

Dr hab. inż. Jarosław Zuwała, prof. nadzw.
Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla
ul. Zamkowa 1, 41-803 Zabrze
e-mail: jzuwala@ichpw.pl
tel.: (32) 271-51-52

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. **Michała Ostrycharczyka**
pt. „**Spalanie węgla brunatnego w atmosferze wzbogaconej w tlen dla bloków energetycznych pyłowych**”

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Halina Pawlak-Kruczek, prof. nadzw. PWi.

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest Pismo prof. dr. hab. inż. Zbigniewa Gnutka, Dziekana Wydziału Mechaniczno – Energetycznego Politechniki Wrocławskiej z dnia 28 kwietnia 2016 roku zawierające prośbę o opracowanie recenzji przedmiotowej rozprawy (pismo znak: W9/PW/899/2016).

2. Wprowadzenie

Zakres merytoryczny i formalny recenzji uwzględnia zalecenia przepisów ustawy z dnia 14 marca 2003 roku „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” (Dz. U. 03.65.595 z dnia 16.04.2003r.). Zgodnie z art. 13. Ust.1. wymienionej ustawy rolą recenzenta jest między innymi stwierdzenie, czy przedłożona do recenzji rozprawa doktorska przygotowana pod opieką promotora stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego a także wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata (doktoranta) w danej dyscyplinie naukowej, potwierdzając umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr inż. Michała Ostrycharczyka obejmuje wyniki przeprowadzonych badań procesu spalania tlenowego węgla brunatnego w aspekcie oceny wpływu atmosfery O_2/CO_2 a także zawartości wilgoci w paliwie na zawartość części palnych w popiele lotnym a także mechanizmy formowania się wybranych zanieczyszczeń gazowych takich jak tlenki siarki (SO_x) i tlenki azotu (NO_x) oraz wielkość końcowej emisji tych substancji.

Z przywołanego w pierwszym akapicie fragmentu ustawy wynika, że treść recenzji powinna zawierać ustalenie, czy przedłożona praca spełnia wyszczególnione wymagania. Recenzja moja zawierać będzie zatem ustosunkowanie się do kwestii takich jak:

- prawidłowość sformułowania tematu rozprawy
- znajomość przez Doktoranta zagadnień związanych z pracą
- słuszność postawionej tezy rozprawy
- prawidłowość zamieszczonych w pracy rozwiązań teoretycznych, rezultatów przeprowadzonych obliczeń oraz sformułowanych wniosków końcowych a także potwierdzenie samodzielności Doktoranta w rozwiązywaniu przedstawionych zagadnień naukowych.

W9/1110

Wydział Mechaniczno-Energetyczny

21-07-2016

Wpłynięcie dnia

3. Ogólna ocena rozprawy wraz z uwagami krytycznymi

Praca doktorska realizowana była w ramach Strategicznego Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych pt. „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii” w Zadaniu Badawczym nr 2. „Opracowanie technologii spalania tlenowego dla kotłów pyłowych i fluidalnych zintegrowanych z wychwytem CO₂” a także Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki, Poddziałanie 4.1.1: „Wzmocnienie i rozwój potencjału dydaktycznego uczelni” Rozwój Potencjału Dydaktyczno-Naukowego Młodej Kadry Akademickiej Politechniki Wrocławskiej.

Rozprawę Doktorant zawarł na 102 stronach tekstu zasadniczego. Praca zawiera jeden załącznik, w którym przedstawiono schematycznie konstrukcję palnika stanowiącego część wykorzystanego w badaniach eksperymentalnych stanowiska badawczego – reaktora opadowego. Wykaz literatury mieści się na 5-ciu stronach, zawierając 150 pozycji, z których 53 odnosi się do materiałów polskojęzycznych a 97 stanowi odwołania do literatury obcojęzycznej. Odwołania do poszczególnych pozycji literaturowych mają pełne uzasadnienie wynikające z treści rozprawy. Bardzo wiele cytowanych prac pochodzi z ostatnich lat, dodatkowo znaczny udział pozycji obcojęzycznych świadczy o bardzo dobrym rozpoznaniu przez Doktoranta światowego dorobku naukowego w zakresie merytorycznym przedmiotu rozprawy. Stwierdzam, że cytowana literatura jest aktualna, można było jednakże w większym niż to uczyniono stopniu przedstawić dorobek krajowych ośrodków badawczych zajmujących się tematyką spalania tlenowego (jedynie pozycje [44], [45] i [139] prezentują wyniki badań ośrodków krajowych).

Pracę podzielono na sześć (6) rozdziałów (łącznie z rozdziałami wprowadzającymi i podsumowującym). Pierwszy rozdział zawiera wprowadzenie, w którym po krótkim omówieniu elementów aktualnej polityki energetyczno – klimatycznej Polski oraz Unii Europejskiej, Doktorant omawia potencjał energetyczny krajowego węgla brunatnego, charakteryzując m.in. istniejące złoża tego paliwa pod względem ich zasobności oraz parametrów jakościowych. Następnie przechodzi do bardzo zwięzłego zasygnalizowania problematyki czystych technologii węglowych, wskazując technologię spalania tlenowego jako jedno z rozwiązań technologicznych prowadzących do redukcji emisji CO₂ z sektora wytwarzania energii. Moim zdaniem tę część wprowadzenia można było nieco rozszerzyć, ilustrując przyjęty do analiz rodzaj technologii choćby schematem ideowym, a w formie tabelarycznej krótko porównać najistotniejsze elementy wybranej technologii i innych technologii „czystego węgla” - o których zresztą Doktorant wspomina – zestawiając ich wady i zalety. W rozdziale drugim Doktorant formułuje podstawowy cel pracy, jakim jest *„zbadać i określić wpływ atmosfery O₂/CO₂ (przy zmiennym udziale O₂ z przedziału 15-30%) oraz analiza zachowania się rtęci w procesie spalania na stanowisku reaktora opadowego”*; stawia tezę, która brzmi: *„zmiana atmosfery spalania polskiego węgla brunatnego z powietrza na atmosferę O₂/CO₂ pozwala uzyskać wysoki poziom wypalenia paliwa realizowanego w kotłach energetycznych pyłowych dla określonego udziału atmosfery utleniającej O₂/CO₂ i określonej zawartości wilgoci w paliwie... ”* a następnie przedstawia zakres pracy, który *„obejmował wykonanie badań eksperymentalnych spalania i odgazowania węgla brunatnego na stanowisku izotermicznego reaktora”*.

W tym rozdziale Doktorant wskazuje również cel *„dotyczący opracowania optymalnych wytycznych projektowych dla bloków pyłowych pracujących w technologii oxy-spalania”*, który uznać można za cel użyteczny recenzowanej pracy.

Rozdział trzeci poświęcono analizie stanu wiedzy w zakresie procesów i technologii spalania tlenowego, wskazano tam m.in. ośrodki badawcze, w których prowadzone są badania proce-

sów spalania tlenowego z wykorzystaniem instalacji pilotowych i demonstracyjnych (Rys. 3.2). Pewien niedosyt budzi jednak brak zamieszczenia na tym rysunku informacji o krajowych instalacjach pilotowych (m.in. instalacja symulująca warunki spalania pyłowego z pełną recyrkulacją spalin w Instytucie Energetyki, instalacja w Politechnice Częstochowskiej a także instalacje pilotowe zlokalizowane w IChPW). Gotowość technologiczną tych instalacji osiągnięto przecież w trakcie realizacji Zadania Badawczego Nr 2 wspomnianego już „Strategicznego Programu...”, w którym Doktorant brał przecież aktywny udział.

Doktorant poddał wnikliwej analizie problematykę wymiany ciepła w kotłach realizujących proces spalania tlenowego, omówił zagadnienia odgazowania i wypalenia paliwa, poddał dyskusji wpływ wilgoci na przebieg procesu spalania a także wyczerpująco omówił mechanizmy formowania się tlenków azotu i tlenków siarki w atmosferach O_2/CO_2 . Analizę istniejącego stanu wiedzy w opisanych obszarach Doktorant zwięźliwie podsumował wskazującym na konieczność prowadzenia badań eksperymentalnych dla wykazania wpływu składu atmosfery spalania tlenowego a także zawartości wilgoci w paliwie na zawartość części palnych w ubocznych produktach spalania w odniesieniu do spalania w powietrzu atmosferycznym i formowanie się zanieczyszczeń gazowych.

Zasadniczą część rozprawy stanowią rozdziały 4 i 5 poświęcone kolejno: opisowi badań eksperymentalnych, na który składa się opis procedury przygotowania paliwa do testów badawczych a także opis stanowiska badawczego oraz omówieniu wyników badań eksperymentalnych z wykorzystaniem opisanego wcześniej reaktora opadowego. Pracę kończy rozdział 6 zawierający podsumowanie i wnioski, sformułowane w oparciu o zrealizowane w pracy badania.

Układ rozprawy nieznacznie odbiega od tradycyjnego układu prac mających cechy rozpraw doktorskich. Zwyczajowo analiza stanu wiedzy w temacie rozprawy powinna mieć miejsce przed określeniem celu, tez i zakresu pracy. Przypuszczam jednak, że Doktorant przed określeniem celu, zakresu i tez prac tę analizę przeprowadził, a zastosowana konwencja rozprawy wynikała ze stylu przyjętego w macierzystej jednostce.

Recenzowana rozprawa bogata jest w formy graficzne, nie zawiera jednakże zaleconego ustawą (Art. 13 ust. 6) streszczenia w języku angielskim, brak jest również streszczenia w języku polskim – należałoby to uzupełnić. Praca zawiera spis rysunków, nie zawiera spisu tablic ani wykazu stosowanych w pracy symboli i oznaczeń, którego uwzględnienie niewątpliwie wpłynęłoby na ułatwienie lektury pracy. Niewątpliwie słabszą stroną pracy jest jej strona językowa. Język pracy jest momentami kolokwialny, czasami nawet nieco chaotyczny. Doktorant nie ustrzegł się usterek o charakterze edycyjnym i stylistycznym, których szczególony wykaz zawarłem na końcu recenzji (należy jednak zauważyć, że począwszy od rozdziału „Wyniki badań eksperymentalnych” jakość strony językowej pracy wyraźnie się poprawia). Uwzględnienie tych uwag w trakcie dalszej aktywności publikacyjnej i pracy naukowej doktoranta uważam za celowe.

Podsumowując: tytuł rozprawy jest adekwatny do jednoznacznej i jasno wyrażonej treści rozprawy. Geneza tematu i uzasadnienie celowości jego podjęcia, jako problemu badawczego, wynika z dokonanego przeglądu istniejącego stanu wiedzy. W rozprawie jasno postawiono jej cel i określono cel badań. Rozprawa zawiera tezę, opisaną i wyjaśnioną procedurę badawczą, omówiono w niej także stosowane metody i narzędzia badawcze.

Pomimo kilku przedstawionych powyżej uwag, strukturę merytoryczną i układ zawartości recenzowanej pracy uznaję za właściwe.

3.1 Ocena prawidłowości wyboru tematu

Paliwa stałe (węgiel kamienny i brunatny) są obecnie w skali światowej jedynymi surowcami energetycznymi, pozwalającymi na stabilne zaspakajanie potrzeb energetycznych w długiej perspektywie czasowej. Stosowanie węgla jako pierwotnego źródła energii wymaga stałego postępu w technologiach jego wykorzystania w aspekcie poprawy sprawności poszczególnych procesów jednostkowych i zmniejszenia towarzyszących im obciążeń środowiskowych. Współczesne, czyste technologie węglowe, pozwalają na znaczące zmniejszenie negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne procesów związanych z wykorzystaniem węgla. Polska, kraj o dużych zasobach węgla i o energetyce w największym stopniu w Unii Europejskiej bazującej na węglu kamiennym i brunatnym, jest szczególnie zainteresowana rozwojem tego typu technologii. Trwający proces konwergencji polskiej gospodarki wiąże się bowiem ze stałym wzrostem zapotrzebowania na energię elektryczną. Stąd też szczególnie istotnym zagadnieniem staje się zapewnienie wystarczającego potencjału wytwórczego tej energii, z odpowiednim wykorzystaniem krajowych źródeł energii pierwotnej.

Procesy spalania tlenowego (zwanego także oxy/oksy-spalaniem) polegające na zastosowaniu w charakterze utleniacza powietrza o zwiększonym udziale tlenu bądź utleniacza będącego mieszaniną O_2 i CO_2 zaliczane są do jednej z perspektywicznych tzw. „czystych technologii węglowych”. Rozprawa mgr inż. Michała Ostrycharczyka istotnie wpisuje się w prace badawcze prowadzone w obszarze czystych technologii węglowych a o ich wadze może świadczyć fakt, iż realizowana była w ramach wieloletniego Strategicznego Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Przedmiot pracy jest więc aktualny i bardzo ważny. Ponadto, należy oczekiwać, iż w najbliższej przyszłości efektywne pod względem energetycznym i środowiskowym wykorzystanie krajowych zasobów węgla brunatnego będzie wymagało zastosowania zaawansowanych technologii gwarantujących jak najmniejsze obciążenia środowiskowe, a do takich zaliczyć można z całą pewnością technologię spalania tlenowego.

Jak stwierdza Doktorant, przebieg procesu konwersji siarki w procesie spalania a także tworzenie się i emisja jej związków w postaci gazowej w istotny sposób zależy od składu utleniacza i rodzaju węgla. Istnieje także znaczący wpływ składu utleniacza i warunków procesowych na emisję tlenków azotu. Doktorant trafnie dostrzega jednak liczne rozbieżności w ocenie jakościowej i ilościowej a także właściwej interpretacji mechanizmów tych zjawisk przez autorów licznych publikacji naukowych, które poddał analizie. Podkreśla potrzebę przeprowadzenia badań eksperymentalnych, których właściwie dobrany zakres umożliwi jednoznaczny ocenę wpływu składu paliwa, zawartości wilgoci oraz składu modyfikowanego utleniacza O_2/CO_2 .

Tematyka pracy, skupiająca się na docelowym opracowaniu wytycznych dla realizacji procesu spalania tlenowego krajowego węgla brunatnego, przy konieczności zapewnienia odpowiedniej zawartości wilgoci paliwa doprowadzanego do procesu spalania a także odpowiedniego doboru składu modyfikowanej atmosfery O_2/CO_2 pod kątem minimalizacji emisji gazowych zanieczyszczeń (SO_x , NO_x), jest kluczowa z punktu widzenia przyszłego efektywnego wdrożenia technologii spalania tlenowego jako „czystej technologii węglowej”, sprzyjającej zmniejszeniu negatywnego wpływu sektora wytwarzania energii na środowisko.

Mając na uwadze powyższe, stwierdzam że temat rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Ostrycharczyka został wybrany prawidłowo, a całość podjętej pracy uwarunkowana była nie tylko potrzebami naukowo – badawczymi, ale przede wszystkim jej przyszłymi

efektami praktycznymi i wdrożeniowymi w obszarze spalania tlenowego jako jednej z „czystych technologii węglowych”.

3.2 Ocena prawidłowości tezy

Doktorant w pracy sformułował tezę, która stanowi (Rozdział 2), że:

„Zmiana atmosfery spalania polskiego węgla brunatnego z powietrza na atmosferę O_2/CO_2 pozwala uzyskać wysoki poziom wypalenia paliwa realizowanego w kotłach energetycznych pyłowych dla określonego udziału atmosfery utleniającej O_2/CO_2 i określonej zawartości wilgoci w paliwie. Proces spalania tlenowego polskiego węgla brunatnego pozwala uzyskać niższe emisje NO_x i większy stopień konwersji siarki do SO_2 dla spalania w atmosferze O_2/CO_2 przy zachowaniu optymalnej zawartości wilgoci w paliwie i określonego udziału tlenu i dwutlenku węgla w atmosferze utleniającej O_2/CO_2 .

Teza pracy sformułowana została prawidłowo, dla jej potwierdzenia Doktorant opracował zakres badań eksperymentalnych, przygotował obszerny plan badawczy obejmujący wariantowe badania prowadzone przy zmiennych parametrach procesowych i wilgotności paliwa a także odpowiednio skonfigurował dla celów tych badań stanowisko badawcze wyposażone w reaktor opadowy z palnikiem pyłowym.

Przeprowadzone przez Doktoranta badania, w zakres których wchodziły:

- analiza wpływu rozkładu ziarnowego spalanego pyłu węglowego na stopień wypalenia i wielkość emisji zanieczyszczeń na stanowisku izotermicznego reaktora opadowego w warunkach spalania w atmosferze powietrza i atmosferze O_2/CO_2
- określenie zależności stopnia wypalenia paliwa od zawartości wilgoci początkowej paliwa dla analizowanych składów utleniacza
- określenie wpływu zmiany składu utleniacza dla zmiennej zawartości tlenu, równej 15%, 20%, 25%, 30% (vol.) na emisję zanieczyszczeń gazowych NO_x i SO_2 za komorą spalania
- wyznaczenie stopnia konwersji siarki paliwowej do fazy gazowej do SO_2 , oraz przechodzącej do popiołu w warunkach oxy-spalania
- analiza wpływu atmosfery spalania tlenowego na formowanie się SO_3 w komorze spalania
- analiza emisji Hg z procesów spalania i spalania tlenowego oraz analiza zachowania się rtęci w komorze spalania i ocena retencji rtęci w popiele ze spalania tlenowego węgla brunatnego.

umożliwiły udowodnienie tej tezy i dostarczyły oryginalnej wiedzy w analizowanym obszarze badawczym.

Postawiona teza pracy oraz przyjęte cele są ważne przede wszystkim z uwagi na ich znaczenie w efektywnym pod względem środowiskowym wdrożeniu technologii spalania węgla brunatnego w kotłach pyłowych, nie tylko w warunkach krajowych (kocioł spalający węgiel brunatny w technologii pyłowej jest obecnie budowany w Elektrowni Turów) ale także na świecie. Uzyskane wyniki badań są istotne z poznawczego punktu widzenia w obszarze mechanizmów formowania się zanieczyszczeń gazowych w procesach spalania paliw i mogą mieć znaczenie dla rozwoju technologii pozwalających na eliminację bądź redukcję emisji zanieczyszczeń gazowych (SO_x , NO_x) oraz zmniejszenie zawartości części palnych w popiele lotnym co wpływa bezpośrednio na poprawę sprawności energetycznej kotła.

4. Analiza treści rozprawy

W poniższym rozdziale recenzji skupię uwagę na zagadnieniach naukowych samodzielnie rozwiązanych przez Doktoranta, na krytyce prawidłowości rozważań, uzyskanych wyników i wniosków oraz na uwagach dyskusyjnych i wątpliwościach, które nasunęły mi się przy pisaniu recenzji. Na końcu zamieszczonej analizy odniosę się do oryginalności i wskażę na główne walory rozprawy.

4.1 Zagadnienia naukowe rozwiązane samodzielnie przez Doktoranta

Po przeprowadzeniu analizy treści rozprawy stwierdzam, że sformułowany przez Doktoranta cel został zrealizowany, potwierdzając słuszność przyjętych założeń.

Do najważniejszych zagadnień naukowych rozwiązanych samodzielnie przez Doktoranta zaliczyć należy:

- krytyczne przeanalizowanie dostępnych pozycji literatury naukowo-badawczej krajowej i zagranicznej, z którego wyniknęła potrzeba sformułowania własnego problemu badawczego, głównego celu i zakresu oraz też rozprawy
- opracowanie i przeprowadzenie oryginalnego programu badawczego obejmującego badania o charakterze eksperymentalnym i badania w skali laboratoryjnej (TGA)
- wykazanie (na przykładzie węgla ze złoża Turów), iż dla danej zawartości wilgoci w węglu brunatnym i przy danym składzie atmosfery modyfikowanej O_2/CO_2 możliwe jest osiągnięcie minimalnej emisji gazowych substancji szkodliwych (SOx, NOx) oraz najmniejszej zawartości części palnych w popiele lotnym
- potwierdzenie, iż możliwe jest osiągnięcie korzystnych efektów środowiskowych w efekcie zastosowania węgla brunatnego w procesie spalania tlenowego
- osiągnięcie aplikacyjnego celu rozprawy, czyli uzyskanie pakietu informacji o charakterze wytycznych projektowych (skład utleniacza, stopień wysuszenia paliwa) pomocnych przy przyszłym wdrożeniu spalania węgla brunatnego w jednostkach pyłowych.

4.2 Prawidłowość rozważań, uzyskanych wyników i wniosków oraz uwagi krytyczne.

Treść rozprawy dowodzi, że Doktorant bardzo dobrze znajduje się w przedmiotowej problematyce. Nie stwierdzam istotnych uchybień w tym zakresie i oceniam znajomość przedmiotu zagadnienia przez Doktoranta, w tym jego przygotowanie zawodowe i naukowe - pozytywnie. Poniżej zamieszczam wybrane uwagi, które uznaję za drobne lub posiadające charakter porządkowy:

- str. 6: „Przez ostatnie lata kopalnia obniżyła swoje wydobycie spowodowane modernizacją bloków energetycznych”. Czy wiadomo, co było tego przyczyną?
- str. 12 „Aktualnie używa się zamiennie kilka nazw na technologie odnoszące się do spalania w atmosferze O_2/CO_2 - oxy-fuel, oxy-combustion, atmosfera wzbogacona w tlen, oxy-spalanie, spalanie tlenowe lub w skrócie warunkami oxy”. Ten opis możnaby uściślić, ponieważ istnieje również technologia spalania w powietrzu wzbogaconym w tlen (ang. oxygen-enhanced combustion, OEC), która nie zalicza się wprost do technologii spalania tlenowego. Mam wrażenie, że Doktorant odnosi się na str. 16 opisując rys. 3.1 właśnie do tej technologii. Cytowane są także prace z tego zakresu (t.j. poz [27] spisu literatury), jak również na stronie 17 podane jest rozróżnienie pomiędzy technologią „oxy-fuel” i OEC

- str. 15: „Podjęta tematyka w literaturze przedstawiana jest różniącymi się wnioskami z dotychczasowych badań” - brak jest odniesienia do źródeł literatury bądź wyraźnie wskazanego miejsca w rozprawie, gdzie została przeprowadzona dyskusja stanu wiedzy dotycząca tego zagadnienia
- str. 16: zdanie „ (...) przy czym udział tlenu waha się w granicach od 26% do 30%.” powinno brzmieć: „ (...) przy czym udział objętościowy tlenu waha się w granicach od 26% do 30%”
- str. 17: rys. 3.1 pochodzi ze źródła [24], a nie [23]
- str. 20: tab. 3.1: Doktorant podaje właściwości gazów a następnie na str. 23 w tab. 3.2 właściwości te są ponownie podane. Co prawda w tabeli 3.2 właściwości dotyczą innej temperatury, ale zestawienie tych danych wydaje się być już niepotrzebne. Alternatywnie można by zestawić te dane w postaci jednej tabeli
- str. 21: w dyskusji możliwości przebudowy układu kotła pozwalający na uzyskanie spalania tlenowego dobrze byłoby, nawet w sposób skrócony opisać tzw. ideę „flexi-burn” polegającą umożliwieniu przechodzenia pomiędzy reżimami spalania w powietrzu i tlenie bez odstawiania kotła
- str. 25: należy uściślić stosowanie skrótów w odniesieniu do reaktora opadowego. Na str. 25 użyto skrót DPF (bez wyjaśnienia) jak i DTR (z wyjaśnieniem, że chodzi o „drop tube reactor, reaktor opadowy”)
- str. 27: „Termiczny mechanizm powstawania NOx charakteryzuje się wysoką energią aktywacji i wysoką temperaturą (powyżej 1500 °C). Ilość tlenków termicznych ocenia się na ok. 20% wszystkich tlenków NOx.” Zdania te są nieco niejasne. To reakcje czy procesy mogą charakteryzować się wysoką energią aktywacji. Co oznacza stwierdzenie, iż „Ilość tlenków termicznych ocenia się na ok. 20% wszystkich tlenków NOx”. Do jakich warunków odnosi się to stwierdzenie? Proszę Doktoranta o komentarz w tej sprawie
- str. 27: „Spalanie tlenowe generuje odmienną ilość NOx. Badania realizowane dla technologii oxy prowadzone były szczególnie przez grupy.” To zdanie jest niejasne. Co rozumie się poprzez stwierdzenie „odmienną ilość”? Drugie zdanie powinno chyba brzmieć: „Badania realizowane dla technologii oxy prowadzone były szczególnie przez grupy badaczy”. Czy tylko Ci badacze skupili uwagę na konwersję tlenków azotu podczas spalania tlenowego? Proszę Doktoranta o komentarz w tej sprawie
- str. 30: „W atmosferze O₂/CO₂ nie występuje mechanizm termiczny ([88],[89]). Atmosfera O₂/CO₂ sprzyja redukowaniu NOx wg odwróconego mechanizmu Zeldovich'a, przy odpowiednich warunkach spalania $t > 1400$ °C i szczelności komory paleniskowej”. Zdanie powinno brzmieć chyba: „W atmosferze O₂/CO₂, przy założeniu braku obecności azotu (np. z nieszczelności) nie następuje tworzenie tlenków azotu wg mechanizmu Zeldovich'a” – w innym przypadku pomiędzy przywołanymi zdaniami zachodzi sprzeczność - jeżeli „nie występuje mechanizm termiczny” to jak może dochodzić do redukowania NO_x według mechanizmu Zeldovich'a, który ma charakter termiczny? Proszę Doktoranta o komentarz w tej sprawie
- str. 30: w analizie wpływu spalania tlenowego na konwersję tlenków azotu powinna znaleźć się informacja nt. oddziaływania CO₂ na mechanizm tworzenia/eliminacji rodników H, a przez to oddziaływanie na tworzenie/eliminację rodników O, które bezpośrednio oddziałują na konwersję tlenków azotu.

- str. 32: Doktorant pisze, iż „Wymieniona już powyżej temperatura spalania uznawana jest za główny parametr decydujący o formowaniu się SO_2 bądź SO_3 ” a na stronie poprzedniej „Zawartość siarki w paliwie jest głównym parametrem wpływającym na końcową emisję tlenków siarki z bloków pyłowych” Który więc, z wymienionych czynników jest dominujący? Proszę Doktoranta o komentarz w tej sprawie
- Str. 36: „Emisja rtęci i innych metali ciężkich z elektrowni konwencjonalnych, które **nie wpływają** bezpośrednio na lokalne środowisko, staje się ważnym tematem”. Czy faktycznie „nie wpływają”, a jeżeli „nie” to dlaczego są tak ważnym tematem? Proszę Doktoranta o komentarz w tej sprawie
- str. 64: „Wzrost reaktywności wynika z większej powierzchni właściwej pozostałości kokosowej „wilgotnego” węgla niż „suchego”. Zwiększenie powierzchni właściwej wynika z tworzenia się rozbudowanej struktury porowatej w czasie odprowadzania kapilarnej wilgoci z wnętrza cząstek węgla.”, str. 62: „Gdy zmiana rozmiaru cząstek popiołu jest niewielka w stosunku do rozmiaru początkowego ziarna pyłu węglowego oznacza to, że cząstki w procesie spalania **zwiększają swoją powierzchnię właściwą** tworząc pory w całej objętości. (...) W dalszych fazach spalania można mówić o **silnie rozwiniętej powierzchni** cząstek, która może wpływać np.: na stosunkowo większą redukcję tlenków azotu na powierzchni karbonizatu, lub łatwiejszą retencję par rtęci na popiele.” Czy w pracy realizowano badania powierzchni właściwej (np. metodą BET) lub czy znane są doniesienia literaturowe w tym zakresie? Proszę Doktoranta o komentarz w tej sprawie
- str. 65 z jaką prędkością (szacunkowo) nagrzewane były cząstki paliwa w reaktorze? Należałoby to określić dla pewności, czy faktycznie miała miejsce szybka piroliza (10-200 K/s). Proszę Doktoranta o komentarz w tej sprawie
- str. 67: „Tym samym obniżenie zawartości wilgoci z poziomu 15% do poziomu 7% pozwala uzyskać więcej związków azotu w fazie gazowej i zwiększyć skuteczność ich redukcji do N_2 w kolejnych fazach spalania”. Ten wniosek wymagałby uściślenia. Przecież „pozostanie azotu w paliwie” zwiększa szansę redukcji związków (w tym NO) na powierzchni karbonizatu. Skoro następuje zwiększenie ilości związków azotu to jak można spodziewać się zwiększenie skuteczności ich redukcji? Można jednakże wyobrazić sobie, iż tworzące się związki prekursorowe NO, to znaczy HCN i NH_3 redukują się do N_2 w strefach bogatych w związki redukcyjne (np. strefa reburningu). Należałoby jednak uściślić taki wariant. Podsumowując nie zawsze „zwiększenie związków azotu w fazie gazowej pozwala zwiększyć skuteczność ich redukcji do N_2 ”. Proszę Doktoranta o komentarz w tej sprawie
- str. 77: Doktorant pisze „Większy udział TFNratio zdecydowanie widoczny jest w atmosferach N_2 ”, a nieco dalej „Mimo podobnych wartości TFN w atmosferach CO_2 i N_2 dla badanego suchego węgla...”. Proszę Doktoranta o komentarz w tej sprawie
- str. 86: „Redukcja następuje na podstawie następujących mechanizmów: zmniejszenie udziału tlenu w strumieniu pierwotnym ogranicza powstawanie NO; zmiana temperatury w strefie płomienia; więcej wydzielonych części lotnych z Npaliwowego; zwiększenie udziału reakcji zgazowania”. Tę listę należałoby raczej określić mianem „czynników”, a nie „mechanizmów”. Dodatkowo, wśród wymienionych czynników determinujących konwersję azotu brakuje istotnego wpływu obecności CO_2 na mechanizm konwersji rodników O/H, a przez to na wpływających na konwersję NO – por. np. Toftegaard M. B.,

Brix J., Jensen P. A., Glarborg P., Jensen A. D., “*Oxy-fuel combustion of solid fuels*”, Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 36, str. 581-625, 2010

- str. 85: czy pozycja literatury [109] dotyczyła wyników badań konwersji siarki w popiele? Proszę Doktoranta o komentarz w tej sprawie
- bardzo istotnym parametrem w przypadku spalania tlenowego jest emisja tlenku węgla CO. Jeżeli Doktorant dysponuje pomiarami tego parametru to wskazane byłoby ich skomentowanie (na str. 80 wspomina się o pomiarach CO, ale ich wyniki nie są zaprezentowane). Proszę Doktoranta o komentarz w tej sprawie
- rys. 5.6 i inne wykresy „słupkowe” – dobrze byłoby uwzględnić na nich również „słupki błędów” oraz przedstawić analizę niepewności pomiarowej
- Doktorant używa określeń „współczynnik nadmiaru powietrza” i „współczynnik nadmiaru utleniacza” definiując je na str. 53 ; czy zatem określenie „współczynnik nadmiaru tlenu” (np. str. 80, 81, 85) to przejęzyczenie czy tym wskaźnikiem oznaczono inny parametr a jeżeli tak to jak jest on definiowany? Proszę Doktoranta o komentarz w tej sprawie
- przygotowując przyszłe publikacje z zakresu rozprawy doktorskiej proponuję szerzej omówić zjawisko tzw. „auto-odsiarczania” (ang. *self sulphur-retention*), które również determinuje wpływ właściwości paliwa (część palna i część mineralna) na konwersję związków siarki – Doktorant zresztą wspomina o tym zjawisku na str. 36, aczkolwiek nie przywołuje żadnego źródła literatury. Dodatkowo sugeruję w przyszłych publikacjach dokonać wprost porównania wyników uzyskanych w badaniach własnych oraz wyników uzyskanych przez innych badaczy.

Prezentuję opinię, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Michała Ostrycharczyka opisująca bogate wyniki badań eksperymentalnych procesu spalania węgla brunatnego o zmiennej wilgotności i przy zmiennym składzie utleniacza dostarcza istotnej wiedzy w zakresie warunków najbardziej efektywnego pod względem środowiskowym wdrożenia spalania tlenowego tego paliwa dla krajowych zasobów węgla brunatnego.

Zdecydowanie opowiadam się za dalszym rozwojem prac badawczych w tym zakresie, w celu doprowadzenia do pełnoskalowej weryfikacji możliwości wdrożenia i zastosowania w warunkach krajowych technologii spalania tlenowego krajowych zasobów węgla brunatnych ale także kamiennych.

4.3 Oryginalność i główne walory rozprawy

Doktorant realizując szeroki zakres badań i analiz wykazał wpływ składu atmosfery modyfikowanej O_2/CO_2 procesu spalania tlenowego oraz zawartości wilgoci w paliwie na wielkość gazowej emisji substancji szkodliwych do atmosfery a także zawartość części palnych w popiele lotnym. Zakres zrealizowanych prac stanowi oryginalny dorobek Doktoranta a **wyniki uzyskane w trakcie realizacji pracy dostarczają ważnych wniosków, które mogą być przydatne na etapie wdrażania technologii spalania węgla brunatnego w technologii pyłowej uwzględniającej węzeł przygotowania (podsuszania) paliwa.**

Do głównych walorów rozprawy niewątpliwie zaliczyć można kompleksowe podejście analityczne i badawcze skutkujące bardzo dużą liczbą przeprowadzonych eksperymentów i szero-

kim zakresem istotnych spostrzeżeń i wniosków składający się na bardzo obszerny ale spójny materiał badawczy.

Uzyskane wyniki mają znaczenie nie tylko naukowe ale również cenne są z punktu widzenia projektowego w przyszłych pracach wdrożeniowych poświęconych technologii spalania tlenowego w technologii spalania pyłowego.

4. Wnioski końcowe

Na podstawie przedstawionej mi do recenzji rozprawy doktorskiej, biorąc pod uwagę przedstawione wcześniej uwagi i spostrzeżenia **stwierdzam, że przedstawiona przez Pana mgr inż. Michała Ostrycharczyka rozprawa, prezentująca warunki najbardziej efektywnego pod względem środowiskowym wdrożenia spalania tlenowego węgla brunatnego w technologii spalania pyłowego**

spełnia w całości wymogi przywołanej na wstępie ustawy „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki”.

Doktorant przedstawił w niej oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną a także umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Wobec powyższych faktów stawiam przed Radą Wydziału Mechaniczno – Energetycznego Politechniki Wrocławskiej wniosek o dopuszczenie przedmiotowej rozprawy do publicznej obrony.

Zabrze, 13 lipca 2016 roku.



Uwagi o charakterze edycyjnym i stylistycznym:

1. Str. 4: „Ministerstwo Gospodarki” a nie „ministerstwo gospodarki”.
2. Str. 5: dopełniacz słowa „cel” to „celów” a nie „celi”.
3. Str. 5: stwierdzenie „*Obecne cele polityki zarówno energetycznej jak i klimatycznej pozwalają uzyskać szeroko rozumiane bezpieczeństwo energetyczne.*” jest niepoprawne pod względem stylistycznym.
4. Str. 7: zdanie: „*Ze społecznego punktu widzenia dynamika wzrostu ceny energii elektrycznej jest pozytywna ponieważ ma trend spadkowy [7]*” jest niezrozumiałe.
5. Str. 6: złożone „Złoczew” nie jest jeszcze zagospodarowane.
6. Str. 6: powinno być: „ (...) z emisją ditlenku węgla (...)”
7. Str. 6: powinno być: „ (...) stanowiło podstawę do realizacji części badań, które są (...)”
8. Str. 6: powinno być „*Produkcja energii z tych surowców wynosiła w 2... roku (...)*”
9. Str. 6: zdanie „*Wiadomo jest, że zasoby odkrywki są ograniczone...*” brzmi zbyt kolokwialnie.
10. Str. 6: powinno być „*Tutaj złożone podzielone jest na kilka odkrywek gdzie eksploatowane są trzy obszary (pola): Józwin IIB, Drzewce i Tomiszawice*”
11. Str. 6: powinno być raczej „*Ta najstarsza z kopalń ma zdolność 15 mln Mg/rok [5], a zainstalowane w niej bloki energetyczne w Elektrowni Turów dysponują mocą 1498,8 MW*”. Należałoby też wyjaśnić o jaką moc chodzi (termiczną czy elektryczną).
12. Str. 7: zdanie „*Do wydobycia jest około 450 mln Mg [5], które charakteryzuje się lepszymi parametrami niż eksploatowane złożone bełchatowskie*” jest niejasne. Prawdopodobnie Doktorant miał na myśli „złożone” (ciągłość logiczna z zdania poprzedniego), a nie „wydobycie”.
13. Str. 7: w podpisie do rysunku 1.1 należy ustalić nr pozycji literatury.
14. Str. 8: brak przecinka w zdaniu „*Jednakże problemem w wykorzystaniu tych złóż węgla brunatnego w Polsce w okręgu Legnica jest istniejący plan zagospodarowania terenu, w którym przewidziano budowę autostrady S3.*”
15. Str. 10: w zdaniu „*Protokół z Kioto jest przykładem ponad narodowego prawa regulującego (...)*” powinno „*ponadnarodowego*” (tj. pisane łącznie)
16. Str. 10: w zdaniu „*Aktualna antropogeniczna emisja CO₂ to ok 36 mld ton rocznie*” powinno być podane źródło tej informacji
17. Str. 10: „*Zdania naukowców w tym temacie są podzielone*” - to znaczy, jakie koncepcje zakładają wspomniani naukowcy? Należałoby przeprowadzić krótką dyskusję na temat proponowanych teorii wpływu wzrostu emisji na wzrost średniej temperatury na Ziemi. Można przedstawić też ujęcia alternatywne (tzn. wzrost udziału CO₂ wynika ze wzrostu temperatury na Ziemi wynikający z innych czynników np. zmiany aktywności słońca)
18. Str. 10: „*Protokół stoi u podstaw ochrony atmosfery ziemi*”. Zdanie to jest trochę niezrozumiałe i zawiera błąd ortograficzny (Powinno być „*Ziemi*”).
19. Str. 11: „*W znacznym stopniu przyczyniła się do projektu Europa, gdzie poszczególne państwa (...)*” to zdanie jest niejasne. O jaki projekt chodzi?
20. Str. 11 „*Dlatego ważny jest rozwój czystych technologii węglowych (wychwytywanie CO₂ z procesów spalania przed wyemitowaniem do atmosfery, Carbon Capture and Storage – CCS), które mogą być także zasilane węglem*”. Czy mogłyby być zasilane innym niż węgiel paliwem?

21. Str. 14: „(...) Do badań wybrano wykonanie szczegółowych analiz (...)” – niepoprawne pod względem stylistycznym.
22. Str. 16: określenie „Technologia OFC (Oxy-Fuel Combustion) należy do jednej z trzech technologii CCS o zerowej emisji CO₂” jest uproszczeniem myślowym, technologia spalania tlenowego wiąże się przecież z emisją CO₂, tyle że nakłady inwestycyjne i koszty eksploatacyjne związane z usunięciem CO₂ są niższe w porównaniu do innych analizowanych technologii „czystego węgla”.
23. Str 16: co oznacza indeks RFG przy symbolu „m” w zależności (3.1)?
24. Str. 18 Rys. 3.2.: od strony formalnej - dobrze byłoby uzyskać zgodę na użycie rysunku (grafiki). W przypadku wydawnictwa Elsevier (poz. [23] literatury, czasopiśmo Proceedings of the Combustion Institute) zgoda ta może być uzyskana w sposób automatyczny (zakładka *Get rights and content*) i najprawdopodobniej bezkosztowo. Co więcej, wspomniany rysunek pochodzi z innego źródła t.j. Chen L, Yong SZ, Ghoniem AF. Oxy-fuel combustion of pulverized coal: Characterization, fundamentals, stabilization and CFD modeling. Progress in Energy and Combustion Science, 2012;38(2):156-214; czyli pozycji [24], a nie jak zaznaczono poz. [23].
25. Str. 22: nie jest do końca jasne, dlaczego do zalet spalania tlenowego zalicza się „znajomość podstaw technologii spalania”
26. Str. 23: zamiast „Anderson zaprezentował wyniki badań doświadczalnych (...)” powinno być „Anderson i współpracownicy...”
27. Str. 23: „Cząstki stałe odpowiadają za około 60-70% strumienia ciepła przekazanego przez radiację (...)” - powinno być tutaj podane źródło tej informacji.
28. Str. 27 zdanie „(...) wskazuje się na konieczność badania ścieżek konwersji N-paliwowego z koksu do NO (...)” powinno brzmieć: „ (...) wskazuje się na konieczność badania mechanizmu konwersji N-paliwowego z koksu do NO (...)”
29. Str. 27 zdanie „A dodatkowo z mechanizmu paliwowego od 15 do nawet 100 % tworzony jest związek NO” jest wyrwane z kontekstu i trudne do zrozumienia.
30. Str. 59: pojawia się niepotrzebne powtórzenie „węgla kamiennego W.K.J.”
31. Str. 88: rys. 5.19 zawiera bardzo interesujące dane, aczkolwiek w tekście brak jest bezpośrednio odniesienia do tego rysunku.
32. Str. 97: w opisie Rys. 5.27 „Zawartość rtęci i siarki w dostępnych brunatnych” na końcu zabrakło chyba słowa „węglach”.
33. W formie zapisów wyliczeń na końcu każdej z pozycji w niektórych przypadkach Doktorant niepotrzebnie używa przecinków bądź średników (np. str. 5). Jeżeli elementem wprowadzającym do kolejnych pozycji wyliczenia są znaki graficzne (myślnik, kropka, kwadrat etc.), przecinki na końcu zdania są zbędne jako że elementy te są wystarczająco silnym znakiem rozdzielającym (stanowisko Rady Języka Polskiego). Całość natomiast wyliczenia powinna być zamknięta kropką.
34. Należy unikać rozpoczynania zdań literą „a” (np. wiersz 7 str. 43, oraz słowem „przez” (wiersz 26 str. 4).
35. Zamiast określenia „koks” w odniesieniu do pozostałości koksowej z procesu pirolizy sugerowałbym stosować pojęcie „karbonizat”.

Proszę, aby Autor nie ustosunkowywał się do powyższych uwag (1-35) w trakcie obrony, lecz ewentualnie uwzględnił je w przyszłych publikacjach.