

dr hab. inż. Renata Krzyżyńska, prof. PWR
52-430 WROCŁAW, Wybrzeże Wyspiańskiego 27
tel. (71) 320 43 86
tel. kom. 604 176 201



Politechnika Wroclawska
Wydział Inżynierii Środowiska
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 WROCŁAW

R E C E N Z J A

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Krzysztofa Nowaka

pt.

Wpływ procesu współspalania węgla i biomasy na stężenia zanieczyszczeń w gazach spalinowych

opracowana na podstawie uchwały

Rady Wydziału Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej z dnia 12 kwietnia 2017 r. (pismo z dnia 20 kwietnia 2017 r)

1. Informacje ogólne

Praca wykonana została na Politechnice Rzeszowskiej na Wydziale Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Krzysztofa Wojdygi. Promotorem pomocniczym był dr inż. Sławomir Rabczak.

Praca została przedstawiona na 167 stronach i zawiera 7 rozdziałów, które poprzedza streszczenie pracy, abstrakt w j. angielskim, spis treści oraz wykaz ważniejszych oznaczeń stosowanych w pracy. Kończy natomiast spis literatury (252 pozycji), spis tabel, spis ilustracji oraz załączniki. W całej pracy jest 12 tabel i 45 rysunków. Rozprawa jest więc kompletna i może być przedmiotem oceny merytorycznej i formalnej.

2. Omówienie treści pracy

W rozdziale pierwszym (str. 17) zatytułowanym „Wstęp” Doktorant przedstawił przesłanki, które uzasadniają celowość podejmowanej tematyki badawczej. Poruszył tutaj problem związany z wysoką emisją zanieczyszczeń w procesie spalania węgla oraz możliwości

ograniczenia zużycia paliw kopalnych i zwiększenia udziału energii odnawialnej w strukturze paliwowej poprzez np. współspalanie ich z biomasą w systemach ciepłowniczych. W rozdziale drugim (str.19) i trzecim (str. 21) zatytułowanym kolejno: „Cel i tezy pracy” oraz „Zakres pracy” Doktorant przedstawia cele pracy i dwie tezy. Doktorant stawia sobie głównie dwa zadania, polegające na udowodnieniu, że współspalanie biomasy i paliw kopanych ma wpływ na sprawność wytwarzania ciepła kotła oraz wielkość emisji zanieczyszczeń gazowych w wodnych kotłach energetycznych pracujących przy niewielkim obciążeniu oraz, że można skonstruować model określania sprawności kotła i wskaźników emisji gazowych zanieczyszczeń powietrza, mogący być wdrożony do praktyki strategii ochrony powietrza. Rozdział czwarty (str. 22) nosi tytuł „Przegląd literatury”, w którym opisał charakterystykę krajowego systemu ciepłowniczego w Polsce, przedstawił krajowe i unijne regulacje prawne, opisał metody ograniczania emisji zanieczyszczeń do powietrza, przedstawił charakterystykę paliw stałych i biomasy, a także charakterystykę procesu współspalania biomasy z węglem w kotłach energetycznych oraz opisał metody określania wskaźników emisji zanieczyszczeń powietrza, bilansu energetycznego kotła wodnego oraz jego sprawności cieplnej. W rozdziale piątym (str. 55) pt. „Badania oraz opracowanie wyników” Doktorant przedstawił opis badanej kotłowni, omówił metody określania składu spalin, sprawności cieplnej kotła oraz analizy spalanych paliw. Przedstawił także wyniki przeprowadzonych pomiarów w postaci tabel i wykresów, po czym dokonał ich interpretacji. Obliczył wskaźniki korelacji określające zależność pomiędzy obciążeniem kotła oraz udziałem biomasy w spalanej paliwie a sprawnością kotła oraz wielkością stężeń poszczególnych zanieczyszczeń. W rozdziale szóstym (str. 93) zatytułowanym „Modelowanie w pakiecie STATISTICA” Doktorant stworzył, na podstawie badań eksperymentalnych, statystyczne modele obliczeniowe dotyczące wpływu współspalania węgla kamiennego i biomasy w kotłach wodnych typu WR na sprawność wytwarzania ciepła oraz wielkość stężeń i standardów emisji wybranych zanieczyszczeń gazowych. Doktorant dodatkowo zweryfikował te modele poprzez wprowadzenie danych historycznych. Uzyskał satysfakcjonujące wyniki i wysokie współczynniki korelacji liniowej. W rozdziale siódmym (str. 122) zatytułowanym „Podsumowanie i wnioski końcowe” Doktorant przedstawił swoje wnioski końcowe potwierdzające w pełni stawiane tezy. Pracę kończy rozdział „Literatura” (str. 125) zawierający 252 pozycje. Dalsza część pracy zawiera spis tabel i rysunków, a także

załącznik w postaci 43 tabel z opracowanymi wynikami dla różnych obciążeń cieplnych kotła i udziałów biomasy w spalonym paliwie.

3. Ocena pracy

3.1 Wybór tematu rozprawy

Głównym celem pracy było zbadanie korelacji przyczynowo-skutkowych wielkości emisji zanieczyszczeń (SO_2 , CO_2 , CO , NO_x , HCl , HF , NH_3 , CH_4 , O_2 i LZO) z procesu współspalania mieszanki biomasy z węglem, a sprawnością wytwarzania ciepła w wodnych kotłach energetycznych pracujących poniżej minimum obciążenia cieplnego. Kolejnym celem było stworzenie modelu określania sprawności kotła i wskaźników emisji gazowych zanieczyszczeń powietrza, mogące być wdrożone do praktyki strategii ochrony powietrza. Należy podkreślić tutaj, że w literaturze istnieje szereg informacji na temat współspalania węgla z biomasą w kotłach energetycznych pracujących w warunkach normalnej pracy, tj. przy obciążeniu nominalnym, natomiast bardzo niewiele jest informacji dla kotłów pracujących przy niewielkich obciążeniach. Taka sytuacja ma miejsce np. w sezonie grzewczym, kiedy zazwyczaj pracuje jeden kocioł wytwarzający ciepło dla celów przygotowania ciepłej wody użytkowej, wykorzystując przy tym 10-30% swojej mocy nominalnej. W związku powyższym, badania w tym kierunku uzupełniają lukę naukową, a także stanowią cenne źródło informacji dla Miejskich Przedsiębiorstw Energetyki Ciepłej.

3.2 Ocena metodologii

Doktorant w rozwiązywaniu zadania badawczego posługiwał się metodami empirycznymi i numeryczno-analitycznymi. Przeprowadził on badania w obiekcie rzeczywistym, tj. w ciepłowni wyposażonej w 2 kotły WR-10. Pomiar składu spalin przeprowadził na odcinku za kotłem w specjalnie do tego przygotowanych otworach pomiarowych, zgodnie z polską normą PN-ISO 10396:2001. Skład spalin określił metodą spektroskopii, korzystając z analizatora Gasmeter DX-4000, a także detekcji płomieniowo-jonizacyjnej LZO J.U.M OVF 3000. Strumień spalin i temperaturę mierzył za pomocą mikromanometru z termoparą. Dla uzyskania pełnych informacji na temat spalanych mieszanek paliwowych Doktorant poddawał analizie także podstawowe parametry węgla i biomasy. Podczas pomiarów, dla każdego obciążenia cieplnego, czytywał dane parametrów pracy kotła, tj. prędkość

przesuwu rusztu, temperatury wody doprowadzanej do kotła, wody podgrzanej i jej przepływu. Określał grubość warstwy mieszanki paliwa, jej gęstość nasypową, zużycie paliwa, wartości energetycznych mieszanek biomasy i węgla kamiennego. Dane te następnie posłużyły do wyznaczenia sprawności cieplnej kotła metodą bezpośrednią. Badania eksperymentalne stanowiły podstawę do stworzenia statystycznego modelu obliczeniowego dotyczącego wpływu współspalania węgla kamiennego i biomasy w kotłach wodnych typu WR podczas pracy w warunkach niestabilnych na sprawność wytwarzania ciepła oraz wielkość stężeń i standardów emisji wybranych zanieczyszczeń gazowych. Doktorant dokonał tego przy użyciu oprogramowania Statistica, analizując korelacje rang Spearmana. Następnie wykorzystując regresję wieloraką określił metodą statystyczną modele numeryczne dla sprawności kotła, stężenia CO₂ i O₂, standardów emisji NO_x, SO₂, HF, CH₄, LZO. Dla każdego z modeli określił wykres rozrzutu oraz analizę korelacji wartości zmierzonych z wartościami predykowanymi. Na podstawie wykresu rozkładu reszt dokonał oceny adekwatności uzyskanego modelu regresji oraz odchyień występujących względem do przyjmowanych założeń.

Doktorant dobrze opanował warsztat badawczy i wykazał się wiedzą w podejmowanym temacie, gdyż wszystkie powyższe zadania wykonał prawidłowo, zgodnie z obowiązującymi standardami i normami.

3.3. Uwagi krytyczne/dyskusyjne/redakcyjne

1. Metodologia i procedura prowadzenia badań. Jest to bardzo ważny element każdej pracy, gdyż decyduje o jakości uzyskanych wyników. Doktorant wykonał badania prawidłowo, jednakże procedura prowadzonych badań nie jest jasno opisana w pracy. Dużo miejsca Doktorant poświęcił na opisanie poszczególnej aparatury (wraz z rysem historycznym), natomiast informacje dotyczące procedury rozrzucone są w kilku podrozdziałach. Jest to znaczne utrudnienie dla czytelnika. Praca zyskałaby na przejrzystości gdyby Doktorant wprowadził rozdział pt.: procedura prowadzonych badań, gdzie mógłby ją opisać i przedstawić schemat w postaci tabeli. Sugerowałabym Doktorantowi na przyszłość mniej zbędnych treści a więcej konkretnych i zwartych informacji w jednym miejscu.
2. Cytowane prace. Praca zawiera 252 pozycje literaturowe, jednakże Doktorant często niepotrzebnie powiększał ilość cytowanej literatury, poprzez wstawianie zbyt dużej

ilości cytowań w miejscach, gdzie nie było to potrzebne, a nie cytował tam, gdzie było to wskazane, np. str. 60 – Doktorant wstawił aż 54 (!) źródła literaturowe po zdaniu: „Liczba publikacji, monografii oraz prac o charakterze podręcznikowym i specjalistycznym świadczą o tym jak ważne znaczenie w pracy naukowej odgrywa metoda spektroskopii optycznej”. Nie jest to zdanie z punktu widzenia pracy aż tak istotne, aby cytować tyle pozycji literaturowych. Kolejny przykład, str. 39, 15 pozycji cytowanej literatury przy zdaniu tłumaczącym co to jest „biomasa”. Takich miejsc w pracy jest wiele. Jednocześnie Doktorant nie wstawił źródeł literaturowych, tam gdzie one być powinny, np. przy większości wykresów cytowanych w rozdziale dotyczącym przeglądu literatury. Zdecydowana większość z nich wygląda na wykres skopiowany z innego źródła.

3. Sposób omawiania wyników. Analizując stężenia poszczególnych zanieczyszczeń Doktorant używa stwierdzenia: „najniższe stężenie - 0.0 mg/m³ (np. str. 73)”. Jest to niepoprawne stwierdzenie i należałoby użyć słów lub synonimów słów „nieobecny” „brak”.
4. Doktorant przeprowadził analizę korelacji rang, która nie pozwala na określenie zależności łącznie dwóch zmiennych niezależnych na jedną zmienną zależną. Dlatego też każda zmienna niezależna analizowana była z osobna. Szkoda, że Doktorant nie pokusił się dodatkowo o głębszą analizę wielowymiarową, gdyż rzeczywistość zazwyczaj jest znacznie bardziej skomplikowana.
5. Wykres 5.31. przedstawia znacznie wyższe stężenia fluorowodoru w spalinach w mieszankach, których jest więcej biomasy. Dla mieszanki paliwowej, w której biomasa stanowi 70% udział ten jest zdecydowanie najwyższy i jest on ponad dwukrotnie wyższy niż dla mieszanki, w której biomasa stanowi 35%. Najprawdopodobniej wynika to z wyższego stężenia związków fluoru w biomasie. Nie ma tych danych w pracy. Czy Doktorant posiada takie dane?
6. Praca została napisana poprawną polszczyzną i pod względem edytorskim została przygotowana w sposób staranny. Wszystkie wykresy, tabele i równania są ponumerowane. Użyto należytego nazewnictwa naukowo-technicznego, przyjęto dobre oznaczenia i jednostki miar. Materiał graficzny i tabelaryczny jest przejrzysty i czytelny. Szkoda tylko, że Doktorant nie ponumerował 43 tabel, które znajdują się w Załączniku. Stanowią one bowiem dodatkowe, cenne źródło informacji.

4. Podsumowanie

Pragnę zaznaczyć, że większość uwag ma charakter dyskusyjny i nie umniejszają one wartości rozprawy. Oceniana rozprawa świadczy o nabyciu umiejętności planowania, przeprowadzenia eksperymentu i analizowania wyników badań. Wszystkie zadania, które planował w celu potwierdzenia stawianych tez wykonał skrupulatnie. Opracowane przez Doktoranta modele mają wartość praktyczną i mogą być użyteczne dla Ciepłowni, które posiadają kotły rusztowe wodne w przedziale 1,5 -5.0 MW obciążenia kotła oraz dla 30-70% udziału biomasy. Biorąc pod uwagę powyższe oraz sposób doboru narzędzi badawczych i syntezę osiągniętych wyników, można wysunąć wniosek, że mgr inż. Krzysztof Nowak wykazał się wiedzą i umiejętnościami niezbędnymi do prowadzenia badań i spełnia warunki do ubiegania się o stopień doktora nauk technicznych.

Wnoszę więc, zgodnie z Ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami (Dz. U. Nr. 65 poz. 595) o dopuszczenie Go do obrony pracy i nadanie mu stopnia doktora nauk technicznych.



Wrocław, 14.06.2017 r.