oraz zwiększenie efektywności energetycznej procesu zgazowania.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska dotyczy ww. problemu naukowego. Doktorant, mgr inż. Mateusz Szul podjął wyzwanie opracowania metody filtracji gorącego gazu procesowego podczas zgazowania z wykorzystaniem filtrów świecowych. Zaprojektował, zbudował i przeprowadził eksperymentalną walidację nowego układu filtra gazu gorącego. Określił charakterystykę badanego filtra (m.in. sprawność i prędkość filtracji), a badania główne poprzedził wnikliwym studium literatury i badaniem wstępnymi.

Biorąc pod uwagę przedstawione powyżej rozważania, stwierdzam, że zainteresowania naukowe Doktoranta ww. problematyką są w pełni uzasadnione i świadczą o znajomości aktualnych problemów i wyzwań w obszarze gospodarki odpadami. Moim zdaniem, rozprawa doktorską mgr inż. Matusza Szula pt. „Opracowanie metody filtracji gorących gazów procesowych przy wykorzystaniu filtrów świecowych” jest ważna pod względem poznawczym i użytecznym, a tematykę uważam za aktualną i zgodną ze współczesnymi trendami naukowymi.

3. Zakres rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska mgr inż. Matusza Szula została zrealizowana w Centrum Czystych Technologii Węglowych, Instytutu Paliw i Energii w Zabrze w ramach prac badawczo-rozwojowych w zakresie opracowania technologii zgazowania różnego rodzaju biomasy oraz paliw typu SRF. Badania prowadzono na istniejącej pilotażowej instalacji zgazowania ze złożem stałym (nazwa „GazEla”) i z cyrkulacyjnym złożem fluidalnym, a główny zakres prac badawczych Doktoranta dotyczył aspektu filtracji gazów procesowych produkowanych w procesie zgazowania.

Rozprawa doktorska Pana Matusza Szula liczy 209 stron i jest obszernym materiałem składającym się z 10 głównych rozdziałów obejmujących: część literaturową (wprowadzenie, opis stanu badań i charakterystykę bazowego filtra gorącego gazu procesowego), cel i zakres pracy oraz część badawczą obejmującą założenia techniczno-technologiczne zaproponowanego filtra gorącego gazu procesowego, wyniki i analizę badań eksperymentalnych, podsumowanie i wnioski końcowe a także listę dobrych praktyk inżynierskich dla projektowania badanych filtrów

służących do oczyszczania gazów uzyskanych w procesie zgazowania. Główne rozdziały poprzedzone są streszczeniem pracy, spisem treści, spisem rysunków i tabel oraz wykazem skrótów i symboli. Rozprawę kończy spis literatury obejmujący 142 pozycje (w tym 3 pozycje, w których Doktorant jest współautorem).

Pracę rozpoczyna streszczenie, a następnie wprowadzenie, w którym Doktorant uzasadnia słuszność podejmowania badań w zakresie filtracji gorących gazów procesowych.

W Rozdziale 2 Doktorant dokonuje przeglądu stanu wiedzy w zakresie wytwarzania, charakterystyki oraz filtracji gorących gazów procesowych. Przegląd literaturowy rozpoczyna od podstawowej charakterystyki procesu zgazowania, omawiając trzy główne typy reaktorów zgazowania tj. reaktory ze złożem stałym, fluidalny i strumieniowe oraz parametry procesu zgazowania, które wpływają na wydajność i jakość poszczególnych produktów procesu pirolizy. Zamieszczone schematy i podsumowanie w postaci Tabeli 2-1 dają podstawową wiedzę i ułatwiają zrozumienie procesu zgazowania. Następnie Doktorant opisuje właściwości fizykochemiczne biomasy i paliw alternatywnych wyprodukowanych z odpadów oraz omawia zanieczyszczenia zawarte w produkowanym gazie procesowym oraz ich wpływ na jakość gazu. Najobszerniejszą część rozdziału 2 stanowi opis układów do oczyszczania gazu oraz studium metod separacji zanieczyszczeń stałych z gazów procesowych. Omówione układy do oczyszczania gazów to oczyszczanie gazu przed jego spalaniem w komorze spalania, średnioskalowy układ oczyszczania gazu dla kogeneracji w silniku tłokowym oraz dla potrzeb chemicznego recyklingu i wielkoskalowe oczyszczanie gazu w układach IGCC. Materiał zawarty w podrozdziale 2.3 jest bardzo obszerny i moim zdaniem, ta część mogłaby być bardziej zwięzła, wystarczyłoby przedstawić najważniejsze aspekty omawianego problemu. W aktualnej wersji należy się doszukiwać informacji, które są istotne dla omawianego zagadnienia. Ten fragment rozprawy Doktorant poświęca metodom separacji zanieczyszczeń stałych z gazów procesowych. Szczegółowo opisuje mechanizmy filtracji, w tym konstrukcję oraz zasadę działania filtrów gazu gorącego, parametry, które wpływają na jego działanie, rodzaje materiałów filtracyjnych oraz metody regeneracji filtrów. Następnie, analizuje zakresy temperatur pracy filtra oraz pomiar ciśnienia, który jest wykorzystywany do obserwacji i kontroli pracy filtra.

Zakończenie przeglądu stanu wiedzy Doktorant kończy podsumowaniem i wnioskami wskazując, że na podstawie przeprowadzonego studium przedmiotu istnieje luka badawcza dotycząca badań eksperymentalnych przeprowadzonych przy wykorzystaniu filtrów gazu gorącego, które mogłyby być zastosowane w skali przemysłowej oraz prac, które przedstawiają wyniki badań z wykorzystaniem rzeczywistych gazów procesowych, gdzie filtr stanowiłby element układu oczyszczania gazu procesowego produkowanego w zgazowarce pracującej w ruchu ciągłym. Dodatkowo Doktorant podkreśla złożoność omawianego procesu i jego szeroki zakres, tzn. ilość parametrów, które wpływają na proces filtracji, a wcześniej na opracowanie i wykonanie filtra gorącego gazu procesowego.

Rozdział 3 poświęcony jest serii testów eksperymentalnych przeprowadzonych w warunkach rzeczywistych przy wykorzystaniu instalacji zgazowania paliw stałych zlokalizowanej w Centrum Czystych Technologii Węglowych, Instytutu Technologii Paliw i Energii w Zabrze, pozwalającej na pracę w układzie ciągłym. Do badań zgazowania Doktorant wybrał jako surowiec zrębki drewna olchowego oraz poddał testom cztery materiały filtracyjne. Przeprowadzenie serii testów pozwoliło Doktorantowi na sformułowanie wniosku, że brak odpowiednich uszczelnień w stosowanych filtrach wpływa

na spadek ich sprawności oraz zaburzenia w ciśnieniu pracy instalacji. W celu uzyskania wydajnej metody odpylania gazów niezbędne jest wyeliminowanie tych zjawisk.

W rozdziale 4 Doktorant omówił cel i zakres pracy. Najpierw sformułował problem badawczy za pomocą dwóch pytań badawczych, które moim zdaniem mogłyby być jasno postawionymi тезami pracy (których w pracy nie ma). Jako główny cel pracy Doktorant wskazał opracowanie udoskonalonej metody filtracji gorącego gazu procesowego podając jej parametry tj. zakres temperaturowy, poziom zapylenia oraz obciążenie i opory filtracji. Zrealizowanie takiego celu pozwoliłoby na osiągnięcie dla tej technologii gotowości technologicznej TRL VI. Następnie omówił zakres pracy, który obejmuje aż siedem zagadnień, najważniejsze to zaprojektowanie zmodyfikowanej konstrukcji filtra gazu gorącego, zaprojektowanie i wykonanie stanowiska badawczego, określenie warunków pracy filtra i opracowanie poradnika dla inżynierów w zakresie filtracji gorącego gazu procesowego.

Rozdział 5 stanowi opis głównych założeń techniczno-technologicznych zmodyfikowanego filtra gorącego gazu procesowego. Jest to najważniejsza część pracy, w której Doktorant przedstawia koncepcję zmodyfikowanego filtra. W projekcie wprowadził zmiany dotyczące metody mocowania wkładów filtracyjnych, dystrybucji gazu w filtrze, konstrukcji i uszczelnienia pokrywy filtra oraz metody odbioru placka filtracyjnego.

Rozdziały 6 do 8 to najobszerniejsza część pracy, w której Doktorant przedstawia i analizuje wyniki swoich badań eksperymentalnych. Omówienie wyników rozpoczyna od wyjaśnienia rozwiązań technicznych układu impulsowej regeneracji o wyższej sprawności. Analizie poddał takie czynniki jak rozmiar dyszy, jej pozycja, czas otwarcia zaworu impulsowego, ciśnienie w zbiorniku gazu regeneracyjnego, zastosowanie kryzy i miejsce pomiaru wewnątrz wkładu. Na podstawie przeprowadzonej serii badań Doktorant stwierdził, że dysza dla układu regeneracji powierzchni filtracyjnej dla filtrów świecowych powinna mieć średnicę zewn. $\varnothing 26,9$ mm, a kryza średnicę otworu $\varnothing 30$ mm. W dalszej części Doktorant z wykorzystaniem analizy termicznej TGA/DSC oraz dylatometrycznej określił, że optymalny zakres pracy filtra gazu gorącego zintegrowanego z reaktorem zgazowania GazEla to 400 – 500 °C. Następnie przedstawił wyniki badań dotyczące wykorzystania dodatków mineralnych tj. kreda, dolomit, halozyt i kaolin. Zasadnicze badania procesu filtracji gazu procesowego Doktorant wykonał dla dwóch surowców tj. a) biomasy drzewnej w reaktorze ze złożem stałym i b) paliwa alternatywnego SRF w reaktorze z cyrkulującym złożem fluidalnym. W przypadku zgazowania biomasy Doktorant zastosował rozwiązanie z dodatkiem substancji mineralnych, natomiast filtracja gazu z układu fluidalnego zgazowania SRF była możliwa bez takiego dodatku.

W rozdziale 9 Doktorant przedstawił podsumowanie i wnioski końcowe, z których wynika, że osiągnął wszystkie zakładane cele naukowe i użytkarckie, co doprowadziło do rozwiązania problemu badawczego.

Rozprawę doktorską kończy rozdział 10 zawierający listę dobrych praktyk inżynierskich dla projektowania i wykorzystania filtrów gazu gorącego do oczyszczania gazów uzyskiwanych na drodze zgazowania paliw stałych. Przedstawione opracowanie z pewnością będzie pomocne dla inżynierów i naukowców zajmujących się procesem zgazowania. Nie często spotyka się z rozprawami doktorskimi takie informacje, tym bardziej uważam, że za bardzo wartościowe i świadczące o dojrzałości naukowej i doświadczeniu inżynierskim Pana mgr inż. Mateusza Szulca.

Oceniając stronę edytorską rozprawy doktorskiej, stwierdzam, że jest ona poprawnie zredagowana. Tekst jest zrozumiały i pozbawiony poważnych błędów gramatycznych czy edytorskich. Układ rozprawy jest przejrzysty i logiczny, rozdziały główne kończą się

podsumowaniem, co ułatwia czytelnikowi zrozumienie przedstawionych zagadnień. Tabele, rysunki i wykresy podnoszą jakość pracy.

4. Ocena rozprawy

Rozprawę doktorską Pana mgr inż. Mateusza Szula oceniam bardzo dobrze. Wybór tematu, zakres oraz celowość jego podjęcia wynikają z aktualnego stanu wiedzy, a przede wszystkim z aktualnego zapotrzebowania na rozwój technologii przetwarzania różnego rodzaju odpadów. Oczyszczanie gorącego gazu procesowanego podczas zgazowania jest zagadnieniem oryginalnym, interesującym i posiadającym duży potencjał o charakterze aplikacyjnym. Zaplanowane i wykonane przez Doktoranta szerokie spektrum badań eksperymentalnych dowodzi, że posiada wiedzę i umiejętności prowadzenia badań, analizy zagadnień procesu gazowania oraz problemów, które mogą się pojawić podczas tego procesu, szczególnie z wyjaśnieniem procesu filtracji gorących gazów procesowych.

Za główne osiągnięcia Doktoranta uważam:

1. Podjęcie próby rozwiązania problemu oczyszczania gorącego gazu procesowego podczas zgazowania oraz zidentyfikowanie szeregu problemów naukowych, które prowadziły do opracowania metody filtracji gorących gazów procesowych.
2. Wykonanie wielokryterialnej analizy badanego procesu uwzględniającej: i) wpływ rozwiązań konstrukcyjnych, ii) wpływ wprowadzania do układu dodatków mineralnych, iii) zastosowanie technik instrumentalnych do badania poszczególnych produktów, iv) wpływ surowca (biomasa i paliwo alternatywne SRF) oraz konstrukcji reaktora zgazowania (ze złożem stałym i fluidalnym).
3. Zaprojektowanie i wykonanie stanowiska badawczego do analizy gorących gazów procesowych, które umożliwi charakterystykę wkładów filtracyjnych i układów regeneracji. Na szczególną uwagę zasługuję wprowadzenie rozwiązań technicznych, które ułatwiają obsługę filtra np. odbiór placka, wygrzewanie filtra, dozowania dodatków.
4. Udowodnienie, że proces filtracji gorących gazów procesowych podczas zgazowania jest istotnym elementem tej technologii. Wprowadzenie nowych rozwiązań w metodzie filtracji gorących gazów procesowych wpływa na zwiększenie wydajności procesu zgazowania, a otrzymany gaz syntezowy może stanowić czysty nośnik energii lub być substratem w wielkiej syntezie chemicznej.
5. Posiadanie umiejętności wszechstronnego podejścia do wszystkich aspektów procesu zgazowania biomasy i paliw odpadowych, zarówno technicznych, inżynierskich jak i naukowych.

Moja ocena tej pracy jest bardzo pozytywna. Mam jednak pytania i uwagi krytyczne, które moim zdaniem będą punktem wyjścia do dyskusji podczas publicznej obrony niniejszej rozprawy doktorskiej.

Pytania i uwagi krytyczne:

- Tab. 2-1: Co oznacza ilość smół i ilość pyłów? Jak są zdefiniowane?
- Rozdział 2.1.3: Czy różni się struktura przestrzenna od struktury chemicznej? Doktorant zastosował skrót myślowy/uproszczenie. Ponadto, hemiceluloza, celuloza i lignina to włókna budujące strukturę biomasy lignocelulozowej. Jaki jest wpływ ich zawartości na wydajność poszczególnych produktów zgazowania, szczególnie w odpadach biomasowych?

- Rozdział 2.1.3: Doktorant stwierdza, że w przypadku SRF i RDF łatwiej jest opisać proces ich konwersji, a szczególnie ilość powstających odpadów i zanieczyszczeń gazowych. Czy rzeczywiście tak jest? Proszę o analizę tego zagadnienia.
- Rozdział 2.1.4: Autor omawia „*Właściwości fizykochemiczne surowca a zanieczyszczenia zawarte w produkowanym gazie procesowym*”. Stwierdzam, że ten bardzo istotny punkt Doktorant potraktował dosyć pobieżnie. Proszę o wyjaśnienie, czy i jak zawartość wilgoci, części lotnych i popiołu wpływają na proces zgazowania, a tym samym na generowanie zanieczyszczeń? Jaki wpływ ma skład chemiczny popiołu stosowanego surowca na zgazowanie? Co z pierwiastkami, które mogą mieć charakter katalityczny?
- Proszę o wyjaśnienie/podanie charakterystyki fizykochemicznej pozostałości stałej (tzw. karbonizatu) po procesie zgazowania. Czy jest to tylko odpad czy ma potencjał, jeżeli tak to jaki?
- Jak wpływa obecność chloru znajdująca się w surowcu na proces zgazowania, a następnie na proces filtracji?
- Rozdział 2.1.5: Doktorant omawia wpływ parametrów procesu zgazowania na zawartość zanieczyszczeń w produkowanym gazie procesowym. Wpływ temperatury omówiony jest dosyć ogólnie. Czy jest możliwe podanie zakresów temperatury procesu zgazowania np. biomasy lignocelulozowej lub paliwa z odpadów typu SRF? Ponadto, Doktorant nic nie pisze o wpływie atmosfery procesu zagazowania. Czy nie ma ona wpływu na jakość i ilość produktów procesu?
- Str. 91: *Oznaczenie składu gazu*, Doktorant pisze, że wykonał analizę składu gazu procesowego, jednak nie ma tego w pracy.
- Rys. 3.10-3.16: Na wykresach w legendzie Doktorant podaje oznaczenie: „*filtracja bliska prawidłowej*”. Co Doktorant rozumie przez takie określenie?
- Str. 103: Analizując stężenia zanieczyszczeń w gazie, Doktorat stwierdza, że „*Brak obserwacji wzrostu stężenia związków o prostszej budowie (np. C1-C5, BTX, czy tlenowych związków alifatycznych) może stanowić podstawę do wykluczenia rozkładu katalitycznego, jako przyczyny obserwowanego zjawiska*”. Na jakiej podstawie?
- Rozdział 6.5. *Wspomaganie procesu filtracji poprzez wykorzystaniem dodatków mineralnych*. W tej części Doktorant wykonał badania trwałości termicznej minerałów z wykorzystaniem analizy termicznej TGA w atmosferze inertej i „przykładowego” gazu syntezowego. Jak można wyjaśnić, że badane minerały były bardziej stabilne w atmosferze gazu syntezowego?
- W Tab. 7-3 przedstawiono skład gazu przy zastosowaniu filtra z dodatkiem odpowiedniego minerału. Żeby stwierdzić, jakie jest ich działanie Doktorat powinien przedstawić wyniki dla tzw. próbki „zerowej” (odniesienia).
- Czy rzeczywiście dodatek minerałów istotnie poprawia pracę filtra? Co z zagospodarowaniem karbonizatu, który jest wymieszany z minerałem?
- Analizując część dotyczącą procesu zgazowania biomasy i SRF w pracy brakuje mi usystematyzowania prezentacji danych i zastosowanych metod instrumentalnych (tzw. metodyki pomiaru). Wyniki i analiza procesu zgazowania powinny zawierać dla każdego z obu przypadków najpierw zestawienie najważniejszych danych tj. analizę fizykochemiczną surowca, parametry procesu zgazowania, wydajność procesu (tego w pracy nie ma), analizę składu chemicznego gazu bez filtra, a następnie wyniki dotyczące analizowanych przypadków. Większość tych danych jest zawarta w pracy, jednak nie są usystematyzowane i trudno jest odnaleźć w tak obszernej pracy najważniejsze informacje.

Podsumowując tę część recenzji, pragnę podkreślić, że powyższe uwagi i komentarze mają charakter konstruktywnej dyskusji. Ich celem nie jest podważanie wartości naukowej rozpatrywanej pracy, ale wskazanie możliwości dalszego rozwoju i doskonalenia się Doktoranta. Mam nadzieję, że zostaną one uwzględnione i wykorzystane w jego dalszej pracy naukowej.

5. Podsumowanie

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr inż. Matusza Szula stanowi oryginalne rozwiązanie istotnego problemu naukowego dotyczącego metod filtracji gorących gazów procesowych otrzymywanych podczas zgazowania biomasy i paliw alternatywnych wytwarzanych z odpadów. Stwierdzam, że Doktorant w pełni zrealizował postawione cele poprzez zaplanowanie i wykonanie szerokiego spektrum badań eksperymentalnych, analizę wyników oraz sformułowanie wniosków końcowych. Na podkreślenie zasługuje przedstawione opracowanie zasad projektowania i konstrukcji filtrów gazu gorącego do oczyszczania gazów z procesu zgazowania, które będą cennym źródłem informacji dla inżynierów i naukowców pracujących nad rozwojem technologii zgazowania różnych materiałów odpadowych. Uważam, że mgr inż. Mateusz Szul posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie naukowej *Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka*, co jednoznacznie wynika z przedstawionej rozprawy.

W pełni przekonana uważam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Matusza Szula pt.: „Opracowanie metody filtracji gorących gazów procesowych przy wykorzystaniu filtrów świecowych” spełnia warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim określonym w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. Poz. 1668, Rozdział 2: Stopień doktora, Nadawanie stopnia doktora). **Wobec powyższego stawiam wniosek do Rady Naukowej Głównego Instytutu Górnictwa – Państwowego Instytutu Badawczego o dopuszczenie mgr inż. Matusza Szula do kolejnych etapów przewodu doktorskiego o nadanie stopnia naukowego doktora nauk technicznych.**

Biorąc pod uwagę szeroki zakres badań, wnikliwą analizę otrzymanych wyników własnych badań naukowych, a w konsekwencji zaproponowanie oryginalnego rozwiązania, które może mieć zastosowanie w sferze gospodarczej, **wnioskuję o wyróżnienie niższej rozprawy doktorskiej.**