

Częstochowa, 27.08.2021

Prof. dr hab. inż. Izabela Majchrzak-Kuceba

Wydział Infrastruktury i Środowiska

Politechnika Częstochowska

ul. Dąbrowskiego 73

42-200 Częstochowa

e-mail: izabela.majchrzak-kuceba@pcz.pl

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Adama Tatarczuka

pt.: „Wpływ integracji termicznej na energochłonność procesu usuwania CO₂ ze spalin kotłowych”

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawą formalną opracowania niniejszej recenzji jest pismo KPD.0002.1.2015 Przewodniczącej Komisji ds. Przewodów Doktorskich Instytutu Inżynierii Chemicznej Polskiej Akademii Nauk prof. dr hab. inż. Julity Mrowiec-Białoń z dnia 9 lipca 2021 roku.

2. Przedmiot i zawartość rozprawy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Adama Tatarczuka pt.: „Wpływ integracji termicznej na energochłonność procesu usuwania CO₂ ze spalin kotłowych”. Promotorem pracy jest dr hab. inż. Marek Tańczyk, a promotorem pomocniczym dr inż. Lucyna Więclaw-Solny.

Rozprawa ma charakter eksperymentalno-modelowy i liczy wraz z bibliografią 196 stron. Praca składa się z 9 rozdziałów uwzględniając wprowadzenie oraz podsumowanie i wnioski. Dodatkowo rozprawa zawiera 4 załączniki: schemat ogólny procesu wychwytu CO₂ w instalacji pilotowej, szczegółowe równania bilansu masowego, karty danych testów pilotowych oraz tabele danych testów modelowych. Rozprawa doktorska zawiera 115 rysunków, 24 tabele oraz 201 pozycji bibliograficznych. Podkreślić należy bardzo staranną oprawę graficzną rozprawy, którą stanowią liczne rysunki i wykresy. Struktura rozprawy doktorskiej jest logiczna i stanowi spójną całość. Rozdział 1 rozprawy doktorskiej *Wprowadzenie* pełni funkcję wstępu do tematyki podjętej w pracy.

W rozdziale 2 *Cel i zakres pracy*, Doktorant przedstawił główny cel pracy czyli dokonanie wszechstronnej oceny wpływu integracji termicznej desorbera na proces usuwania CO₂ ze spalin kotłowych przy pomocy roztworów amin pod kątem możliwości poprawy efektywności energetycznej.

Rozdział 3 *Przegląd stanu wiedzy i praktyki w zakresie procesów usuwania CO₂ z zastosowaniem roztworów amin* zawiera charakterystykę procesu aminowego usuwania CO₂ wraz z analizą stosowanych w procesie amin. W rozdziale tym scharakteryzowany został także mechanizm absorpcji chemicznej CO₂ w roztworach amin oraz proces regeneracji roztworów amin. Rozdział obejmuje także przegląd konfiguracji procesowych układu absorpcji i układu desorpcji, szczegółowy przegląd instalacji do aminowego usuwania CO₂ oraz przybliży zagadnienie chemicznej sekwestracji CO₂.

W rozdziale 4 *Stanowisko badawcze* Doktorant opisał działanie instalacji pilotowej będącej podstawowym narzędziem badawczym wykorzystanym do uzyskania wyników eksperymentalnych prezentowanych i analizowanych w rozprawie, skupiając się na tych elementach instalacji, które miały istotne znaczenie dla analizy integracji termicznej procesu. Rozdział zawiera także opis działania instalacji w różnych konfiguracjach, szczegółowy opis desorbera z integracją termiczną oraz kluczowych urządzeń instalacji do realizacji procesu wychwytu.

Rozdział 5 zawiera opis *Metodyki badań* z uwzględnieniem szczegółowego przebiegu testów pilotowych procesu wychwytu CO₂ ze spalin bloku węglowego prowadzonych w ramach kampanii badawczych opisanych w rozprawie. Rozdział zawiera także opis metodyki pomiarów analitycznych stosowanych w badaniach oraz metody analizy stosowanych w badaniach roztworów absorpcyjnych. Scharakteryzowane zostały także wskaźniki procesu wychwytu CO₂ uwzględniane w pracy tj. sprawność usuwania oraz zużycie ciepła do regeneracji. Przedstawiono także podstawy sporządzania bilansu masowego, wyznaczania ciepła regeneracji roztworu i symulacji procesu wychwytu CO₂.

Rozdział 6 pracy *Badania pilotowe* zawiera wyniki eksperymentalnych badań własnych Doktoranta odnośnie wpływu integracji termicznej na proces wychwytu CO₂ ze spalin z bloku węglowego. Badania przeprowadzono na instalacji pilotowej dla kilku konfiguracji procesu i dwóch roztworów absorpcyjnych. Szczegółowe wyniki pomiarów oraz parametry wyznaczone na drodze bilansu masowego i cieplnego dla przeprowadzonych testów Doktorant zebrał w postaci tabel zamieszczonych w jednym z załączników pracy. W związku z tym, iż badania eksperymentalne prowadzono w obiekcie przemysłowym Doktorant ocenił wpływ kluczowych zmiennych na proces wychwytu CO₂ m.in. wpływ stężenia CO₂ w spalinach. Rozdział ten zawiera także wyniki badań wpływu analizowanego rozwiązania -integracji termicznej- na proces wychwytu CO₂ przy zastosowaniu dwóch typów roztworów absorpcyjnych. Rozdział zawiera podsumowanie badań pilotowych.

W kolejnym 7 rozdziale pracy *Badania symulacyjne* Doktorant poddał weryfikacji wpływ integracji termicznej na proces wychwytu CO₂ przy użyciu programu do symulacji procesowych ProTreat. Doktorant opracował w tym celu model procesu przeznaczony do badania wpływu integracji termicznej na efektywność desorpcji CO₂ z nasyconego roztworu aminowego. Doktorant szczegółową analizę modelowanego procesu prowadził w oparciu o wyznaczone w obliczeniach profile temperatury i masy składników fazy gazowej wzdłuż wysokości wypełnienia. Doktorant przedstawił w rozdziale zakres przeprowadzonych testów symulacyjnych oraz wskazał odpowiadające im testy pilotowe, z których zaczerpnął dane eksperymentalne. W rozdziale przedstawione zostały założenia przyjęte do modelowania oraz wyniki symulacji procesu w różnych konfiguracjach przy zastosowaniu dwóch różnych roztworów amin. Rozdział zawiera podsumowanie badań symulacyjnych.

Rozdział 8 *Analiza kosztowa wprowadzenia integracji termicznej* zawiera założenia do analizy kosztowej, metodologię szacowania nakładów inwestycyjnych i wyniki analizy wpływu wprowadzenia integracji termicznej desorbera na koszty eksploatacyjne i nakłady inwestycyjne.

Ostatni 9 rozdział pracy stanowi jej *Podsumowanie i wnioski* uwzględniające najistotniejsze wnioski z wykonanych badań, analiz, pomiarów oraz obliczeń.

Całościowa strona edytorska pracy jest na odpowiednim i bardzo wysokim poziomie.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

3.1 Ocena doboru tematu i postawionego celu

Redukcja emisji CO₂ i innych gazów cieplarnianych przyczyniających się do globalnego ocieplenia jest wyzwaniem dla całego świata. Jest to szczególnie istotne w naszym kraju gdyż polski sektor energetyczny oparty jest głównie na spalaniu węgla. Mimo, iż zgodnie z *Polityką energetyczną Polski do 2040* wykorzystanie węgla będzie znacznie spadać to udział paliw kopalnych w sektorze energetycznym będzie nadal znaczny. Jednym z rozwiązań może być zastosowanie technologii CCSU (ang. Carbon Capture and Storage/Utilization), która umożliwia wychwytywanie CO₂, a następnie jego składowanie lub utylizację poprzez przetworzenie na produkt użytkowy, m.in. metanol, wykorzystujący odnawialne źródła energii. Niewątpliwą motywacją do rozwoju technologii CCS jest obserwowany w ostatnich latach znaczny wzrost cen uprawnień do emisji CO₂. Jego obecny poziom uważany jest za próg opłacalności wdrożenia technologii CCS. Szczególny potencjał w tym obszarze m.in. ze względu na możliwość implementacji w istniejących obiektach energetycznych ma technologia usuwania CO₂ ze spalin po procesie spalania. Najbardziej zaawansowaną technologią wychwytywania CO₂ ze spalin jest technologia absorpcyjna oparta na aminach. Podstawową zaletą technologii absorpcyjnej jest to, że umożliwia ona w warunkach przemysłowych znaczny odzysk CO₂ i uzyskanie strumienia gazu o bardzo wysokiej czystości CO₂ (>99%), co ułatwia jego dalsze zagospodarowanie. Niestety proces absorpcyjnego wychwytu CO₂ cechuje się wysoką energochłonnością dlatego też aktualne kierunki prowadzonych na świecie badań, koncentrują się na jej obniżeniu. Cel ten w głównej mierze realizowany jest przez wykorzystywanie bardziej efektywnych cieczy absorpcyjnych oraz poprzez stosowanie zaawansowanych modyfikacji układu procesowego takich jak m.in. integracja termiczna desorbera.

Mając powyższe na uwadze należy stwierdzić, że recenzowana rozprawa doktorska wpisuje się niewątpliwie w istotny nurt badań a temat i zakres pracy został trafnie wybrany. Niezmiernie cenne są takie prace eksperymentalne i modelowe jak te zaproponowane przez Doktoranta w niniejszej rozprawie gdyż dostarczają one wielu unikatowych i cennych danych.

Doktorant postawił sobie w rozdziale 2 *Cel i zakres pracy* ambitny, główny cel do rozwiązania – *dokonanie wszechstronnej oceny wpływu integracji termicznej desorbera na proces usuwania CO₂ ze spalin kotłowych przy pomocy roztworów amin pod kątem możliwości poprawy efektywności energetycznej* - na drodze rozważań teoretycznych, badań eksperymentalnych oraz badań modelowych. **Zarówno cel główny jak i cele szczegółowe pracy osadzone są bardzo dobrze w aktualnej problematyce naukowej odnośnie rozwoju metod usuwania CO₂ ze spalin kotłowych. Podjęty przez doktoranta temat rozprawy oraz sformułowane cele są zasadne z naukowego i praktycznego punktu widzenia oraz pozwalają zakwalifikować rozprawę do dyscypliny inżynieria chemiczna.**

Dla realizacji głównego celu rozprawy doktorant pozyskał eksperymentalne dane z rzeczywistego obiektu przemysłowego -instalacji pilotowej do badania absorpcji chemicznej CO₂ ze spalin- oraz przeprowadził ich analizę, którą poszerzył o porównanie uzyskanych wyników doświadczalnych z wynikami własnych badań modelowych desorbera, przeprowadzonych w symulatorze procesowym ProTreat. Doktorant dokonał także oceny kosztów zastosowania integracji termicznej desorbera w skali przemysłowej w zestawieniu z klasycznym procesem aminowego wychwytu CO₂ ze spalin. Na podkreślenie zasługuje konsekwentne dążenie Doktoranta do zrealizowania postawionych celów, co niewątpliwie świadczy o bardzo dobrym rozpoznaniu tematyki rozprawy i solidnym przygotowaniu do prowadzenia rozważań i analiz teoretycznych oraz badań eksperymentalnych i opisów matematycznych.

3.2 Ocena wartości naukowej

Po analizie rozprawy za najważniejsze osiągnięcia naukowe Doktoranta uznać można:

- Rozwinięcie metody wychwytu CO₂ metodą absorpcyjną poprzez opracowanie oraz implementację rozwiązania dotyczącego integracji termicznej desorbera. Podkreślić należy oryginalność rozwiązania zaprezentowanego przez Doktoranta, gdyż według dostępnej wiedzy zaproponowana przez niego forma modyfikacji nie została wcześniej przetestowana w skali pilotowej w kontekście usuwania CO₂ ze spalin, a była jedynie rozpatrywana teoretycznie w badaniach modelowych. Podkreśla to wkład Doktoranta w uzyskanie „nowej wiedzy”, która może być w przyszłości niezmiernie ważna i użyteczna.
- Stworzenie bazy unikatowych, eksperymentalnych danych odnośnie wychwytu CO₂ ze spalin kotłowych metodą absorpcji chemicznej pozyskanych na rzeczywistym obiekcie przemysłowym z wykorzystaniem instalacji pilotowej.
- Opracowanie autorskiego arkusza kalkulacyjnego do analizy surowych danych pomiarowych pod kątem wykonania bilansu masowego i cieplnego. Doktorant dokonał m.in. doboru równań dotyczących właściwości fizykochemicznych dla przyjętych do analizy wodnych roztworów amin, sformułował równania bilansu masowego pozwalające na uwiarygodnienie wyników pomiarów, opracował metodę wyznaczenia strat ciepła w desorberze.
- Opracowanie autorskiego modelu procesu przeznaczonego do badania wpływu integracji termicznej na efektywność desorpcji CO₂ z nasyconego roztworu aminowego. Opracowany model Doktorant wykorzystał do weryfikacji wpływu integracji termicznej na proces wychwytu CO₂ przy użyciu programu do symulacji procesowych ProTreat. Doktorant oparł badania symulacyjne na danych pilotowych uzyskanych zarówno z procesu klasycznego jak i z konfiguracji z integracją termiczną. W związku z tym opracowany przez Niego model różni się od innych modeli przedstawianych w literaturze, które zostały opracowane na podstawie danych dotyczących procesu realizowanego w konfiguracji klasycznej a następnie wykorzystane do testowania różnych rozwiązań konfiguracyjnych. Doktorant wskazał także, iż uzupełnienie stworzonego przez niego modelu o sekcję absorpcji (która nie została przez niego uwzględniona) może posłużyć do uzyskania narzędzia do całościowego modelowania układów usuwania CO₂ z mieszanin gazowych, w zaawansowanych konfiguracjach. Jest to przyszłościowa rekomendacja wykorzystania opracowanego przez Doktoranta narzędzia.
- Rekomendacje zaproponowanego w rozprawie rozwiązania do stosowania w skali przemysłowej poprzez ocenę kosztów zastosowania integracji termicznej desorbera w skali przemysłowej w zestawieniu z klasycznym procesem aminowego wychwytu CO₂ ze spalin. Doktorant w pracy dostarczył argumenty za wysokim stopniem gotowości do wdrożenia technologii absorpcyjnej do przemysłowej działalności.

Szczególnie wyróżnić należy bardzo bogaty warsztat badawczy Doktoranta jeśli chodzi o wykonane w pracy analizy eksperymentalne. Doktorant przeprowadził liczne badania na instalacji pilotowej wychwytu CO₂ w czasie trwania wielu kampanii pomiarowych wraz z licznymi pomiarami analitycznymi w tym analizą stosowanych w badaniach roztworów absorpcyjnych. Podkreśla to bardzo dużą wiedzę inżynierską Doktoranta w tym znajomość wielu zagadnień procesowych oraz analiz chemicznych. Zawarte w rozprawie wyniki badań potwierdzają wyróżniającą się aktywność doktoranta w prowadzeniu prac eksperymentalnych na rzeczywistym obiekcie. Z korzyścią dla doktoranta byłoby uwypuklenie swoich indywidualnych osiągnięć na tle innych członków zespołu, choć docenić należy współpracę z innymi naukowcami i działanie w dużym zespole badawczym. **Doktorant wyróżnił się także**

umiejętnością planowania badań (opracowanie programu badań pilotowych i nadzór nad jego realizacją) co było zapewne niezmiernie trudne przy tak dużej ich ilości oraz wielu zmiennych zwłaszcza, iż badania prowadzone były na obiektach rzeczywistych -dwóch blokach węglowych należących do Tauron Wytwarzanie S.A.

Doktorant wykazał się także wyjątkowo precyzyjną i bardzo wnikliwą interpretacją uzyskanych wyników badań eksperymentalnych. Podkreślić należy bardzo skrupulatne zestawienie uzyskanych wyników badawczych oraz świadomość ograniczeń wielu przeprowadzonych badań. Doktorant zauważa te ograniczenia i stara się je naukowo wyjaśnić oraz wyciągnąć wnioski. Świadczy to o bardzo dużej dojrzałości naukowej doktoranta, umiejętności selekcji danych i ich przygotowania. Ta cecha doktoranta bardzo dobrze rokuje na Jego przyszłe działania naukowe i rozwój kariery naukowej np. *W dużych instalacjach przemysłowych udział strat ciepła w całym bilansie będzie znacznie mniejszy niż w instalacjach badawczych. Mniejszy jest wtedy stosunek powierzchni aparatu do objętościowego przepływu gazu i cieczy, a zatem i strumienia przenoszonego ciepła. Ponadto, w instalacjach badawczych znajduje się znacznie więcej punktów pomiarowych i bardziej rozwinięty jest układ technologiczny, zwłaszcza, gdy bada się różne rozwiązania procesowe. To wszystko jest czynnikiem zwiększającym utratę ciepła do otoczenia”.*

Jak zostało to opisane w rozprawie materiał badawczy oraz doświadczenia pozyskane przez Doktoranta podczas badań na instalacji pilotowej wniosły kluczowy wkład w przygotowanie kilkuwariantowej koncepcji demonstracyjnej instalacji usuwania CO₂ ze spalin z bloku węglowego o mocy 250 MW, opracowanej dla jednej z elektrowni Grupy Tauron. **Jest to przykład działań podejmowanych przez doktoranta w kierunku praktycznego wykorzystania wyników niniejszej rozprawy doktorskiej i stanowi istotny wkład w działania mające na celu komercjalizację technologii usuwania CO₂ ze spalin podobnie jak przygotowana rozprawa doktorska.**

Wszystkie przeprowadzone przez doktoranta badania i analizy umożliwiły sformułowanie wniosków przedstawionych w *Podsumowaniu i wnioskach pracy*. Doktorant na podstawie zebranych przed siebie własnych doświadczeń podczas badań na pilotowej instalacji przedstawił pragmatyczne podejście do zagadnienia modyfikacji procesu usuwania CO₂ skupiając się na obniżeniu energochłonności procesu co jest kluczowe w kontekście jego wielkoskalowego wykorzystywania w praktyce. Układ regeneracji roztworu pochłania przeważającą część energii potrzebnej do realizacji procesu usuwania CO₂ ze spalin dlatego też większość modyfikacji w tym obszarze ma na celu zredukowanie ciepła odpadowego z procesu oraz jak najbardziej efektywne wykorzystanie ciepła zawartego w strumieniach procesowych. **Praca może być zatem przyczynkiem do wykorzystania absorpcyjnej technologii wychwytu CO₂ ze spalin w dużej skali.**

4. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Mimo dużych walorów poznawczych i praktycznych rozprawy podczas jej lektury pojawiają się pewne pytania wymagające wyjaśnienia i szerszej dyskusji:

- 1) W moim przekonaniu i z korzyścią dla pracy, krytyczny przegląd literatury (rozdział 3) powinien poprzedzać uzasadnienie wyboru tematu oraz stanowić punkt wyjścia do określenia celu i tezy pracy oraz jej zakresu (rozdział 2). Pomocne w tej kwestii byłoby także uzupełnienie tego rozdziału o podrozdział podsumowujący krytyczny przegląd literatury.

- 2) W rozdziale 2 rozprawy Doktorant podaje główny cel pracy, cele cząstkowe i wykonane prace. Wątpliwości budzi brak tezy pracy, której postawienie niewątpliwie byłoby istotne dla pracy a do której udowodnienia posłużyłyby zawarte w pracy badania pilotowe i analizy symulacyjne.
- 3) Korzystne dla pracy byłoby umieszczenie uproszczonej wersji schematu procesowego całej instalacji pilotowej i zaznaczenie obszaru, który rozpatrywany jest w pracy. Załącznik A na rys. A.1. pokazuje wycinek instalacji nieuwzględniający wszystkich sekcji.
- 4) W pracy wskazane byłoby określenie, które spośród bardzo szerokiego spektrum badań przeprowadzonych na instalacji pilotowej, analiz fizykochemicznych oraz tworzonych i rozwijanych procedur badawczych opisanych w pracy Doktorant przeprowadził sam? Jest to o tyle istotne, iż bardzo obszerny opis metodyki badań zawarty w pracy podkreśla znaczną ilość wykonanych badań i analiz.
- 5) Proszę o wyjaśnienie dlaczego doktorant posługuje się pojęciem „sprawność usuwania” jako wskaźnikiem procesu wychwytu CO₂ a nie stosowanym powszechnie pojęciem „odzysku” (ang. recovery) - Rozdział 5.4? Doktorant wspomina wielokrotnie o czystości wychwyconego CO₂ zwłaszcza w kontekście jego składowania lub utylizacji chemicznej (rozdział 3) niestety nie wspomina o tym parametrze podając wskaźniki charakteryzujące wychwycony CO₂ w części badawczej? Proszę o komentarz.
- 6) Ze względu na obszerność rozdziału 5 (w tym 5.5 bilans masowy) korzystnym dla pracy byłoby umieszczenie uproszczonego schematu wszystkich działań i obliczeń. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku rozdziału 4.
- 7) W związku z tym, iż rozprawa doktorska jest dość obszerna, szczególnie jeśli chodzi o wyniki badań pilotowych ale też wyniki badań symulacyjnych, z korzyścią dla pracy byłoby przedstawienie choć skróconego planu tych badań czy algorytmu postępowania np. w formie graficznej.
- 8) Bardzo korzystnie należy ocenić podsumowanie wyników badań pilotowych (rozdz.6.4) w tym podrozdział 6.4.4 w którym Doktorant porównuje uzyskane wyniki badań (oczywiście mając świadomość odmienności warunków prowadzonych badań) z wynikami innych badaczy - co potwierdza jego dojrzałość naukową i umiejętność wyciągania wniosków. Szkoda, że Doktorant nie pokusił się o tabelę zbiorczą/porównującą te wyniki. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku rozdziału 7.6. i podrozdziału 7.6.3 porównującego uzyskane przez Doktoranta wyniki z danymi literaturowymi. Tabela zbiorcza byłaby bardzo korzystna w tym rozdziale.
- 9) Jak podaje Doktorant stopień karbonizacji roztworu zregenerowanego jest kluczowym parametrem decydującym o skuteczności procesu usuwania CO₂ w absorberze. Zatem konieczne jest takie ustalenie parametrów pracy desorbera, aby uzyskać najlepszy możliwy efekt separacji gazu przy najmniejszym możliwym wydatku energetycznym. Doktorant w rozprawie opisuje różne podejścia mające na celu obniżenie energochłonności procesu m.in. to zaproponowane przez Leitesa (str. 34) ale nie uwypukla na czym polega oryginalność rozwiązania zaproponowanego przez niego samego i czym różni się ono od innych proponowanych rozwiązań? Proszę o komentarz.

Poniżej przedstawione zostały drobne uwagi, które mogą być przydatne podczas publikowania uzyskanych wyników:

Drobne usterki odnośnie rysunków:

- Rys.3.3 opis rysunku w języku angielskim.
- Rys.3.4 opis rysunku w języku angielskim, temperatura w °F.
- Rys.3.16 brak źródła

- Rys.3.17 brak źródła
- Rys.5.5 – brak wyjaśnienia oznaczeń.
- Rys.6.2 -brak opisu osi
- Rys.7.25 nieczytelny
- Rys.5.2 dobrze byłoby opisać w tekście obszar zaznaczony na rysunku kolorem.
- Rys. 2.1 dobrze byłoby umieścić w rozdziale poświęconemu opisowi instalacji pilotowej a nie w rozdziale Cel i zakres pracy
- Brak uwzględnienia w spisie treści (str. 7) podrozdziałów tj. 6.1.1; 6.1.2; 6.1.3
- Rys.5.4 dobrze byłoby umieścić go w tekście wcześniej i wyjaśnić znajdujące się na nim oznaczenia?

5. Wnioski końcowe

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Adama Tatarczuka rozwiązuje postawione oryginalnie zadanie naukowe dotyczące poznania wpływu integracji termicznej na energochłonność procesu usuwania CO₂ ze spalin kotłowych. Doktorant dzięki zastosowaniu szerokiego spektrum narzędzi i technik badawczych oraz opisów matematycznych dane takie pozyskał. Stwierdzam, że cele postawione w rozprawie zostały osiągnięte. Doktorant wykazał się nie tylko odpowiednią znajomością wiedzy w zakresie objętym tematem ale, także umiejętnościami planowania i prowadzenia eksperymentów naukowych. Doktorant przeprowadził liczne badania w skali pilotowej na rzeczywistym obiekcie przemysłowym, wymagające zarówno bardzo dobrej znajomości dostępnych technik badawczych jak i obsługi aparatury badawczej. Opracowując wyniki Doktorant udowodnił także, że potrafi prawidłowo je analizować, wnioskować i co istotne widzi kierunki dalszych prac. Świadczy to o odpowiednim przygotowaniu i predyspozycjach do samodzielnego prowadzenia prac naukowo-badawczych. Szczególnie podkreślić należy bardzo wnikliwą interpretację uzyskanych wyników oraz uwzględnienie ograniczeń stosowanych metod badawczych. Istotnym jest także, iż pracę cechuje charakter aplikacyjny a jej fragmenty były tematem współpracy z Grupą Tauron S.A. Uwagi krytyczne, które wymienione zostały w punkcie 4 recenzji nie obniżają jej bardzo wysokiej wartości merytorycznej. Uwagi mają charakter dyskusyjny i być może będą pomocne dla Doktoranta w jego dalszej pracy naukowej. W mojej opinii recenzowana rozprawa doktorska jest oryginalna i stanowi istotny i znaczny wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie: inżynieria chemiczna. Ma również istotne znaczenie praktyczne a przedstawione w niniejszej pracy analizy mogą stanowić podstawy do działań projektowych zmodyfikowanego procesu wychwytu CO₂ w skali przemysłowej.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia warunki i wymagania stawiane przez obowiązującą ustawę o stopniach i tytułach naukowych. Wobec powyższego, stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Adama Tatarczuka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Ze względu na wysoki poziom merytoryczny rozprawy doktorskiej oraz jej użyteczny charakter ukierunkowany na przyszły rozwój technologii absorpcyjnego wychwytu dwutlenku węgla ze spalin kotłowych stawiam również wniosek o jej wyróżnienie.