

Częstochowa, 26.02.2018

Prof. dr hab. inż. Izabela Majchrzak-Kucęba
Wydział Infrastruktury i Środowiska
Politechnika Częstochowska
ul. Dąbrowskiego 73
42-200 Częstochowa
e-mail: izak@is.pcz.czest.pl

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Anny Kisieli

pt.: „Termiczna konwersja wysokouwęglonych odpadów”.

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawą formalną opracowania niniejszej recenzji jest pismo Dziekana Wydziału Mechaniczno-Energetycznego prof. zw. dr hab. inż. Zbigniewa Gnutka z dnia 25 stycznia roku.

2. Przedmiot i zawartość rozprawy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Anny Kisieli pt. „Termiczna konwersja wysokouwęglonych odpadów” wykonana na Wydziale Mechaniczno-Energetycznym Politechniki Wrocławskiej. Promotorem pracy jest prof. zw. dr hab. inż. Wiesław Rybak, a promotorem pomocniczym dr hab. inż. Wojciech Moroń.

Rozprawa ma charakter eksperymentalno-modelowy i liczy wraz z bibliografią 200 stron. Praca składa się z 7 rozdziałów uwzględniając wprowadzenie i podsumowanie. Rozprawa zawiera 85 rysunków, 22 tabele oraz 323 pozycje bibliograficzne. *Wprowadzenie* jako rozdział 1 rozprawy pełni funkcję wstępu do tematyki podjętej w pracy.

Rozdział 2 *Wysokouwęglone odpady* zawiera charakterystykę oraz przegląd rodzajów istniejących odpadów wysokouwęglonych w rozbiciu na niespalony węgiel z popiołu lotnego oraz koks ponaftowy. W rozdziale tym scharakteryzowane zostały także główne metody zagospodarowania wysokouwęglonych odpadów tj. zgazowanie oraz adsorpcyjno-katalityczne oczyszczanie spalin.

W rozdziale 3 *Cel i zakres pracy*, Doktorantka przedstawiła główny cel pracy czyli poznanie właściwości wysokouwęglonych odpadów na potrzeby opracowania ich definicji i kierunków termicznej konwersji oraz próbę wyjaśnienia mechanizmu izotermicznego zgazowania niespalonego węgla, adsorpcji dwutlenku siarki oraz katalitycznej redukcji tlenu azotu za pomocą amoniaku na materiale wysokouwęglonym.

W rozdziale 4 *Opis badań* Doktorantka opisała materiał badawczy użyty do badań oraz scharakteryzowała liczne procedury badawcze wykorzystane w pracy tj. podstawowe analizy fizykochemiczne, analizę ziarnową, niskotemperaturową sorpcję, porozymetrię wysokociśnieniową, skaningową mikroskopię elektronową, rentgenowską dyfraktometrię proszkową, analizę elektrochemiczną, analizę miareczkową, analizę termogravimetryczną

Mechaniczno-Energetyczny

07.03.2018

591422

sprzężoną ze spektroskopią FTIR, temperaturowo-programowaną desorpcję amoniaku i dwutlenku węgla oraz analizę temperatury zapłonu. Doktorantka w pracy skupiła się na dwóch typach wysokouwęglonych odpadów: niespalonym węglu separowanym z popiołu lotnego oraz koksie ponaftowym pochodzącym z procesów rafinacji ropy naftowej. Rozdział 4 zawiera także opis eksperymentów izotermicznego zgazowania w atmosferze dwutlenku węgla, adsorpcji dwutlenku siarki w reaktorze ze złożem stałym oraz katalitycznej redukcji tlenu azotu w reaktorze ze złożem stałym.

Rozdział 5 pracy *Wyniki badań i ich dyskusja* zawiera wyniki eksperymentalnych badań własnych Doktorantki odnośnie właściwości fizykochemicznych uwęglonych odpadów, ich struktury porowatej, krystalicznej, chemicznej oraz właściwości pożarowych. Rozdział ten zawiera także wyniki badań reaktywności zgazowania wysokouwęglonych odpadów w atmosferze dwutlenku węgla oraz analizę wyników badań ich pojemności sorpcyjnej względem dwutlenku siarki i aktywności katalitycznej względem tlenu azotu. Dane uzyskane z badań izotermicznego zgazowania materiału badawczego metodą termogravimetryczną pozwoliły na określenie postaci równania kinetycznego procesu w oparciu o opis matematyczny. Za pomocą modelowania matematycznego Doktorantka opisała zależność pomiędzy stopniem i szybkością zgazowania a temperaturą i czasem prowadzenia procesu. Opisu matematycznego procesu adsorpcji SO₂ z wykorzystaniem czterech dostępnych modeli Doktorantka dokonała także celem oceny wpływu parametrów procesowych na charakter nasycenia złoża adsorbentu. Umożliwił on głębsze poznanie mechanizmu obserwowanych reakcji.

Kolejny 6 rozdział pracy *Rekomendacja kierunku termicznej konwersji wysokouwęglonych odpadów* to rekomendacja perspektywicznych kierunków zagospodarowania wysokouwęglonych odpadów, reprezentowanych w pracy przez niespalony węgiel z popiołu lotnego oraz koks ponaftowy, zaproponowanie definicji wysokouwęglonych odpadów oraz próba określenia ich statusu prawnego.

Ostatni 7 rozdział pracy stanowi jej *Podsumowanie* uwzględniające najistotniejsze wnioski z wykonanych analiz, pomiarów oraz obliczeń.

Podsumowując, przyjęty układ rozprawy oceniam jako logiczny i czytelny. Strona edytorska pracy nie budzi zastrzeżeń. Strona graficzna rozprawy jest bardzo staranna a rysunki i wykresy dopracowane. Dobór pozycji bibliograficznych jest odpowiedni i obszerny.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

3.1 Ocena doboru tematu i postawionego celu

Środowiskowe aspekty spalania węgla to nie tylko emisja dwutlenku siarki, tlenków azotu, dwutlenku węgla czy rtęci, ale też ogromne ilości stałych ubocznych produktów spalania (popiół lotny, popiół denny, popiół fluidalny, żużel), które nadal stanowią poważny problem dla wielu elektrowni i elektrociepłowni. Prawo ochrony środowiska nakłada opłaty za każdą wytworzoną tonę tego typu odpadu. Dodatkowo każdą tonę ubocznych produktów spalania należy zeszkładować lub zagospodarować, gdyż z punktu widzenia prawa popioły lotne są odpadami i podlegają wszelkim rygorom stosowanym wobec odpadów. Powoduje to wzrost kosztów wytwarzania energii elektrycznej, gdyż ujęte są w nich dodatkowo koszty związane z ochroną środowiska.

Tempo zmian w technologii zagospodarowania UPS, wymogi stawiane przez UE w zakresie ochrony środowiska oraz wymogi stawiane przez rynek odbiorców ubocznych produktów spalania z energetyki, skłaniają do prowadzenia badań w kierunku pozyskiwania nowego typu produktów z polskich popiołów lotnych. Nie bez znaczenia jest fakt, że im więcej popiołu zagospodarujemy, tym mniej trafi go na składowiska. Składowanie popiołów lotnych, które ograniczone jest wieloma środowiskowymi regulacjami, stwarza potrzebę rozwijania i kreowania nowych, innowacyjnych sposobów jego zagospodarowania w tym szczególnie niespalonego węgla separowanego z popiołu lotnego. Wpisuje się to nie tylko w politykę ekologiczną i działania UE w ramach prac nad gospodarką o obiegu zamkniętym ale także może być w przyszłości źródłem zysku ekonomicznego dla jego wytwórców.

Przyszłość energetyki węglowej w dużej mierze będzie oparta o czyste technologie, których wprowadzanie jest odpowiedzią na zaostrzające się wymagania środowiskowe. Niestety wprowadzanie coraz bardziej restrykcyjnych metod ograniczania emisji SO₂, NO_x, CO₂, Hg, spalanie nowego typu paliw (w tym współspalanie biomasy) oraz rozwój nowych technik spalania i zgazowania, zmienia, czasami niekorzystnie, skład popiołu i kreuje nowej jakości popioły lotne. Nie bez znaczenia w kwestii traktowania popiołu jako specyficznego substratu chemicznego jest także dyrektywa REACH.

Znaczny udział w odpadach paleniskowych stanowi niespalony węgiel, zaliczany do tzw. wysokouwęglonych odpadów. Choć do kategorii tej zaliczyć można także: koks wytwarzany w warunkach szybkiej pirolizy, koksik wytrącany z gazu syntezowego w procesie zgazowania fluidalnego, koks z procesów rafinacji ropy naftowej, to ze względu na mniejszy udział technologii produkujących te odpady w naszym kraju nie stanowią one takiego problemu jak zawarty w popiołach lotnych niespalony węgiel. Nieodpowiednio prowadzony proces spalania, odsiarczanie spalin, używanie palników niskoemisyjnych zwiększa zawartość niespalonego węgla w popiele lotnym, co przy zbyt dużej jego zawartości ogranicza zastosowanie popiołu lotnego do betonu i w konsekwencji zmniejsza ich zagospodarowanie. Z kolei zwiększony popyt na paliwa transportowe w naszym kraju wiąże się z pracami nad udoskonalaniem niewodorowych procesów produkujących paliwa silnikowe, którym towarzyszy produkcja koksu ponaftowego. Ten wysokouwęglony odpad ma także duży potencjał do wykorzystania zważywszy na fakt, że w latach 90-tych ubiegłego wieku produkowano z niego pierwsze węgle aktywne.

Niestety dużym problemem w zagospodarowywaniu różnego typu odpadów wysokouwęglonych jest brak ich definicji oraz niejednoznaczny status prawny, nie definiowany obowiązującymi aktami prawnymi i dyrektywami.

Na obecnym etapie rozwoju technologicznego w sektorze energetycznym i paliwowym oraz przy posiadaniu doświadczeń odnośnie zagospodarowania wysokouwęglonych odpadów w warunkach rzeczywistych potrzebne są prace w kierunku poszukiwania nowych możliwości zagospodarowania tych odpadów oraz sformułowania ich definicji, celem nie traktowania ich jako odpadów. Prawdopodobnie głównym czynnikiem wpływającym na brak ogólnie przyjętych przepisów oraz kierunków zagospodarowania wysokouwęglonych odpadów jest niedostateczna wiedza odnośnie ich powstawania oraz właściwości fizykochemicznych, co tłumaczyłoby m.in. niewielki poziom ich wykorzystania w energetyce.

Niezbędne są zatem takie prace eksperymentalne i modelowe jak te zaproponowane przez Doktorantkę w niniejszej rozprawie. Rozprawie, której głównym celem była ocena wartości użytkowej wysokouwęglonych odpadów w kontekście przemysłu paliwowo-energetycznego.

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.

Doktorantka postawiła sobie w rozdziale 3 *Cel, zakres i teza pracy* ambitny, główny cel do rozwiązania –*poznanie właściwości wysokouwęglonych odpadów na potrzeby opracowania ich definicji i kierunków termicznej konwersji oraz próbę wyjaśnienia mechanizmu izotermicznego zgazowania niespalonego węgla i adsorpcji dwutlenku siarki oraz katalitycznej redukcji tlenku azotu za pomocą amoniaku na materiale wysokouwęglonym* - na drodze rozważań teoretycznych, badań eksperymentalnych oraz badań modelowych. Zarówno cel główny jak i cele szczegółowe pracy osadzone są dobrze w aktualnej problematyce naukowej odnośnie nowych metod zagospodarowania wysokouwęglonych odpadów a także w praktyce. Udowodnieniu postawionej przez Doktorantkę tezy, *iz analizowane wysokouwęglone odpady stanowią pełnowartościowy produkt, mogący znaleźć zastosowanie w przemyśle paliwowym i energetycznym* posłużyły zarówno badania eksperymentalne jak i opis matematyczny omawianych zagadnień.

Na podkreślenie zasługuje konsekwentne dążenie Doktorantki 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. Szczególnie wyróżnić należy bardzo bogaty warsztat badawczy doktorantki jeśli chodzi o wykonane w pracy analizy m.in. analizę ziarnową, niskotemperaturową sorpcję, porozymetrię wysokociśnieniową, skaningową mikroskopię elektronową, rentgenowską dyfraktometrię proszkową czy analizę termogravimetryczną sprzężoną ze spektroskopią FTIR. Doktorantka wykazała się także bardzo wnikliwą interpretacją uzyskanych wyników badań eksperymentalnych.

Podsumowując, podjęty przez doktorantkę temat rozprawy oraz sformułowane cele są zasadne i ważne z naukowego i praktycznego punktu oraz pozwalają zakwalifikować ją do dyscypliny energetyka.

3.2 Ocena wartości naukowej

Po analizie rozprawy za najważniejsze osiągnięcia naukowe Doktorantki uznać można:

- Opracowanie metody analizy zapłonu materiałów wysokouwęglonych z wykorzystaniem różnicowego kalorymetru scaningowego (DSC) w celu kompleksowej oceny przydatności badanych materiałów w procesach chemicznych. Doktorantka wykazała możliwość stosowania technik DSC i TGA na potrzeby oznaczania minimalnej temperatury zapłonu warstwy materiałów węglowych.
- Opracowanie złożonej procedury badawczej na potrzeby oceny reaktywności oraz właściwości adsorpcyjno-katalitycznych porowatych materiałów węglowych.
- Rozwinięcie metody entalpii tworzenia składników gazowych powstających w wyniku reakcji zgazowania/desorpcji bazującej na sygnale DSC.
- Podjęcie próby zastosowania analizy termogravimetrycznej sprzężonej ze spektroskopią FTIR w celu określenia siły oddziaływań między miejscem katalitycznym a cząsteczką aktywnego składnika fazy gazowej. Opracowanie autorskiej procedury badawczej.
- Odniesienie stopnia konwersji amoniaku do autorskiego współczynnika traktującego o dostępności centrów aktywnych złoża.
- Opracowanie autorskiego programu w języku Microsoft Visual Basic do analizy widm absorpcyjnych dla amoniaku i tlenku azotu. Program posłużył do oceny stopnia redukcji

obu indywidualów chemicznych w badaniach katalitycznej redukcji tlenku azotu w reaktorze ze złożem stałym.

- Opis matematyczny procesu zgazowania oraz procesu adsorpcji SO₂ na wysokouwęglonych odpadach.
- Rekomendacja perspektywicznych kierunków zagospodarowania wysokouwęglonych odpadów, reprezentowanych w pracy przez niespalony węgiel z popiołu lotnego oraz koks ponaftowy.
- Zaproponowanie definicji wysokouwęglonych odpadów oraz próba określenia ich statusu prawnego.

Doktorantce udało się odpowiedzieć na pytanie odnośnie wpływu warunków panujących w kotle energetycznym na właściwości fizykochemiczne substancji węglowej oraz poznać mechanizm zgazowania w atmosferze dwutlenku węgla oraz adsorpcyjnego odsiarczania i katalitycznego odazotowania spalin kotłowych za pomocą wysokouwęglonych odpadów. Pozwoliły na to wykonane przez Doktorantkę pomiary i analizy, które umożliwiły sformułowanie wniosków przedstawionych w *Podsumowaniu pracy*.

Praca może być także przyczynkiem do klasyfikacji niespalonego węgla z popiołów lotnych w kategoriach produktu a nie odpadu jak to ma miejsce obecnie.

- Na podstawie krytycznej oceny uzyskanych w wyniku analizy właściwości fizykochemicznych niespalonych węgla z popiołów lotnych Doktorantka wykazała, iż należy przypuszczać, że niespalone węgle mogą być użytkowane jako paliwa na potrzeby spalania i współspalania. Przydatne będą wówczas takie ich cechy jak wysoka wartość opałowa, znaczny udział frakcji palnych czy niska zawartość wilgoci.
- Niespalony węgiel z popiołu lotnego pochodzącego ze spalania węgla kamiennego i brunatnego posiada cechy umożliwiające jego zagospodarowanie na drodze zgazowania. Przy odpowiednio długim czasie przebywania materiałów w wysokiej temperaturze i w obecności dwutlenku węgla możliwa jest konwersja całości ich substancji organicznej do formy gazowej.

4. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

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

- 1) We Wprowadzeniu oraz Rozdziale 2.2.2 Doktorantka odnosi się do problematyki redukcji emisji SO_x i NO_x do poziomu 200mg/Nm³ (powołując się na Dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 roku w sprawie emisji przemysłowych, tzw. IED). Dobrze byłoby w tym względzie odnieść się do aktualniejszych wymagań odnośnie redukcji emisji SO_x i NO_x tj. przyjętych 28 kwietnia 2017 r. tzw. konkluzji BAT dla dużych obiektów energetycznego spalania (LCP) wprowadzających restrykcyjne wymogi, w szczególności w zakresie dopuszczalnych wielkości emitowanych zanieczyszczeń.
- 2) W pracy wskazane byłoby określenie, które z pośród bardzo szerokiego spektrum analiz fizyko-chemicznych oraz tworzonych i rozwijanych procedur badawczych opisanych w pracy Doktorantka wykonała sama?
- 3) Proszę o wyjaśnienie według jakiego „klucza” Doktorantka wybierała rodzaje materiałów do poszczególnych analiz właściwości fizyko-chemicznych? Czy nie dobrze byłoby wykonać spis/tabelkę porządkującą jakie materiały poddano poszczególnym badaniom np. przy opisie materiału badawczego Rozdział 4.1?

- 4) Z korzyścią dla pracy byłoby ujednoczenie nazewnictwa technik badawczych opisywanych i stosowanych w pracy oraz wykonanie ich spisu na początku pracy. W rozdziale 3.3 (str. 43) budzi pewne zastrzeżenia zapis „Oceny wpływu (...) dokonano za pośrednictwem rentgenowskiej mikroanalizy składu chemicznego (SEM-EDS). W dalszej części tekstu znaleźć możemy „Analizie mikrostruktury niespalonego węgla posłużyła nadto skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM-BSE/SE). Ostatni skrót nie został wyjaśniony a ta sama technika badawcza różnie nazwana w dwóch sąsiadujących zdaniach. Wyjaśnienie nazwy SEM/BSE/SE znajduje się dopiero w dalszej części pracy, gdzie dobrze byłoby także wyjaśnić skrót SEM/EDS (SEM/EDX). Podobnie analiza TGA-FTIR w pracy opisywana jest różnie: „termowaga (TG) oraz spektroskopia w podczerwieni (FTIR)”, „termograwimetr sprzężony ze spektrofotometrycznym analizatorem składu gazu”, „analiza termograwimetryczna sprzężona z analizatorem gazów FTIR”.
- 5) Czy podana (Rozdział 4.2.8 str. 55) procedura badawcza miareczkowania to procedura Doktorantki? Czy zaczerpnięta z literatury/normy? Jeśli tak to z jakiej?
- 6) Proszę o wyjaśnienie w jaki sposób zaobserwowano korelację pomiędzy wymiarami krystalitów a stopniem uwęglenia analizowanych materiałów? Jak na podstawie analizy XRD obliczono wysokość i średnicę krystalitów?
- 7) W Rozdziale 5 nie scharakteryzowano typów adsorbentów komercyjnych (komercyjnych koksów węglowych), które badano w części doświadczalnej; nie wspomniano o nich także w obszernym przeglądzie literatury.
- 8) Proszę o wyjaśnienie stwierdzenia „pomimo, iż ze względu na jakość dostępnych wzorców precyzyjne oznaczenie ilości zidentyfikowanych minerałów nie było możliwe, intensywność zarejestrowanych odbić wskazuje, że ich zawartość dla rozpatrywanych prób rośnie w kolejności UN-K>UN-A>UN-B>UN-C(...)”?
- 9) Proszę o wyjaśnienie czy Doktorantka porównywała wartości bezwzględne intensywności pików XRD (str.96)?
- 10) Nie do końca jest dla mnie zrozumiałe porównywanie metod oznaczania powierzchni właściwej dla materiałów węglowych oraz kolejność doboru poszczególnych metod? Jaka było założenie Doktorantki? Co Doktorantka rozumie pod pojęciem bezpośredniego wyznaczania powierzchni właściwej w metodzie adsorpcji niskotemperaturowej i porozymetrii rtęciowej?
- 11) Z korzyścią dla pracy byłoby ujednoczenie nazewnictwa odnośnie „aktywności adsorpcyjnej” względem dwutlenku siarki. Dlaczego Doktorantka nie używa pojęcia pojemności sorpcyjnej względem SO₂ (Na rys.63 wartości podane w % a w teście w g SO₂/kg adsorbentu). W dalszym opisie pojemność sorpcyjna nazwana jest „koncentracją czynnika aktywnego” a dalej „ilością zaadsorbowanego czynnika aktywnego”.
- 12) W jaki sposób wykonano analizę ilościową wydzielonych: CO i CO₂ metodą FTIR?
- 13) Proszę o wyjaśnienie dlaczego na rys. 41 Profil temperaturowo-programowanej desorpcji NH₃ na przykładzie próby UN-A na osi Y mamy napięcie (mV) a na osi X-temperaturę a na takim samym rysunku odnośnie CO₂ (rys. 43) Profil temperaturowo-programowanej desorpcji CO₂ na przykładzie próby UN-A na osi Y mamy zmianę masy (%) a na osi X czas i rysunki te są porównywane?
- 14) Czy Doktorantka zastanawiała się nad wyborem (po dokonaniu pełnej charakterystyki fizyko-chemicznej) najkorzystniejszego materiału do badań zgazowania w atmosferze CO₂, sorpcji SO_x i redukcji NO_x?
- 15) Dlaczego w teście TPD-CO₂ adsorpcja CO₂ prowadzona była w temperaturze 50⁰C?
- 16) Czy uwzględniono pewne ograniczenia metody analizy TG-FTIR do badań izotermicznego zgazowania w atmosferze dwutlenku węgla?

- 17) Proszę o wyjaśnienie doboru składu gazu modelowego do badań adsorpcji SO₂ oraz wyboru okresu 7 miesięcy do przeprowadzenia desorpcji SO₂?
- 18) Dlaczego na Rys. 23 nie uwzględniono izoterm desorpcji CO₂ oraz nie określono typu przedstawionych izoterm?

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

1) Proponuję:

- Wybrać pomiędzy wieloma stosowanymi określeniami: „niespalony węgiel z popiołu lotnego”, „niedopał”, „strata prażenia”, „części palne”.
- Zgodnie z przyjętym nazewnictwem stosować „popiół lotny” zamiast „lotny popiół”. Przy spisie ważniejszych oznaczeń wytłumaczono używanie w pracy przedrostka –di w przypadku SO₂, CO₂ czy NO₂ ze względu na ugruntowaną pozycję takiego nazewnictwa w branży energetycznej. Co uważam za słuszne podejście. Dobrze byłoby jednak opierając się na tej samej zasadzie ugruntowanej pozycji nazewnictwa w branży energetycznej nie używać nazwy „lotny popiół” tylko powszechnie używany „popiół lotny”.
- Stosować „średnica porów” a nie „szerokość porów” (rozdział. 4.2.3).
- Stosować „stężenie” zamiast „koncentracja”.

2) Drobne usterki odnośnie rysunków:

- Rys.33 brak oznaczeń: a, b, c, d, e, f, g oraz opisu w podpisie rysunku.
- Rys.28 brak oznaczeń a, b, c, d, e.
- Rys.37 brak oznaczeń a, b, c, d w podpisie rysunku.
- Rys.17 - zły opis legendy.
- Brak opisu i komentarza do wyników przedstawionych na rys.20 (str. 73).
- Brak odwołania do rys.22 (str.76) i brak komentarza do rysunku w tekście.
- Na rys.31 dobrze byłoby zaznaczyć opisane w tekście miejsca charakterystyczne. Opis nie wskazuje gdzie one są?

5. Wnioski końcowe

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Anny Kisieli rozwiązuje postawione oryginalne zadanie naukowe dotyczące poznania właściwości wysokouwęglonych odpadów na potrzeby opracowania ich definicji i kierunków termicznej konwersji oraz wyjaśnienia mechanizmu izotermicznego zgazowania niespalonego węgla i adsorpcji dwutlenku siarki oraz katalitycznej redukcji tlenku azotu za pomocą amoniaku na materiale wysokouwęglonym. Doktorantka dzięki zastosowaniu szerokiego spektrum narzędzi i technik badawczych oraz opisów matematycznych dane takie pozyskała.

Stwierdzam, że cele postawione w rozprawie zostały osiągnięte. Doktorantka wykazała się nie tylko odpowiednią znajomością wiedzy w zakresie objętym tematem ale, także umiejętnościami planowania, programowania i prowadzenia eksperymentów naukowych. Doktorantka przeprowadziła liczne badania laboratoryjne wymagające zarówno bardzo dobrej znajomości dostępnych technik badawczych jak i obsługi aparatury badawczej. Podkreślić należy zbudowanie przez doktorantkę stanowiska badawczego do adsorpcyjnego i katalitycznego oczyszczania zasymulowanych spalin kotłowych.

Opracowując wyniki doktorantka udowodniła 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 z

metod badawczych wyników oraz uwzględnienie ograniczeń stosowanych metod. Bardzo istotną częścią pracy są rekomendacje doktorantki odnośnie perspektywicznych kierunków zagospodarowania wysokouwęglonych odpadów oraz zaproponowanie definicji wysokouwęglonych odpadów wraz z próbą określenia ich statusu prawnego.

Istotnym jest także, iż pracę cechuje charakter aplikacyjny a jej fragmenty były tematem współpracy z PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A. Oddział Elektrownia Bełchatów.

Uwagi krytyczne, które wymienione zostały w punkcie 4 recenzji nie obniżają jej pozytywnej wartości merytorycznej i pozytywnej ogólnej oceny dysertacji. Uwagi mają charakter dyskusyjny i być może wykorzystane zostaną przez Doktorantkę w dalszej pracy naukowej. W mojej opinii recenzowana rozprawa doktorska jest oryginalna i stanowi wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie: energetyka. Ma również istotne znaczenie praktyczne.

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

Projeł-Łeba