

Recenzja rozprawy doktorskiej  
Mgr. inż. Szymona Ciukaja



Niniejszą recenzję opracowałem na podstawie egzemplarza pracy doktorskiej dostarczonej mi z Dziekanatu Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej oraz zlecenia z dnia 5 marca 2012 roku podpisanego przez Dziekana Prof. dr. hab. inż. Janusza Kotowicza.

### **1. Ogólna charakterystyka pracy**

Recenzowana praca dotyczy szerokiego zakresu zagadnień technicznych, występujących w kotłach energetycznych, w związku z wprowadzaniem do nich biomasy jako paliwa współspalanego z podstawowym paliwem jakim jest węgiel. Podstawową metodą służącą realizacji pracy są badania eksperymentalne przeprowadzone przede wszystkim na rzeczywistych obiektach przemysłowych w kilku dużych kotłowniach.

#### ***Najważniejsze zalety pracy***

W mojej ocenie podstawową i bardzo ważną zaletą rozprawy jest oparcie analiz o wyniki prac badawczych prowadzonych na rzeczywistych obiektach energetycznych takich jak kotłownie Elektrowni Rybnik, Elektrowni Ostrołęka, Elektrowni Połaniec, Elektrowni Łaziska oraz Elektrociepłowni Wrocław. Opis przeprowadzonych badań wskazuje przy tym, że Autor ma bardzo dobrą znajomość zagadnień związanych z eksploatacją kotłów pyłowych. Dodatkowo niektóre z przeprowadzonych badań, jak na przykład określenie składu gazów spalinowych w pobliżu ekranów kotłowych, są badaniami bardzo rzadko przeprowadzanymi w rzeczywistych obiektach przemysłowych.

Drugą ważną zaletą pracy jest fakt, że obejmuje ona całość najważniejszych zagadnień technicznych związanych ze współspalaniem biomasy i węgla od procesu rozdrabniania, poprzez kinetykę spalania, aż po problemy związane z korozją wywoływaną przez składniki mineralne popiołu zawartego w biomasie.

#### ***Mankamenty pracy***

Według mnie praca posiada dwa dość istotne mankamenty. Po pierwsze Autor nie opisuje w sposób dostateczny przeprowadzonych badań eksperymentalnych. W szczególności nie podaje istotnych parametrów pracy kotła w trakcie przeprowadzanych pomiarów, a często nawet nie przytacza podstawowych analiz spalanych paliw.

Drugim mankamentem jest uogólnianie i wyciąganie dość daleko idących wniosków na podstawie niewielkiej liczby pomiarów. W moim przekonaniu Autor powinien albo dysponować większą liczbą pomiarów lub danych literaturowych by formułować tak

jednoznacznie brzmiące wnioski jakie znalazły się w pracy, albo wykazać się większą ostrożnością we wnioskowaniu.

Ostatnim z ogólnych mankamentów pracy jest zbyt słabe przedstawienie wyników analogicznych badań prowadzonych w innych ośrodkach naukowych. Jakkolwiek wykaz literatury zawiera 77 pozycji to jest on zdominowany przez publikacje o charakterze ogólnym i przeglądowym.

## **2. Szczegółowa ocena pracy**

Po krótkim wstępie, przedstawiającym tło prowadzonych badań, Autor określa cel pracy, który został rozpisany na siedem zadań szczegółowych. Każde z tych zadań szczegółowych przy odpowiednio wnikliwym potraktowaniu mogłoby być tematem osobnej pracy doktorskiej. Tak szeroko zdefiniowany cel pracy siłą rzeczy ograniczył dogłębność prowadzonych badań. Jednakże wobec niedostatku publikacji ujmujących w sposób całościowy problemy techniczne związane ze współspalaniem biomasy z węglem, uważam że takie szerokie określenie celu jest wartościowe, a praca dzięki temu ma dużą wartość praktyczną.

W rozdziale czwartym Autor przedstawia wyniki badań przeprowadzonych za pomocą termograwimetru dotyczące procesu odgazowania i dopalania pozostałości koksowej wybranych rodzajów biomasy oraz węgla. Niestety Autor nie podał istotnych warunków prowadzenia eksperymentu takich jak na przykład geometria zastosowanego tygla pomiarowego, a do badań zastosował bardzo dużą próbkę analizowanego materiału, której masa wynosiła aż 800 mg. W przenoszeniu wniosków z analizy termograwimetrycznej na rzeczywiste komory spalania zachować należy daleko idącą ostrożność z uwagi na radykalnie różne szybkości nagrzewania (różnice dochodzą do kilku rzędów wielkości) oraz na różnice w oporze dyfuzji, szczególnie w procesie dopalania pozostałości koksowej. Wobec powyższego uważam, że Autor dość bezkrytycznie analizuje wyniki pomiarów skupiając się na maksymalnej wartości DTG, która to wielkość występuje zawsze na etapie odgazowania i nie może być uważana za wielkość charakteryzującą całkowity czas spalania paliwa.

Rozdział piąty zatytułowany jest 'badanie zależności między właściwościami węgla i biomas, a charakterystykami powstających popiołów' i obejmuje określenie wpływu współspalania na skład i mianość popiołu, zawartość części palnych w popiele oraz zmiany w procesie wymiany ciepła spowodowane zanieczyszczeniem powierzchni grzewczych. Wpływ współspalania biomasy na skład popiołu badano porównując popiół zebrany z kotłów Elektrowni Ostrołęka oraz Elektrowni Rybnik, przy czym w jednym z kotłów spalano sam węgiel, a w drugim węgiel z 10% dodatkiem peletów ze słomy. Niestety Autor nie podał ani składu spalanego węgla ani składu współspalanych peletów, a także nie podał informacji czy węgiel w obu przypadkach pochodził z jednego źródła. Bez tych informacji wnioski wyciągnięte z porównania składu popiołów kotłów obu elektrowni w moim przekonaniu nie są w pełni uzasadnione. Podobnie Autor nie podaje warunków prowadzenia pomiarów na podstawie których zbudowany został wykres 5.3 obrazujący wpływ udziału spalanej biomasy na wielkość ziaren popiołu powstającego w spalaniu. Zdecydowanie dokładniej opisane są pomiary zawartości części palnych w popiele lotnym przeprowadzone w Elektrowni Połaniec. Autor nie przeprowadza jednak głębszej analizy przyczyn które powodują, że zawartość części palnych w popiele zbieranym w ostatnich sekcjach elektrofiltra dochodzi aż do 20%. W ostatniej, najobszerniejszej części rozdziału piątego, Autor zajmuje się wpływem współspalania biomasy na wymianę ciepła w ciągu konwekcyjnym kotła oraz analizuje wybrane metody ograniczania zanieczyszczenia powierzchni wymiany ciepła popiołem. Badania przeprowadzone przez Autora, dotyczące zanieczyszczenia powierzchni koncentrują

się na stosowaniu nakładek na rury wymienników konwekcyjnych. Są to badania o fundamentalnym znaczeniu praktycznym i trochę szkoda, że w pracy zostały omówione w sposób głównie jakościowy.

Rozdział szósty pracy dotyczy wpływu współspalania biomasy na wielkość ziaren pyłu węglowo-biomasowego. Pierwsza część badań dotyczy analizy sitowej pyłu paliwowego pobranego z pyłoprzewodów. Jakkolwiek również i w tym przypadku Autor nie podaje danych żadnego z paliw to przedstawione wyniki w sposób wystarczający pokazują, że węgiel i biomasa tworzą dwie osobne pod względem wielkości ziaren populacje. Autor w sposób wystarczający wykazuje także związek pomiędzy wielkością ziaren paliwa podawanego do kotła i popiołu powstałego w wyniku spalania. Według mojego rozeznania tematu pomiary te mają w dużym stopniu charakter pionierski i stanowią jeden z najbardziej wartościowych elementów pracy. W ostatniej części tego rozdziału Autor określa wpływ domieszki biomasy na parametry charakterystyczne pracy młyna paliwa, przeprowadzone w Elektrowni Połaniec.

Rozdział siódmy poświęcony jest wpływowi współspalania biomasy na korozję powierzchni grzewczych kotłów. Badania przeprowadzono na kotłach Elektrowni Połaniec dokonując między innymi pomiaru składu gazu w warstwie stykającej się z ekranami kotła. Tego typu pomiary są bardzo rzadko wykonywane ze względu na dużą trudność ich przeprowadzenia i w moim przekonaniu stanowią jeden z najbardziej wartościowych elementów całej pracy. W kotłach Elektrowni Połaniec Autor dokonał także pomiaru ubytków grubości rur spowodowanych korozją. Szkoda, że podobnie jak w poprzednich punktach nie przedstawiono w pracy warunków wykonywania pomiarów takich jak charakterystyka spalanych paliw. Pomimo tych braków rozdział siódmy uważam za najbardziej wartościową część całej pracy.

Rozdział ósmy dotyczy korozji niskotemperaturowej i opiera się o pomiary wykonane w Elektrowni Łaziska, Elektrowni Połaniec oraz Elektrociepłowni Wrocław. W odróżnieniu od poprzednich rozdziałów znajdują się w nim bardzo szczegółowe dane rodzaju spalanego węgla i biomasy. Badania, będące przedmiotem tego rozdziału są stosunkowo proste w porównaniu z pozostałymi rozdziałami pracy, a z uwagi na relatywnie mało skomplikowany proces kondensacji pary wodnej w spalinach wnioski z badań są względnie łatwo przewidywalne.

W rozdziale dziewiątym Autor zajmuje się wpływem współspalania biomasy na emisję szkodliwych substancji gazowych – tlenku węgla, tlenków azotu oraz tlenków siarki. W pierwszej części rozdziału Autor przeprowadza rozważania teoretyczne wpływu zawartości tlenku węgla na sprawność kotła oraz obliczenia udziału NO<sub>2</sub> i SO<sub>2</sub> w spalinach, zakładając pełną konwersję azotu paliwowego i siarki na produkty ich utleniania. W przypadku azotu takie założenie jest bardzo dalekie od rzeczywistości, czego efektem są nierealnie wysokie emisje NO przedstawione na wykresie 9.4. W drugiej części rozdziału Autor przedstawia wyniki badań uzyskane na kotłach OP-650 w wyniku zmian parametrów eksploatacyjnych kotła. Na ich podstawie Autor formułuje zbiór uniwersalnych (według sformułowania zawartego w pracy) reguł, które dotyczą emisji NO z kotłów współspalających biomasę. W mojej ocenie zakres pomiarów, na których zostały oparte te reguły nie jest dostatecznie duży by można było mówić o uniwersalności wniosków.

Pracę zamyka rozdział dziesiąty zawierający wnioski i zalecenia, z których część nie wynika bezpośrednio z przeprowadzonych badań. W moim przekonaniu wnioski sformułowane są z jednej strony zbyt kategorycznie, a z drugiej zawierają nieprecyzyjne pojęcia. Przykładowo Autor pisze 'przy udziałach masowych współspalanej biomasy powyżej 10% należy liczyć się z istotnym pogorszeniem jakości przemiału pyłu węglowego'. Z takiego sformułowania rodzą się pytania – dlaczego akurat wartość 10% została uznana za graniczną i co oznacza 'istotne

pogorszenie jakości przemiału'. Dodatkowo, w moim przekonaniu, wniosku tego nie można rozciągać na każdy rodzaj biomasy.

### Wybrane uwagi szczegółowe

strona 13 – niezrozumiałe sformułowanie *z uwagi na prawidłową kalibrację wagi termograwimetru wielkość ziaren węgla wynosiła*

strona 34 – błędne jednostki pochodnej masy po czasie w Tab 3.4

strona 40 – dane w Tab. 5.4 są w zasadzie niemożliwe do analizy bez znajomości składu paliwa wyjściowego

strona 43 – dla Tab 5.3 nie podano warunków prowadzenia badań, na bazie których powstał wykres

strona 60 i strona 61 – ostatnie trzy wnioski nie wynikają z przeprowadzonych badań

strona 63 – mylące sformułowanie *podane warunki spełnione są przy dwóch różnych wielkościach komory* – poprawniej byłoby 'z podanych warunków wynikają dwie różne wielkości komory'

strona 76 – co oznacza 'starano się uzyskać podobne parametry' – słowo 'starano' nie wskazuje na ile stałe były parametry pracy młyna

strona 79 – co Autor rozumie przez 'nośność' cząstek paliwa

strona 85 – niejasno sformułowany drugi akapit

strona 88 – *wydaje się, że również w sytuacji gdy zawartość tlenu w spalinach jest wyższa od zawartości CO, można nie obawiać się szybkiej korozji* – na jakiej podstawie takie twierdzenie i co oznacza sformułowanie 'wydaje się'

strona 106 – niejasny drugi akapit

strona 106 – co oznacza sformułowanie *suma wilgoci w paliwie do kotła*

### Podsumowanie

Każda praca naukowa ma swoje mocne i słabe strony. W moim odczuciu w recenzowanej pracy zauważalne jest to w sposób szczególny. Z jednej strony budzi moje wysokie uznanie zakres prowadzonych badań na instalacjach przemysłowych i kompleksowe potraktowanie tematu, a z drugiej strony odczuwam wyraźny niedosyt w zakresie analizy uzyskanych wyników oraz w zakresie przeglądu literatury dotyczącej tematu rozprawy.

Zgodnie z obowiązującą ustawą „Rozprawa doktorska, przygotowywana pod opieką promotora albo pod opieką promotora i promotora pomocniczego, o którym mowa w art. 20 ust. 7, powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub oryginalne dokonanie artystyczne oraz wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej lub artystycznej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej”. W mojej ocenie recenzowana praca doktorska spełnia powyższe warunki i dlatego stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

*Andrzej Sidor*