Dr hab. inż. Maria Jędrusik, prof. nadzw.
Wydział Mechaniczno-Energetyczny
Katedra Termodynamiki, Teorii Maszyn i Urządzeń Cieplnych
Politechniki Wrocławskiej
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

Wrocław 17.08.2018

Recenzja
Rozprawy doktorskiej magistra inżyniera Pawła Pilarza pt.:
„Analiza numeryczna procesu redukcji tlenków azotu w technologii SCR dla bloków węglowych"

1. Podstawa opracowania i informacje ogólne

Recenzja została opracowana na podstawie umowy o dzieło nr UMC/3755/2018 zawartej w dniu 30.07.2018 r. z Politechniką Śląską. Rozprawa doktorska pt. „Analiza numeryczna procesu redukcji tlenków azotu w technologii SCR dla bloków węglowych" napisana została pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Tadeusza Chmielniaka w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Praca liczy 120 stron oraz zawiera 73 pozycje literaturowe.

2. Omówienie treści pracy

Zasadniczym celem przedstawionej dysertacji było opracowania metodologii analizy wybranych zagadnień pracy instalacji katalitycznej redukcji tlenków azotu i jej integracji z infrastrukturą kotła i bloku energetycznego. Praca zawiera 17 rozdziałów w tym spis cytowanej literatury, spis tabel i rysunków, załączniki oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

Rozdziały: 1 – *Wprowadzenie, 2 – Przegląd literatury, 3 – Cel i zakres pracy (razem 15 stron)* przedstawiają ogólny zarys problematyki związanej z zagadnieniami oddziaływania NO_x na środowisko oraz regulacje prawne w tym zakresie. Na tej podstawie został sformułowany cel i ogólny zakres pracy.

Rozdział 4 – *Mechanizm powstawania NO_x, 5 – Metody ograniczania emisji tlenków azotu (13 stron)*, Doktorant poświęca na bardzo ogólne omówienie oddziaływania tlenków azotu na środowisko naturalne oraz sposoby (metody pierwotne i wtórne) ograniczania emisji tlenków azotu z procesu spalania węgla.

Rozdział 6 – *Wpływ lokalizacji reaktora SCR na system oczyszczania spalin (2* strony), to krótki opis wpływu instalacji SCR na mokrą instalację odsiarczania spalin oraz pracę elektrofiltru.

Rozdział 7 – *Analiza wpływu parametrów spalin na proces redukcji NO_x (5 stron)*, zawiera numeryczną ocenę wpływu wybranych parametrów spalin (stężenie O_2, zawartość wilgoci oraz temperatury procesu redukcji NO_x w SCR) od stężenia NO_x na wlocie do instalacji.

Rozdział 8 – *Analiza wariantów lokalizacyjnych reaktora SCR (4 strony)*, przedstawia wyniki modelowania efektów redukcji tlenków azotu w reaktorze SCR dla różnych lokalizacji tego reaktora w ciągu przepływu spalin od kotła do komina. Rezultaty wskazują na zbliżone wartości skuteczności redukcji NO_x a zaproponowana metoda modelowania zdaniem Doktoranta może posłużyć jako element systemu kontroli eksploatacji i zużycia wkładów katalitycznych w reaktorze.

Rozdział 9 – *Analiza wpływu systemu akumulacji ciepła na emisyjność Duobloku (29 stron)*, zawiera charakterystykę Duobloku wraz z analizą wpływu zmiany obciążenia (w zakresie od 20 do 100%) na efektywność systemu redukcji NO_x, z uwzględnieniem systemu akumulacji ciepła.

Rozdział 10 – *Modelowanie numeryczne procesu katalitycznej redukcji NO_x (32 strony)*, Doktorant poświęcił na omówienie modeli obliczeniowych symulujących przepływ spalin przez reaktor SCR oraz przedstawił schemat procesu modelowania CFD dla wybranych warunków przepływowych. Analiza obejmowała wpływ geometrii kanałów (kanalików) , ich konfiguracji oraz wpływu parametrów spalin (temperatury) na redukcję tlenków azotu W rezultacie w/w badań i analiz został opracowany model reaktora SCR dla przykładowego kotła typu OP-650k. Została również przeprowadzona walidacja modelu z wykorzystaniem wyników obliczeń stężenia tlenków azotu z danymi pomiarowymi.

W rozdziale 11 – *Podsumowanie końcowe (3 strony)*, Doktorant podsumował rezultaty swojej pracy i przedstawił istotne pod względem poznawczym wnioski.

Rozdziały 12 – *Bibliografia*, 13 – *Spis tabel*, 14 – *Spis rysunków*, 15 – *Załączniki*, 16 – *Streszczenie w języku polskim*, 17 – *Streszczenie w języku angielskim*, liczą łącznie 16 stron.

3. Ocena pracy

3.1. Wybór tematyki badań

Biorąc pod uwagę standardy emisyjne dla NO_x obowiązujące dzisiaj jak i te, które będą obowiązywały w wyniku wprowadzenia konkluzji BAT należy uznać, że wybór tematyki badań jest trafny. Szczególnie jest to istotne z uwagi na fakt, że krajowa energetyka będzie musiała w najbliższym czasie (do 2030 roku) sprostać wymaganiom określonym w dyrektywie o Krajowych Pułapach Emisji (NEC).

3.2. Dobór i wykorzystanie warsztatu badawczego

Praca ma charakter analityczno-numeryczny a Doktorant starannie dobrał i wykorzystał dostępne narzędzia badawcze w tym doświadczenie Instytutu Maszyn i Urządzeń Energetycznych w modelowaniu procesów termodynamicznych za pomocą programu Ebsilon Professional. Zebrany w trakcie realizacji pracy materiał pomiarowy pozwalał na opracowanie modelu reaktora SCR oraz zrealizowanie celu pracy.

3.3. Ocena merytoryczna pracy

Głównym celem rozprawy było opracowanie metodologii analizy wybranych zagadnień pracy instalacji katalitycznej redukcji związków azotu i jej integracji z instalacją kotła i bloku energetycznego. Cel pracy został sformułowany poprawnie i odpowiada on aspektom poznawczym i utylitarnym. Biorąc powyższe pod uwagę za najważniejsze osiągnięcia Doktoranta należy uznać:

- zbadania i analizę wpływu lokalizacji instalacji SCR na skuteczność redukcji tlenków azotu,
- zbadanie i opisanie wpływu zmiany obciążenia bloku oraz obecności systemu akumulacji na emisję NO_x. Może to w przyszłości pozwolić na rozwinięcie dynamicznego modelowania pracy bloku węglowego w celu zarządzania produkcją energii elektrycznej z uwzględnieniem wskaźników emisyjnych i ekonomicznych.
- opracowanie modelu numerycznego reaktora SCR oraz jego walidację oparta o dane pomiarowe,

Reasumując, Doktorant wykazał, że opracowany przez niego model może służyć do analizy możliwości uzyskania niższych wartości emisji tlenków azotu na drodze modernizacji instalacji SCR np. poprzez dobudowę trzeciej warstwy katalizatora. Tak skonstruowany model pracy reaktora SCR może służyć do analizy wpływu wybranych działań modernizacyjnych lub eksploatacyjnych istniejącego reaktora SCR.

3.4. Uwagi krytyczne

Po zapoznaniu się treścią pracy nasunęły się następujące uwagi krytyczne:

1. Str. 33 – Doktorant pisze „Podniesienie stężenia tlenu z 3% na 6% prowadzi do wzrostu efektywności redukcji z 71% do 75,6% (o 4,6%)….." – Jak to może być zrealizowane w rzeczywistym obiekcie, jaki ma wpływ na pracę kotła i innych urządzeń np. elektrofiltrów ?
2. Str. 39 – Doktorant pisze „We wszystkich analizowanych wariantach efektywność redukcji związków azotu jest podobna" – Co oznacza „ podobna" i jeżeli tak jest to co decyduje o wyborze wariantu lokalizacyjnego ?
3. Str. 40 – Doktorant pisze o tzw. Duobloku jak o istniejącej instalacji. Aktualnie nie ma wdrożonego takiego rozwiązania i jak rozumiem wszystkie przytoczone w tym rozdziale dane są tylko wynikiem symulacji numerycznej, więc należy to wyraźnie w pracy zaznaczyć. Czy i w której części numerycznego modelowania procesu redukcji

tlenków azotu, autor wykorzystał doświadczenia z symulacji pracy Duobloku ? Ponieważ zagadnienia związane z tzw. Duoblokiem stanowią znaczną część pracy Doktorant powinien wyraźnie wskazać, które elementy tych rozwiązań mogą zostać wykorzystane jako dane (uogólnione) do analizy numerycznej procesu redukcji tlenków azotu w technologii SCR.

4. Str. 88 – Doktorant pisze „ Przeprowadzona analiza numeryczna potwierdziła wpływ parametrów brzegowych na proces redukcji NO_x ze spalin w technologii SCR" – warto napisać o jakich parametrach (warunkach ?) brzegowych jest mowa.
5. Str. 69 – W rozdziale 10 *Modelowanie numeryczne procesu katalitycznej redukcji NO_x* brakuje rysunku poglądowego reaktora SCR oraz opisu co to są kanały (kanaliki) reaktora. Szczególnie jest to istotne przy omawianiu geometrii kanału SCR (rozdział 10.4.1). Co prawda na rys. 10.14 Doktorant zamieszcza model geometryczny kanału SCR ale ten rysunek bez rysunku poglądowego reaktora SCR nie wnosi nic istotnego.

Uwagi ogólne:

- W pracy brak jest wyraźnie sformułowanej tezy, która pokazała by sposób rozumowania Doktoranta.
- Doktorant nie podał jakie są jego główne osiągnięcia, ponadto brak jest wyraźnego wskazania co stanowi oryginalne osiągnięcie Doktoranta w porównaniu do przytoczonych danych literaturowych. Pewną wskazówką są uwagi zamieszczone w rozdziale 11 – Podsumowanie końcowe, na tej podstawie wskazano w recenzji główne osiągnięcia Doktoranta.
- W rozdziale 7 pojawia się pojęcie „*kod*" – brak opisu co się pod tym kryje.
- W podsumowaniu pracy brak wyraźnego wskazania, że cel pracy został osiągnięty a teza (niestety brak) została pominięta.
- Niefortunny jest rozdział 15 – *Załączniki*, czy nie lepiej było zamieścić te informacje w pracy, w stosownym miejscu, co poprawiło by komunikatywność tekstu pracy.
- Cytowana literatura jest niezbyt precyzyjnie opisana, często brak stron artykułów a w niektórych przypadkach brak jednoznaczności źródła np. poz. nr 47, 58, 61 .

3.5. Uwagi redakcyjne

Poza powyższymi uwagami o charakterze merytorycznym zauważono kilka usterek o charakterze redakcyjnym:

- Brak spisu oznaczeń oraz skrótów nazw własnych.
- W tekście pracy Doktorant stosuje duże litery w celu zapisania numeru rysunku i tabeli, mnie nie jest znana taka zasada pisowni w języku polskim.
- Doktorant dość swobodnie stosuje określenie „*sprawność*" np. sprawność procesu redukcji NO_x – w tym przypadku i we wszystkich innych procesach związanych z redukcją zanieczyszczeń mamy do czynienia ze skutecznością a nie sprawnością, aczkolwiek określenia wydają się być podobne ale niekoniecznie oznaczają to samo.
- Str. 13 – użyto zapisu „*proces deNOx*" a w pracy naukowej nie powinno się korzystać z potocznych określeń i skrótów.

- Str. 25 – rysunki 5.8, 5.9, 5.10 – uwaga jak wyżej, podpis powinien zawierać pełną informację np. Schemat instalacji selektywnej katalitycznej redukcji tlenków azotu metodą np. *High-dust*
- Str. 31, tab. 7.1 , c.d. na stronie 32, czy chodzi o udziały masowe czy % gazowych składników spalin?
- W pracy Doktorant często pisze *„cząstki wody"* (np. str. 32), *„zawartość wody"* (rozdział 7.3), *„stężenie H_2O"* – przypuszczalnie ma na myśli parę wodną oraz udział wilgoci w spalinach.
- Str. 60 – na rysunku 9.19 występuje niespójność w opisie raz jest *spadek strumienia emisji NO_x* , innym razem *spadek emisji, redukcja zużycia , spadek zużycia NH3.*
- Str. 65 – na rys. 9.25 pojawia się pojęcie *„strumienia akumulacji"* co to za wielkość ?
- Str. 82 – Doktorant pisze *„Istotne jest zrozumienie podstawowego mechanizmu redukcji tlenków azotu zachodzącego na powierzchni kanalików….."* – właśnie kanałów czy kanalików ?

Ponadto w pracy zauważono liczne błędy stylistyczne i często niejasne sformułowania i usterki te proponuje usunąć przed ewentualnym przygotowaniem publikacji opartej na rezultatach rozprawy doktorskiej.

4. Podsumowanie

Na podstawie przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej stwierdzam, że Pan mgr inż. Paweł Pilarz wykazał się wiedzą i umiejętnościami samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Recenzowana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego a osiągnięte przez Niego rezultaty wnoszą istotny postęp w stosunku do istniejącego stanu wiedzy i mają również duże znaczenie praktyczne. Znaczącym osiągnięciem Doktoranta jest opracowanie modelu numerycznego procesu katalitycznej redukcji tlenków azotu i stworzenie możliwości analizy różnych wariantów konfiguracji katalizatorów SCR w aspekcie obniżenia emisji tlenków azotu z bloków węglowych. Wniesione uwagi oraz zauważone usterki nie maja istotnego wpływu na wartość merytoryczna pracy. Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Pawła Pilarza spełnia warunki *Ustawy o stopniach naukowych oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki* z dnia 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami i wnioskuje o **dopuszczenie** Doktoranta do publicznej obrony.

Dr hab. inż. Maria Jędrusik, prof. nadzw.