

Prof. dr hab. inż. Zbigniew Popiołek

Gliwice, 12.05.2011

Politechnika Śląska w Gliwicach

Katedra Ogrzewnictwa Wentylacji i Techniki Odpylania



R E C E N Z J A

rozprawy doktorskiej mgr inż. Rafała BUCZYŃSKIEGO

nt.: Badania procesów spalania paliw stałych w kotłach małej mocy

Tematyka pracy

Praca doktorska dotyczy bardzo aktualnej tematyki czystych technologii węglowych. Tematyka ta jest jednym z priorytetów badań Unii Europejskiej i Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w Polsce. Dlatego celowość podjęcia badań w tym zakresie nie wymaga specjalnego uzasadnienia. Prezentowane badania dotyczą węglowego kotła retortowego o małej mocy - 25 kW. Poprawa sprawności takich kotłów i zmniejszenie emisji szkodliwych dla środowiska substancji może przyczynić się do zmniejszenia tzw. niskiej emisji, która jest bardzo uciążliwa w wielu polskich miejscowościach.

Cel, zakres pracy i sposób jej przedstawienia

Praca napisana została w języku angielskim i jej oryginalny tytuł brzmi: Investigation of fixed-bed combustion process in small scale boilers. Praca zawiera 137 stron i podzielona jest na 11 rozdziałów. W końcowej części pracy, na 10 stronach zamieszczono spis literatury składający się ze 146 pozycji.

W pierwszej części pracy (rozdział 1 i 2) zamieszczono wprowadzenie i omówiono budowę automatycznych kotłów retortowych małej mocy, stosowane w Polsce paliwa do tych kotłów (EKORET i EKO-FINS) oraz normowe wymagania dotyczące emisji szkodliwych substancji z kotłów na paliwo stałe.

W rozdziale 3 przedstawiono cele pracy. Celem poznawczym było lepsze rozpoznanie procesów zachodzących w złożu spalanego paliwa stałego i na tej podstawie opracowanie metodyki modelowania procesu spalania w kotłach retortowych małej mocy. Cel użytkowy stanowiło wskazanie zjawisk odpowiedzialnych za niedoskonałość procesu spalania oraz zbadanie w jaki sposób różne modyfikacje konstrukcyjne kotła wpływają na jego sprawność i

emisję szkodliwych substancji, w wyniku czego wskazać będzie można taką konstrukcję, która znacząco poprawi pracę kotła. W rozdziale 4 przedstawiono zakres pracy tj. w jaki sposób praca podzielona została na kolejno realizowane zadania. Rozdziały 3 i 4 zawierają zaledwie po kilka akapitów i właściwie powinny być ze sobą połączone.

W rozdziałach 5 i 6 obszernie przedstawiono sposób w jaki stworzony został model matematyczny opisujący proces spalania złoża węgla. Do modelowania procesu spalania w złożu węgla, a następnie w kotle retortowym małej mocy wykorzystany został komercyjny pakiet do obliczeń numerycznych FLUENT. W pakiecie tym brak było jednak wystarczającego opisu zjawisk zachodzących podczas spalania złoża stałego. W rozdziale 6 pracy omówiono opracowane modele opisujące zjawiska, które nie były zawarte w pakiecie FLUENT. Modele te zaimplementowano do pakietu FLUENT za pomocą tzw. UDF (User Define Function).

W rozdziale 7 pracy przedstawiono walidację modelu procesu spalania węgla w złożu stałym. Do walidacji wykorzystano wyniki pomiarów procesu spalania w próbce złoża węgla. Autor uznał, że uzyskał zadawalającą zgodność modelu z rzeczywistością, chociaż zwraca uwagę, że obliczone stężenie tlenu węgla jest znacznie wyższe od zmierzonego.

W rozdziale 8 omówiono obliczenia symulacyjne procesu spalania węgla w kotle retortowym małej mocy a w rozdziale 9 przedstawiono walidację tych obliczeń. Autor uznał, że uzyskał zadawalającą korelację pomiędzy wynikami obliczeń i pomiarami. Chociaż tym razem obliczone stężenie tlenu węgla było około 7 razy mniejsze od zmierzonego.

W rozdziale 10 pracy przedstawiono wyniki wielowariantowych badań zmierzających do udoskonalenia konstrukcji kotła retortowego małej mocy. Badano wpływ zmiany położenia, rozmiarów i konstrukcji deflektora, wpływ rozplywu powietrza w komorze spalania oraz wpływ kształtu komory spalania na skład spalin. Autor wykazuje, że poprzez odpowiednie zmiany konstrukcyjne można poprawić warunki spalania i zmniejszyć emisję szkodliwych substancji.

W rozdziale 11 zawarto podsumowanie oraz wnioski końcowe.

Ocena uzyskanych wyników

Konstrukcja kotłów małej mocy na paliwo stałe opiera się zazwyczaj na doświadczeniu i intuicji producentów. Kotły te produkowane są w większości przez małe firmy nie posiadające odpowiedniego zaplecza badawczo rozwojowego. Stąd dotychczas nie opracowano metod kompleksowego modelowania procesu spalania w takich kotłach. Praca ma w tym zakresie charakter pionierski.

Do istotnych osiągnięć recenzowanej pracy należy zaliczyć:

- opracowanie modeli cząstkowych procesu spalania węgla w złożu stałym i zaimplementowanie ich do pakietu FLUENT,
- wykazanie, że możliwe jest wykorzystanie do modelowania procesu spalania w kotłach węglowych małej mocy odpowiednio zmodyfikowanego, komercyjnego pakietu obliczeń numerycznych FLUENT,
- wykazanie, że wykorzystując taki sposób modelowania poszukiwać można ulepszonych konstrukcji kotła na paliwo stałe.

Uwagi dyskusyjne

W trakcie czytania pracy pojawiły się wątpliwości, które z obowiązku recenzenta wymienię:

- w podrozdziale 2.3 przedstawiono wymagania norm odnośnie emisji szkodliwych substancji z małych kotłów na paliwo stałe, nie podjęto jednak jakiegokolwiek próby dyskusji tych wymagań,
- w rozdziale 6.2.2 przedstawiono wyniki pomiaru oporu przepływu przez złożę węgla EKORET, pomiary wykonano tylko dla jednej grubości złoża i uzyskano tylko kilka punktów pomiarowych; jest to zbyt mała ilość danych eksperymentalnych, aby jednoznacznie scharakteryzować opór przepływu przez takie złożę; uzyskane wyniki wskazują, że zależność $\Delta p = k W^n$ ma wykładnik większy od 2 ($n=2.16$) i jest to zaskakujące, gdyż należało się raczej spodziewać wykładnika $n < 2$,
- w rozdziałach 7.2 i 9.1 Autor przedstawia wyniki pomiarów spalania złoża węgla i spalania w kotle węglowym małej mocy, powołuje się przy tym na pracę doktorską R. Noska, czy Autor uczestniczył w tych pomiarach?, jeśli nie - to wyniki te powinny znajdować się w części studialnej pracy,
- dlaczego wykonano tylko po jednej serii pomiarowej, zarówno dla złoża węgla jak i dla kotła małej mocy?, raczej nie należy spodziewać się dobrej powtarzalności takich pomiarów,
- dlaczego w przypadku kotła małej mocy nie porównano obliczonego i zmierzonego składu gazów odlotowych na wylocie z kotła?, porównanie wyników obliczeń i pomiarów „punkt w punkt” w komorze spalania jest raczej mało miarodajne,
- bardzo dobra korelacja ($R=0.99$) pomiędzy obliczonym i zmierzonym stężeniem tlenu węgla w komorze spalania kotła opiera się tylko na dwóch punktach pomiarowych (punkty 2a i 6a), jeśli usunie się te punkty występuje całkowity brak korelacji,

- w świetle dużych rozbieżności pomiędzy obliczonym i zmierzonym stężeniem tlenu węgla w spalonym złożu węgla i komorze spalania kotła budzą wątpliwości ostateczne wnioski odnośnie poprawy konstrukcji kotła.

Zauważono także kilka drobnych usterek redakcyjnych, i tak:

- na rysunkach 1.1 – 1.3 dotyczących źródeł energii, przy różnych źródłach występują dwie liczby jedna bez nawiasów druga w nawiasach, nie objaśniono co one oznaczają,
- w tytule rozdziału 5.5 (również w spisie treści) zamiast „*sold*” powinno być „*solid*”
- strona 78, drugi wiersz od góry zamiast „*mode*” powinno być „*model*”
- w tabeli 7.4 zamiast „*temperature*” powinno być „*gas composition*”
- strona 81, ostatni wiersz od góry zamiast „*unbiques*” powinno być „*uniques*”

Podsumowanie

Pan mgr inż. Rafał Buczyński wykonał i przeanalizował wyniki obszernych badań procesu spalania węgla w retortowym kotle małej mocy. Ich celem utylitarnym było wskazanie zjawisk odpowiedzialnych za niedoskonałość procesu spalania oraz zbadanie w jaki sposób różne modyfikacje konstrukcyjne kotła wpływają na jego sprawność i emisję szkodliwych substancji, w wyniku czego wskazać będzie można taką konstrukcję, która znacząco poprawi pracę kotła. Jestem pełen uznania i doceniam wysiłek związany z realizacją pracy.

Pracę doktorską Pana mgr inż. Rafała Buczyńskiego oceniam bardzo pozytywnie. O jej wartości stanowi właściwe rozwiązanie zadania naukowego oraz właściwa interpretacja zagadnień i zjawisk objętych tematem. Badania wykazały, że wykorzystując odpowiednio zmodyfikowaną metodykę numerycznego modelowania CFD można poszukiwać ulepszonych konstrukcji kotłów na paliwo stałe. Uzyskał wartościowe i oryginalne wyniki. Uważam, że praca ta w pełni odpowiada wymaganiom stawianym rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Rafała Buczyńskiego do publicznej obrony tej rozprawy.

