

prof. dr hab. inż. Tomasz Czakiert
Politechnika Częstochowska
Wydział Infrastruktury i Środowiska
Katedra Zaawansowanych Technologii Energetycznych
ul. Dąbrowskiego 73, 42-201 Częstochowa
tel.: 608 089 178, e-mail: tczakiert@is.pcz.pl

Częstochowa, 26.06.2023 r.

Szanowny Pan
Dr hab. inż. Robert Król, Prof. Uczelni
Przewodniczący Rady Dyscypliny Naukowej
Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka
Politechnika Wrocławska
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Jean-Marca Fąfary

1. Wprowadzenie

Niniejsza recenzja została sporządzona w odpowiedzi na pismo Nr W9/PW/368/2023 z dnia 23 maja 2023 roku.

2. Zakres rozprawy

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Jean-Marca Fąfary nosi tytuł „Wewnętrzny układ recyrkulacji spalin w mikroturbinach gazowych jako metoda do współspalania paliw ze zwiększonym udziałem wodoru”. Praca została wykonana na Wydziale Mechaniczno-Energetycznym Politechniki Wrocławskiej pod kierunkiem promotora dr hab. inż. Norberta Modlińskiego.

Praca liczy ogółem 233 strony, włączając spis literatury w ilości 103 pozycji (w tym 1 pozycję której Doktorant jest współautorem) oraz 61 stronicowy załącznik. Zebrany materiał rozdzielono pomiędzy 4 główne rozdziały, poprzedzone streszczeniem w języku polskim i angielskim, a zakończone rozbudowanym podsumowaniem.

Rozdział 1 jest owocem gruntownie przeprowadzonego przeglądu literatury w tematyce opiniowanej rozprawy. Autor przekonuje tu o dużym potencjale wodoru jako ekologicznie czystego paliwa, możliwego do zastosowania między innymi w mikroturbinach gazowych, a wszystko to w kontekście aktualnie szeroko dyskutowanej idei Power to Gas. Przedstawia zalety analizowanej koncepcji, wskazując jednocześnie na swoiste zagrożenia i ograniczenia, a także wyzwania, które następnie w pewnym zakresie stają się przedmiotem prowadzonych badań. Ostatecznie koncentruje się na wykorzystaniu paliwa metanowego wzbogaconego wodorem, poszukując optymalnych rozwiązań konstrukcyjnych dla takiej aplikacji. Ma przy tym pełną świadomość znaczenia właściwej organizacji recyrkulacji gazów spalinowych.

W podsumowaniu tej części pracy Doktorant prezentuje założone hipotezy oraz cel i zakres badań, które wynikają bezpośrednio z sumiennie przeprowadzonego przeglądu branżowego piśmiennictwa. Cel pracy zawiera zarówno ładunek naukowości, jak również nosi znamiona użyteczności, natomiast zakres zaplanowanych do wykonania czynności jest wystarczający do jego osiągnięcia.

Rozdział 2 łącznie z Załącznikiem A zawierają z kolei uzasadnienie dla przyjętej konstrukcji i złożonych parametrów pracy dyfuzyjnej komory spalania analizowanej mikroturbiny gazowej.

W rozdziale 3 Doktorant prezentuje doskonale opanowany warsztat pracy, który następnie zostanie umiejętnie wykorzystanych podczas realizacji badań numerycznych oraz analizy uzyskanych wyników symulacji (Ansys Fluent). Autor przedstawia tu uzasadnienie dla dokonanego wyboru modeli obliczeniowych w zakresie przepływu płynów, wymiany ciepła oraz chemizmu analizowanego procesu. Określa tu także domenę obliczeniową dla której buduje siatkę numeryczną i definiuje warunki brzegowe. Na koniec przechodzi płynnie do omówienia kwestii technicznych związanych z zastosowaniem kolejnego narzędzia (Ansys Chemkin) oraz wytypowanych modeli użytych do oszacowania prędkości spalania gazu doprowadzanego do rozważanego reaktora.

W ramach kolejnego rozdziału 4 Autor konsekwentnie, krok po kroku opisuje realizację założonego programu badawczego. Wykorzystując omówione wcześniej metody obliczeniowe podejmuje próbę rozwiązania dyskutowanego w pracy problemu naukowego. Przeprowadzone symulacje CFD pozwalają na określenie i przeanalizowanie takich parametrów procesowych jak spadek ciśnienia i temperatura ośrodka oraz wartości stężeń wybranych składników gazów spalinowych. Tutaj też dochodzi do ostatecznego doprecyzowania stopnia recyrkulacji zwracanych spalin. Z kolei uzyskane wyniki badań numerycznych dotyczących prędkości spalania rozważanej mieszaniny paliwowo-powietrznej w stopniu więcej niż zadawalającym korelują z wynikami doświadczeń eksperymentalnych prezentowanymi w dostępnej literaturze przedmiotu.

Ostatecznie, kilkunastokrotne podsumowanie przynosi odpowiedzi na wszystkie postawione w pracy pytania. W tym punkcie, wzorem rozdziału 1, Doktorant odważnie konfrontuje

wyniki swoich badań z założonymi na wstępie hipotezami, nadając jednocześnie całej swojej pracy dużej wiarygodności.

Dysertację kończy obszerne podsumowanie, zawierając wnioski końcowe oraz wynikające z nich dalsze plany naukowe Autora ocenianej rozprawy doktorskiej.

3. Ocena rozprawy

Dyskutowane w ramach opiniowanej rozprawy rozwiązanie łączy w sobie produkcję CH_4 i H_2 bazującą na wykorzystaniu energii odnawialnej – co wpisuje się w ogólne założenia koncepcji Power to Gas, z eksploatacją turbin gazowych do celów energetycznych. Obiektem badań Doktoranta jest bowiem mikroturbina zasilana metanem, natomiast wykonane symulacje numeryczne prowadzone były w kierunku możliwości wzbogacania wodorem spalane go gazu. Proponowany układ wewnętrznej recyrkulacji spalin ma z kolei za zadanie zapewnienie stałych warunków pracy urządzenia przy zmiennym składzie doprowadzanego paliwa. Wszystko to świadczy o znajomości aktualnych zagadnień badawczych w reprezentowanej przez Kandydata dyscyplinie naukowej.

Przedłożoną do oceny pracę w całości oceniam bardzo wysoko. Na etapie jej lektury nasuwały się jednak pewne pytania, uwagi i komentarze, które w kolejności chronologicznej zostały spisane poniżej.

1. *Struktura pracy*: Moim zdaniem podrozdział I.7.c zawierający tezy, cel i zakres pracy powinien zostać wyodrębniony jako jeden z głównych rozdziałów dysertacji, w tym przypadku rozdział II.

Podobna uwaga, w kontekście podsumowania całej rozprawy, dotyczy podrozdziału IV.4.

2. *Rozdział 1*: Rysunki powinny być opracowane w języku polskim.

Napotkać można na pewne powtórzenia oraz przejęzyczenia (które w przypadku Autora tej pracy należy jednak wybaczyć), przykładowo: „ H_2 jest zbudowane z dwóch pierwiastków wodoru” – str. 25, chodzi oczywiście o atomy wodoru; „emisyjność tlenków azotu” w znaczeniu stężenia NO_x w spalinach, a nie właściwości radiacyjnych tych gazów; „pochłaniacz CO_2 ” – str. 45, w rozumieniu absorbera tego gazu; itp.

3. *Rozdział 2*: Zabrakło objaśnienia dla wprowadzonych (na stronie 66) oznaczeń.
4. *Rozdział 3*: Czy Doktorant podejmował próby wykonania symulacji numerycznych z wykorzystaniem innych podejść i modeli, aniżeli RANS i k- ϵ , które ostatecznie Jego zdaniem okazały się nieudane bądź mało satysfakcjonujące? Czy wybór w tym zakresie, niemniej słuszny, dokonany został jedynie na podstawie przesłanek literaturowych?
– Proszę Doktoranta o krótki komentarz w tej sprawie.

5. *Rozdział 4*: W stwierdzeniu „*Wprowadzenie układu zawracania spalin zwiększyło spadek ciśnienia całkowitego nie więcej niż 0,8%*” (str. 127) chodzi raczej o punkty procentowe. W rzeczywistości obserwujemy tu wzrost wartości Δp^* o około 7 procent.

Spodziewać się można, że mechanizmy tworzenia, ewentualnie redukcji powstałych tlenków azotu mogą być w tym przypadku bardziej złożone (chodzi między innymi o interakcje pomiędzy NO_x a pozostałymi składnikami spalin oraz paliwa), na co należałoby zwrócić większą uwagę na etapie przygotowywania dalszych publikacji. Czy Doktorant dysponuje mapami innych substancji (poza NO_x i CO), które mogłyby być w takiej analizie użyteczne. – Proszę Doktoranta o krótką odpowiedź w tej sprawie.

Ostatnie pytanie bardziej z pogranicza ocenianej pracy, jak Doktorant z perspektywy swoich badań zapatruje się na zastosowanie w mikroturbinach gazowych amoniaku jako nośnika wodoru – Proszę Doktoranta o zajęcie stanowiska w tym temacie.

Jednocześnie pragnę podkreślić, że zamieszczone powyżej uwagi i komentarze w żaden sposób nie umniejszają wartości naukowej opiniowanej rozprawy doktorskiej.

Za kluczowe osiągnięcie Doktoranta w przedstawionej dysertacji naukowej uważam numeryczne rozwiązanie w zakresie komory spalania mikroturbiny gazowej zasilanej mieszanką metanu i wodoru z układem wewnętrznej recyrkulacji gazów spalinowych.

4. Wniosek końcowy

Przedłożona do oceny **rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie** bardzo ważnego **problemu naukowego**, jakim jest ocena możliwości zwiększenia udziału wodoru w mieszance palnej CH₄ i H₂ w związku z zastosowaniem wewnętrznej recyrkulacji spalin w komorze spalania mikroturbiny gazowej. **Doktorant wykazuje** przy tym **ogólną wiedzę teoretyczną w reprezentowanej dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej**. W mojej ocenie, przedstawiona **rozprawa doktorska spełnia warunki i wymagania stawiane przez obowiązujące ustawodawstwo** (art. 187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce – Dz.U. z 2023 r. poz. 742). Uważam również, że rozprawa doktorska mgr inż. Jean-Marca Fałary „*Wewnętrzny układ recyrkulacji spalin w mikroturbinach gazowych jako metoda do współspalania paliw ze zwiększonym udziałem wodoru*” mieści się w dyscyplinie naukowej *inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka*. W związku z powyższym **wnoszę o dopuszczenie Doktoranta do kolejnych etapów przewodu doktorskiego na Wydziale Mechaniczno-Energetycznym Politechniki Wrocławskiej.**