

Imię i nazwisko doktoranta: Konrad Babul

Tytuł rozprawy doktorskiej: „Zapłon pyłu węglowego i paliw alternatywnych w atmosferze wzbogaconej w tlen.”

Promotor: prof. dr hab. inż. Wiesław Rybak

Recenzent: dr hab. inż. Dorota Nowak-Woźny

1. Wartość naukowa rozprawy

1.1. Oryginalność badań:

Podjęta przez Doktoranta tematyka ma duże znaczenie poznawcze i praktyczne. Stanowi istotne uzupełnienie stanu wiedzy w zakresie podatności paliw stałych do zapłonu w atmosferze wzbogaconej w tlen, a w szczególności w zakresie oddziaływania składu atmosfery utleniającej na zapłon pojedynczej cząstki paliwa i chmury pyłowej. Jest to bardzo istotny kierunek badań, ponieważ brak jest jednoznacznego określenia mechanizmów inicjowania zapłonu zarówno pojedynczej cząstki paliwa jak i chmury pyłowo-gazowej a badania dotyczące biomasy są bardzo ubogie.

Uzupełnienie stanu wiedzy z zakresu spalania pyłu węglowego ma duże znaczenie praktyczne ze względu na przeniesienie technologii spalania w atmosferze wzbogaconej w tlen ze skali laboratoryjnej i półtechnicznej na pełną skalę przemysłową, co z kolei jest istotne ze względu na konieczność ograniczenia emisji CO₂ do atmosfery.

1.2. Wartość naukowa rozdziałów:

W rozdziałach 1÷3 Doktorant przedstawił bogaty przegląd literaturowy prezentujący istniejący stan wiedzy dotyczący zjawiska zapłonu, wyszczególniając zagadnienia wymagające dalszych prac badawczych oraz analizy teoretycznej. Doktorant wykazał się dużym stopniem zaawansowania wiedzy teoretycznej i bardzo dobrą znajomością literatury z zakresu stabilności płomienia a także zapłonu w atmosferze wzbogaconej w tlen.

Rozdział 4 zawiera jasne, logiczne i czytelne przedstawienie zakresu pracy i zakresu badań oraz sformułowanie celów pracy (1 główny, 2 szczegółowe) - wpisujące się w zagadnienia wskazane w przeglądzie literaturowym do uzupełnienia a także tezę pracy adekwatną do tytułu rozprawy doktorskiej.

W rozdziale 5 Autor przedstawia analizę właściwości paliw i atmosfery utleniającej Oxy-fuel, w szczególności:

- uzasadnienie wyboru materiału badawczego: (4 węgle brunatne, 3 kamienne, 1 antracytowy, 5 biomas) głównie w kategoriach potencjału wykorzystania do celów energetycznych i spalania w warunkach Oxy-fuel ale także w kategoriach dostępności, stopnia uwęglenia i znaczenia handlowego,
- analizę techniczną i elementarną wybranych paliw pokazującą trafność wyboru paliw także pod względem szerokiego zakresu zmienności składu i właściwości fizykochemicznych,

- analizę bilansową 4 układów procesowych (spalanie konwencjonalne w powietrzu, spalanie oxy-fuel sucha i mokra recyrkulacja spalin oraz spalanie ciśnieniowe oxy-fuel z mokra recyrkulacją spalin) jako podstawę do określenia adiabatycznej temperatury spalania określonej metodą równowag termodynamicznych układów wieloskładnikowych (FactSage),
 - określenie wpływu zawartości tlenu w atmosferze Oxy-fuel na adiabatyczną temperaturę spalania. Rozdziały 6 i 7 dotyczą zapłonu pojedynczej cząstki w warunkach atmosfery Oxy-fuel, w szczególności zawierają:
 - szczegółowy opis metodyki badawczej,
 - analizę kształtu pojedynczej cząstki paliwa dla mnofrakcji z przedziału $90\div 100\mu\text{m}$,
 - badania minimalnej temperatury zapłonu pojedynczej cząstki paliwa w zależności od zawartości tlenu w atmosferze O_2/N_2 i O_2/CO_2 , które pokazały, że uzyskanie minimalnej temperatury zapłonu w atmosferze O_2/CO_2 takiej jak w powietrzu wymaga wzbogacenia atmosfery utleniającej w tlen, przy czym poziom tego wzbogacenia silnie zależy od właściwości paliwa,
 - badania pierwotnego mechanizmu zapłonu pojedynczej cząstki oraz analizę otrzymanych rezultatów wskazującą na zależność mechanizmu zapłonu zarówno od atmosfery utleniającej jak i od właściwości paliwa,
- zastosowanie techniki TGA i DSC do interpretacji wyników badań zapłonu pojedynczej cząstki badanych paliw.

Rozdział 8 dotyczy bardziej złożonego i zbliżonego do rzeczywistości przypadku zapłonu chmury pyłowej i porównania z zapłonem pojedynczej cząstki paliwa. Doktorant, badając temperaturę i czas indukcji zapłonu dla węgla brunatnego, kamiennego i biomasy drzewnej w atmosferze powietrza oraz dla węgla brunatnego w atmosferze O_2/CO_2 (30/70%), stwierdził że wzrost stężenia tlenu w atmosferze utleniającej powoduje obniżenie temperatury zapłonu.

W rozdziale 9 Doktorant przedstawił zagadnienie niezwykle istotne w ocenie stabilności płomienia pyłowego, a mianowicie prędkość propagacji płomienia mieszanki pyłowo-gazowej dla węgla kamiennego i brunatnego dla przepływu turbulентnego, pokazując jej znacząco niższą wartość w przypadku atmosfery O_2/CO_2 niż O_2/N_2 .

Rozdział 10 dotyczy badań, w skali półtechnicznej, propagacji płomienia pyłowego za palnikiem wirowym o mocy 400 kW w atmosferze Oxy-fuel. Doktorant pokazał zależność formowania się płomienia pyłowego od kąta łopatek zawirowywacza, mocy cieplnej palnika, współczynnika nadmiaru powietrza i dynamiki jego przepływu, strumienia masy pyłu i stopnia jego przemiału, temperatury powietrza i ścianek komory dyfuzorowej.

W rozdziale 11 Autor, podsumowując zaprezentowane badania, sformułował wnioski istotne pod względem poznawczym.

2. Wartość merytoryczna rozprawy:

Analizując rozprawę doktorską pt. „Zapłon pyłu węglowego i paliw alternatywnych w atmosferze wzbogaconej w tlen.” stwierdzam, że:

- a) tematyka pracy jest aktualna i wpisuje się w strategię rozwoju energetyki niskoemisyjnej, a otrzymane przez Doktoranta rezultaty mają duże znaczenie praktyczne dla nowej technologii Oxy-fuel. Praca została wykonana w ramach programu strategicznego „*Opracowanie technologii spalania tlenowego dla kotłów pyłowych i fluidalnych zintegrowanych z wychwytem CO_2* ”,
- b) Doktorant wykonał szczegółowy i szeroki przegląd aktualnej literatury wskazując braki i niejasności w dotychczasowych badaniach; zakres pracy został określony adekwatnie do braków i niejasności w danych literaturowych a cele pracy i jej teza zostały sformułowane jasno i logicznie,

- c) do badań eksperymentalnych Doktorant dobrał i zastosował duży i złożony warsztat badawczo-aparaturowy - zarówno w skali laboratoryjnej jak i pilotowej a wyniki tych badań zostały zaprezentowane w sposób czytelny, logiczny i spójny,
- d) cele pracy zostały osiągnięte a droga prowadząca do ich osiągnięcia była jasna, logiczna i poprawna od strony eksperymentatorskiej,
- e) weryfikacja tezy pracy została przeprowadzona prawidłowo,
- f) praca zawiera obszerny i interesujący materiał badawczy poparty licznymi publikacjami doktoranta,
- g) dyskusja i analiza krytyczna otrzymanych przez doktoranta rezultatów, została wykonana w odniesieniu do literatury przedmiotu,
- h) ważnym ze względów praktycznych było przeprowadzenie badań w skali pilotowej w czasie rocznego pobytu Doktoranta na Brandenburskim Uniwersytecie Technicznym - otrzymane wyniki mają bezpośrednie przełożenie praktyczne.

3. Poprawność redakcyjna rozprawy

Układ prezentowanej rozprawy doktorskiej jest poprawny i logiczny. Autor, stosując jasny i poprawny styl, płynnie przechodzi od przeglądu stanu wiedzy z zakresu dotyczącego rozprawy, poprzez jasne i czytelne sformułowanie zakresu, celów i tezy pracy, do opisu technik badawczych, opisu wyników eksperymentów oraz dyskusji otrzymanych rezultatów oraz wniosków końcowych. Odwołania literaturowe, sposób numeracji i odwołań w tekście rysunków, tabel i wzorów jest czytelny. Szata graficzna recenzowanej rozprawy podkreśla jej uporządkowany i przemyślany charakter. W pracy zauważono drobne nieprawidłowości takie jak:

- rozdział 6.1.2 str 65 - w tekście jest „Rys.7.6” a powinien być „Rys.6.6”,
- brak wyjaśnienia dlaczego część wyników przedstawionych na rysunku 6.11 (str 79) obejmuje zakres stężenia tlenu w atmosferze O_2/CO_2 wynoszący 5-50% a część tylko 15-40%,
- rysunki 7.8-7.11 str.109-111: nie jest jasne które krzywe opisane są przez lewą a które przez prawą oś pionową,
- rysunki 7.18-7.20 – skala pionowa dobrana przez autora niepotrzebnie „spłaszcza” przedstawione zależności.

4. Uwagi krytyczne i pytania

Recenzowana rozprawa doktorska zawiera kilka niejasności przedstawionych jako uwagi krytyczne i pytania.

- 4.1. W rozdziale 5.3.1. autor wyznacza adiabatyczną temperaturę spalania stosując symulacje termochemiczne niedostatecznie wyjaśniając metodę.
- 4.2. W rozdziale 5.3.2 autor nieprecyzyjnie sformułowała wniosek: „*dla zachowania podobnych warunków wymiany ciepła w kotle, których wyznacznikiem może być identyczna adiabatyczna temperatura spalania w atmosferze powietrza oraz Oxy-fuel, stężenie tlenu w przypadku atmosfery reakcyjnej Oxy-fuel powinno być znacznie wyższe niż 21%*”; podczas gdy wyniki wyliczeń zawartości tlenu mieszczą się jedynie w zakresie od 26,4 do 34%.

- 4.3. Rozdział 6.1.2 str.67- czy przyjęcie dokładności wyznaczenia temperatury zapłonu na poziomie 0,5 deg nie jest zbyt optymistyczne ze względu na niejednorodność temperatury w komorze i niejednorodność badanego paliwa?
- 4.4. Rozdział 6.2.2 rysunek 6.9 na str. 74– czy niewielkie różnice pomiędzy minimalnymi temperaturami zapłonu w atmosferze O₂/N₂ i O₂/CO₂ mogą być wynikiem niejednorodności paliwa i niepewności pomiarowych? To samo pytanie dotyczy wyników przedstawionych na rysunkach 8.6 i 8.7.
- 4.5. Rysunek 8.3 str.125 został zamieszczony w tekście, jak pisze autor po to „*aby sprawdzić, czy w warunkach zapłonu chmury pyłowo-gazowej występują podobne mechanizmy zapłonu, jak w przypadku pojedynczej cząstki*” –w tekście brak jest próby interpretacji wyników w oparciu o teorię zapłonu cieplnego.
- 4.6. Dlaczego do badań wpływu atmosfery utleniającej na temperaturę zapłonu chmury pyłowej (rozdział 8) wybrano tylko węgiel brunatny?
- 4.7. W rozdziale 9.2 wyniki badań prędkości propagacji płomienia zostały przedstawione na rysunkach 9.2 i 9.3 oraz opisane w tekście. Interesujące byłoby uzupełnienie interpretacji tych wyników o wyjaśnienie przyczyny wpływu atmosfery na szybkość propagacji płomienia.

5. Ocena końcowa:

Recenzowaną rozprawę doktorską **mgr inż. Konrada Babula** oceniam bardzo wysoko pod względem naukowym i praktycznym (wyszczególnione uwagi krytyczne i pytania nie umniejszają jej wartości jako całości) oraz stwierdzam, że spełnia ona warunki określone w art. 13.1 Ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Wniosuję do Rady Wydziału Mechaniczno-Energetycznego Politechniki Wrocławskiej o dopuszczenie **mgr inż. Konrada Babula** do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

podpis recenzenta

07.05.2018

Data sporządzenia recenzji


Dorota Nowak - Woźny