

Kraków dn. 31/03/2023 r.

prof. dr hab. inż. Paweł Ocoń

Katedra Energetyki,

Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

Politechnika Krakowska

Recenzja rozprawy doktorskiej pt.

Analiza wpływu zjawisk przepływowych na proces spalania nienormatywnych paliw gazowych zawierających związki azotu

autor rozprawy: mgr inż. Joanna Jójka

promotor: dr hab. inż. Rafał Ślęfarski, prof. PP

1. Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska liczy 5 rozdziałów, zawiera streszczenie w języku polskim oraz angielskim, spisy tabel, rysunków oraz bibliografii, łącznie 152 strony. Rozprawa doktorska jest związana z realizacją stypendium doktorskiego ETIUDA 7 o tytule oraz zakresie tożsamym z prezentowaną rozprawą doktorską.

W Rozdziale I przedstawiono analizę możliwości energetycznego zastosowania amoniaku oraz charakterystykę amoniaku jako paliwa alternatywnego. Rozdział zawiera krótką prezentację badanego paliwa z uwzględnieniem motywacji podjęcia tematyki badawczej i wyboru parametrów początkowych procesu spalania oraz uwypukla potrzebę wykonania dalszych badań zarówno eksperymentalnych jak i numerycznych.

Rozdział II zawiera cel oraz tezę prowadzonych badań wraz z sformułowanymi szczegółowymi celami badawczymi. Doktorantka zdefiniowała następujące cele pracy:

1. Eksperymentalne i numeryczne zbadanie wpływu wybranych parametrów początkowych procesu spalania oraz sposobu ukształtowania przepływu i stref reakcji na przebieg kinetyki utleniania i redukcji paliwowych związków azotu przy znaczącym udziale amoniaku w paliwie gazowym.

2. Określenie zakresu stosowalności wybranych mechanizmów kinetyki reakcji do modelowania procesu powstawania tlenków azotu dla rozważanych paliw i sposobów ukształtowania przepływu na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych, numerycznych oraz danych literaturowych.

Doktorantka podała również szczegółowe cele swojej pracy:

1. Identyfikacja wpływu wybranych związków palnych i inertych ($\text{NH}_3/\text{CH}_4/\text{CO}_2/\text{CO}/\text{H}_2$) na charakterystykę udziału tlenków azotu w spalinach na podstawie wstępnych badań eksperymentalnych, numerycznych oraz studium literatury.
2. Numeryczne wyznaczenie wpływu zastosowanego paliwa oraz charakterystyki przepływu ze spalaniem (płomień osiowosymetryczny i wirowy) na zawartość tlenków azotu w spalinach z wykorzystaniem wybranych mechanizmów kinetyki reakcji.
3. Eksperymentalne wyznaczenie wpływu zastosowanego paliwa oraz charakterystyki przepływu ze spalaniem (płomień osiowosymetryczny i wirowy) na udział związków toksycznych w produktach procesu spalania.
4. Wyznaczenie zakresów stosowalności wybranych mechanizmów kinetyki reakcji do modelowania emisji tlenków azotu dla rozważanych paliw o znaczącym udziale amoniaku i sposobów ukształtowania przepływu w oparciu o wyniki własnych badań eksperymentalnych i numerycznych oraz danych literaturowych.
5. Określenie zależności pomiędzy udziałem tlenków azotu w spalinach a ukształtowaniem przepływu, parametrami początkowymi procesu spalania oraz udziałem amoniaku w paliwie.

Została przedstawiona następująca teza pracy:

„istnieje zależność pomiędzy parametrami początkowymi procesu spalania, sposobem ukształtowania przepływu w strefie reakcji spalania oraz udziałem tlenków azotu w spalinach, powstałych na drodze współspalania amoniaku oraz węglowodorowych i syntetycznych paliw gazowych.”

Rozdział III przedstawia metody badawcze, z których wyszczególniono charakterystykę analizowanych parametrów procesu spalania, wykorzystane metody eksperymentalne oraz numeryczne. W podrozdziale III.3 zaprezentowane zostało stanowisko pomiarowe umożliwiające pomiary składu spalin wewnątrz komory spalania, natomiast w podrozdziale

III.4 zostały przedstawione wykorzystane mechanizmy kinetyki reakcji, sieci reaktorów oraz badane modele spalania.

W Rozdziale IV Doktorantka prezentuje wyniki badań podzielone ze względu na typ analizowanych płomieni kinetycznych. W pierwszej kolejności zaprezentowana została eksperymentalna i numeryczną analiza procesu spalania w płomieniach turbulentnych bez zawirowania, utworzonych nad wylotem z dyszy palnika o stałej średnicy przekroju. Dalsza część rozdziału skupiona jest wokół badań współspalania amoniaku w płomieniach charakteryzujących się silnym zawirowaniem przepływu.

Rozdział V to podsumowanie przeprowadzonych prac badawczych, wnioski końcowe oraz dalsze kierunki badań naukowych. Na podstawie wyników wykonanych analiz zostały określone typy czynników mających wpływ na stężenie tlenku azotu w produktach procesu spalania przy określonych zakresach zawartości amoniaku w paliwie gazowym. Największą istotnością charakteryzowały się parametry eksploatacyjne, ukształtowanie stref recyrkulacji w płomieniu wirowym oraz wpływ charakteru turbulencji na uformowany front płomienia kinetycznego.

2. Uwagi redakcyjne

a) Numeracja podrozdziałów pracy jest w mojej opinii nieprawidłowa. Np. rozdział 4:

Zamiast:

1. Analiza procesu spalania w płomieniach turbulentnych bez zawirowania

Powinno być

4.1 Analiza procesu spalania w płomieniach turbulentnych bez zawirowania

Uwaga ta dotyczy wszystkich podrozdziałów .

b) Opisy występujące na niektórych rysunkach są w części w języku polskim, a w części w języku angielskim (np. rysunek 69 oś x, rysunek 1 oś x i tytuł rysunku)

c) Występuje grupowanie odniesień literaturowych np. „Rysunek 4. Szkic koncepcyjny uzyskanych formacji przepływowych [62,63]” – która część rysunku odnosi się do pracy [62] a która do pracy [63] ?

d) W spisie oznaczeń brakuje opisu symboli np. x i y i n w równaniu nr. (3)

e) Symbole greckie oraz rzymskie powinny zostać oddzielone w spisie symboli

Natomiast powyższe uwagi nie umniejszają wartości redakcyjnej pracy, która napisana jest moim zdaniem poprawnym językiem, rysunki są starannie przygotowane i czytelne. Format pracy jest jak najbardziej prawidłowy.

3. Uwagi szczegółowe

1. Proszę określić wartości niepewności pomiaru dla wielkości przedstawionych na rysunkach 13, 14, 16 i 17.
2. Na jakiej podstawie przyjęto założenie, że $(2/3)C_{D1} \approx C_{\mu}$ w równaniu (13)?
3. Dlaczego do obliczeń przepływu wykorzystany został model turbulencji RSM Omega BSL? Czy rozważano użycie innych modeli np. SST (Shear Stress Transport), k-epsilon, k-omega?
4. Proszę o przedstawienie siatki numerycznej wykorzystanej do obliczeń przedstawionych na rysunku 18 i rysunku 20
5. Proszę o podanie wartości wielkości przedstawionych na rysunku 23 (temperatura, gęstość)
6. Co oznacza sformułowanie „Wydzielanie ciepła” – rysunek 23
7. Proszę o omówienie warunków brzegowych dla obliczeń których schemat przedstawiono na rysunku 55
8. Na rysunku 55 przedstawiono model przepływu osiowosymetrycznego, dlaczego na rysunku 56 przedstawiony jest zatem cały przekrój komory ?
9. W jakim oprogramowaniu była generowana siatka numeryczna przedstawiona na rysunku 58 ?

4. Podsumowanie osiągnięć pracy doktorskiej

Główne osiągnięcia pracy doktorskiej to:

- uzyskanie zgodności wyników badań eksperymentalnych i numerycznych. Potwierdzają one zależność udziału tlenu azotu w spalinach od: parametrów początkowych procesu spalania, sposobu ukształtowania przepływu i stref reakcji podczas spalania amoniaku oraz węglowodorowych i syntetycznych paliw gazowych
- wykonanie badań eksperymentalnych dla procesu spalania paliw gazowych ze znaczącym udziałem amoniaku.
- Wyniki badań eksperymentalnych oraz numerycznych pozwoliły na klasyfikację poszczególnych grup czynników mających wpływ na końcowy udział NO w spalinach

oraz jego lokalne stężenie. Największy wpływ na to ma przypisano parametrom początkowym procesu spalania, charakterów i turbulencji w przepływie ze spalaniem oraz ukształtowaniu charakterystycznych stref reakcji w objętości komory spalania.

- Kolejnymi czynnikami które były analizowane i mające wpływ na udział NO w spalinach była intensywności oraz skala turbulencji w przepływie ze spalaniem, wpływ ukształtowania przepływu na lokalny rozkład udziałów tlenu azotu, wybór mechanizmu kinetyki reakcji na wyznaczenie udziału NO w spalinach a także wpływ modelu spalania na przewidywanie udziału NO w przepływie.

Założona przez doktorantkę teza badawcza została potwierdzona, a cele rozprawy doktorskiej w pełni osiągnięte.

5. Wniosek końcowy

Uważam, że praca doktorska spełnia wymagania stawiane w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r. poz. 1668, późn. zm.) dlatego też rekomenduję ją do publicznej obrony. W mojej opinii praca spełnia z naddatkiem wymagania stawiane rozprawom doktorskim w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Doktorantka wykazała się znakomitą wiedzą w zakresie planowania eksperymentu badawczego oraz obliczeń numerycznych procesów spalania. Warte podkreślenia jest zwalidowanie obliczeń numerycznych zaprezentowanych w pracy doktorskiej.

Z uwagi na bardzo dobry dorobek naukowy Doktorantki w tym 8 publikacji indeksowanych w WoS (w takich czasopismach jak Fuel, Energy czy Energies) oraz udział aż w 9 projektach naukowo-badawczych wnioskuję do Rady Naukowej dyscypliny inżynieria mechaniczna o wyróżnienie rozprawy.

