



Prof. dr hab. inż. Marek PRONOBIS

Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych  
Politechniki Śląskiej

## **RECENZJA DYSERTACJI DOKTORSKIEJ**

**mgr inż. Marcina JEWIARZA**

### **„BADANIA ENERGETYCZNO-EMISYJNE KOTŁÓW WSADOWYCH OPALANYCH SŁOMĄ”**

#### **1. Uwagi ogólne**

Recenzję opracowano na zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej z dnia 04.06.2014 r.

Zasadniczym celem przedłożonej dysertacji było zbadanie możliwości zwiększenia sprawności i ograniczenia uciążliwości ekologicznej małych kotłów do spalania słomy poprzez odpowiednie modyfikacje konstrukcyjne oraz sterowanie procesem spalania z wykorzystaniem algorytmów o różnym stopniu komplikacji. Praca liczy 102 strony tekstu a spis literatury zawiera 67 pozycji.

Pierwszy rozdział dysertacji ma charakter ogólnego wprowadzenia w tematykę. Cel i zakres pracy jest przedstawiony w rozdz. 2.

Rozdział 3 stanowi przegląd literatury w zakresie charakterystyk słomy jako paliwa, przebiegu jej spalania, form preparacji przed spalaniem oraz powstających podczas spalania zagrożeń korozyjnych. Opisano także technologie spalania słomy, koncentrując się na tzw. kotłach wsadowych. Na koniec dokonano przeglądu badań kotłów opalanych słomą wraz z opisem rozwiązań układów sterowania pracą kotłów tego rodzaju.

Część badawczą pracy rozpoczyna rozdział 4, zawierający szczegółowy opis stanowiska badawczego z kotłem wsadowym typu RM, o mocy nominalnej 150 kW. Kocioł był opalany małymi belami o łącznej masie pojedynczego wsadu ok. 60 kg. Badania wykonywano u producenta kotła, a odbiór ciepła zapewniał system istniejący w zakładzie. Stabilność temperatury wody zasilającej zapewniał zbiornik akumulacyjny. Kocioł został opomiarowany przyrządami do mierzenia temperatury, ciśnienia i składu spalin.

Elektroniczne układy sterowania kotłem wykorzystywały dwa sterowniki: standardowy dla badanego typu kotła duński sterownik Skeletek i działający w oparciu o układ swobodnego programowania PLC z dwoma zaimplementowanymi algorytmami stworzonymi przez doktoranta nazwanymi ProFan1 i ProFan2. Algorytm ProFan1 zakładał stałe położenie przepustnicy powietrza wtórnego, natomiast ProFan2 - niezależne sterowanie obu strumieni powietrza do spalania. W stosunku do rozwiązania standardowego kocioł musiał zostać rozbudowany o system doprowadzenia powietrza wtórnego.

Szczegółowy opis metodyki badań oraz sposobu opracowania wyników wraz z analizą błędów przedstawiono w rozdziale 5. Podjęto szereg działań dla zwiększenia powtarzalności poszczególnych pomiarów, co w przypadku kotła działającego okresowo nie jest łatwe. W dalszej części tego rozdziału Autor przedstawił zasady wyznaczania sprawności kotła w oparciu o metodę bezpośrednią i pośrednią, a także wyznaczania parametrów ekologicznych i określania błędów pomiarów oraz niepewności wyznaczania sprawności.

Rozdział szósty Autor poświęcił przedstawieniu wyników badań wstępnych, których celem było ustalenie charakterystyki pracy kotła oraz wytypowanie elementów kotła wymagających modyfikacji. Badania prowadzono dla słomy pszenicznej i żytniej. Ich efektem jest wyznaczenie sprawności kotła (61,2 %) oraz emisji CO i NO a także udziałów O<sub>2</sub> oraz dwu temperatur spalin - w czopuchu i przed częścią konwekcyjną. W wyniku tych badań opracowano modernizację kotła polegającą na zmniejszeniu komory wsadowej oraz zastosowaniu oddzielnych wentylatorów dla powietrza pierwotnego i wtórnego, które może być wprowadzane poprzez 4 różne układy dysz.

Tak zmodernizowany kocioł poddano badaniom, których rezultaty zawiera rozdział 7. W trakcie tych badań kocioł był sterowany za pomocą algorytmów ProFan1 i ProFan2. Podczas pracy z algorytmem ProFan1 dobrano najkorzystniejszy układ dysz powietrza wtórnego, który następnie był wykorzystany podczas badań z systemem ProFan2. We wszystkich testach stwierdzono występowanie wyraźnej korelacji między temperaturą spalin a udziałem w nich tlenu. W efekcie zaproponowane modyfikacje umożliwiły poprawną kontrolę spalania oraz zmniejszenie niekorzystnych wahań stężenia O<sub>2</sub> w spalinach.

Ósmy rozdział pracy przynosi analizę wyników pomiarów sprawnościowych i emisyjnych. Wykazano bardzo istotny przyrost sprawności o prawie 15 p.%, przy kilkukrotnym zmniejszeniu emisji tlenu węgla - jest to duże osiągnięcie doktoranta. W ósmym rozdziale znajduje się także opis badań znacznie większego kotła (moc nominalna 3,5 MW) z rusztem ruchomym, przystosowanego do spalania słomy rozdrobnionej do postaci siczki. Wykazano, że wyniki w zakresie emisji CO były, mimo znacznych różnic

technologicznych podobne. Sprawność kotła o mocy 3,5 MW była wprawdzie wyraźnie wyższa, ale jest to efekt mniej rozbudowanej części konwekcyjnej kotła wsadowego. Natomiast prosta konstrukcja i stosunkowo korzystne parametry emisyjne a także sprawnościowe, szczególnie gdyby rozbudować układ wymiany ciepła, czynią z tej technologii atrakcyjną propozycję dla lokalnych źródeł ciepła. Należy tu podkreślić, że tak dobre efekty są wynikiem prac autora niniejszej dysertacji.

Pracę kończy podsumowanie uzyskanych rezultatów oraz istotne pod względem poznawczym wnioski.

## 2. Szczegółowe uwagi krytyczne

Praca jest napisana na ogół starannie, chociaż dość liczne są drobne błędy edycyjne. Należałoby też zdecydować się na jeden styl podawania poszczególnych pozycji w spisie literatury.

Jeśli chodzi o stronę merytoryczną rozprawy, to moje wątpliwości budzi informacja, czy pokazany na Rys. 4.1 wentylator jest osiowy, ponieważ wygląda raczej na promieniowy. Ponadto opis układu pomiarowego w rozdz. 4.2 jest dość mało precyzyjny - np. trudno się doszukać, która z temperatur pokazanych na rysunkach to  $t_2$ , mająca zasadnicze znaczenie dla dalszych wywodów.

Trudno się też zgodzić z interpretacją wyników w zakresie emisji NO. Autor twierdzi, że przeważająca część tej emisji wynika z chemizmu termicznego i szybkiego, podczas gdy paliwowy ma marginalne znaczenie. Jednak w kotle na słomę przy kilkunastu procentach tlenu w spalinach temperatura nie osiąga wartości wymaganych dla zajścia reakcji Zeldowicza. Także nie jest możliwy istotny udział tlenków szybkich. Natomiast udział azotu w paliwie nie jest wcale szczególnie niski ( $N^a = 0,89\%$ ) i odpowiada występującemu w węglu kamiennym. Biorąc pod uwagę wzrost stopnia konwersji azotu paliwowego w tlenki w miarę obniżania  $N^r$  i duży udział części lotnych w paliwie, można z dużą pewnością przypisać powstałą emisję do chemizmu paliwowego. Wprawdzie zmiany stężeń NO koreluje się dobrze z temperaturą, ale ta praktycznie dokładnie zgadza się ze zmianami stężenia tlenu. I to z nim koreluje się NO.

Powyższe uwagi nie obniżają jednak istotnych osiągnięć merytorycznych recenzowanej pracy.

### 3. Ocena pracy

Recenzowaną pracę oceniam pod względem merytorycznym pozytywnie. Problem będący jej przedmiotem jest niezwykle ważny, biorąc pod uwagę duże ilości słomy powstającej każdego roku w Polsce i jej potencjał energetyczny, pozwalający na szerokie jej wykorzystanie w lokalnych kotłowniach. Uzyskane w wyniku wprowadzonych modernizacji kotła RM oraz opracowania nowych algorytmów jego sterowania kilkunastoprocentowe przyrosty sprawności połączone z kilkukrotnym zmniejszeniem emisji CO są cennym osiągnięciem doktoranta.

Recenzowana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Doktorant wykazał się właściwą wiedzą i umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Osiągnięte rezultaty wnoszą istotny postęp w stosunku do istniejącego stanu wiedzy i mają dużą przydatność praktyczną. W tym kontekście praca spełnia wymogi stawiane przez obowiązującą ustawę.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzenia wnoszę o dopuszczenie pana mgr inż. Marcina JEWIARZA do obrony pracy.



A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized, abstract shape with a long horizontal stroke extending to the right.