



Kraków, 17.02.2016

Prof. dr hab. inż. Wojciech Nowak
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica
Wydział Energetyki i Paliw
Al. A. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

Recenzja

pracy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Rosenbergera „Aglomeracja paliw w kotłach z rusztem wibracyjnym”

Wstęp

Recenzję pracy doktorskiej opracowano na podstawie uchwały Rady Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach z 18.12.2015 r.; pismo RIE-BD/4/160/2015/2016 z 15.01.2016 r.

Zasadność tematyki

Największy potencjał dla energetyki ciepłej i zawodowej oraz aktywizacji terenów rolniczych i zagospodarowania nieużytków stanowi biomasa. Energetyczne wykorzystanie biomasy jest najszybciej rozwijającym się sektorem energetyki odnawialnej w Polsce. Cechą znamioną dotychczasowego wzrostu wykorzystania biomasy jest bazowanie na niestandardyzowanych i niekomercyjnych biopaliwach odpadowych, o najniższej cenie rynkowej. Podejście to jest w pełni uzasadnione w krótkim okresie czasu, gdyż w dalszym ciągu duże zasoby biomasy na cele energetyczne pozostają niewykorzystane. Jednakże w dłuższym okresie czasu, w miarę wyczerpywania się ogólnie dostępnych zasobów biomasy odpadowej nastąpi bardzo intensywny wzrost upraw roślin energetycznych.

Większość aglomeratów tworzonych podczas spalania biomasy jest wynikiem powstania ciekłej mieszaniny metali alkalicznych (Na, Ca, K itp.), siarczków, CaSO₄ oraz krzemianów i glinokrzemianów. W przypadku, gdy spalane paliwo zawiera duże ilości takich

składników proces aglomeracji może powodować duże trudności w utrzymaniu stabilnej pracy paleniska.

Badania problemu aglomeracji w kotłach energetycznych także wykazały, że znajomość właściwości konkretnego paliwa i jego popiołu są kluczowe dla uniknięcia tworzenia się spieków – tym bardziej, że mechanizm procesu tworzenia się popiołu zależy od rodzaju paliwa, a spiekanie może nastąpić także w temperaturach niższych od temperatury mięknięcia popiołu wskutek tworzenia się lokalnych centrów lepkich. Niezależnie od składu chemicznego na tworzenie się spieków wpływ mają również warunki spalania, a szczególnie ilość tlenu, gdyż w warunkach jego niedoboru następuje redukcja tlenków metali, a powstały czysty metal ma niższą temperaturę topnienia. Uniknięcie aglomeracji w kotłach jest generalnie możliwe dzięki ujednorodnieniu temperatury w palenisku, zmianie rodzaju paliwa, polepszeniu mieszania, recyrkulacji spalin, zmianie temperatury powietrza itd.

Biorąc powyższe fakty pod uwagę uważam, że tematyka pracy doktorskiej jest *aktualna o bardzo dużym znaczeniu praktycznym*, a przeprowadzony w wyczerpującej formie przegląd literatury uzasadnia celowość podjęcia tematu potwierdzając tym samym jego ważność dla ośrodków i firm zajmujących się spalaniem trudnych paliw, a zwłaszcza biomas odpadowych. Trafności wyboru i oryginalność problemu badawczego podjętego w rozprawie oceniam pozytywnie. Tematyka rozprawy doktorskiej wiąże się bowiem bezpośrednio z trendami rozwojowymi kotłów rusztowych umożliwiającymi spalanie trudnych paliw pochodzenia rolniczego oraz paliw odpadowych. Problem naukowy został postawiony poprawnie oraz rozwinięty za pośrednictwem sformułowanych celów rozprawy. Cel jak i zakres pracy adekwatnie wynikają z przeprowadzonej analizy literatury przedmiotu oraz postawionego problemu przez Autora.

Układ pracy

Praca została podzielona na jedenaście rozdziałów. W rozdziale 1 Autor dokonał przeglądu literatury wskazując na aktualny stan wiedzy omawianej tematyki. W rozdziale 2 zawarł cele i opisał zakres pracy. W rozdziale trzecim opisał biomasę jako paliwo z uwzględnieniem mikro i makroelementów występujących w roślinach oraz dokonał analizy wpływu nawożenia na skład chemiczny biomasy. Zawarł również w tym rozdziale badania

własne, które obejmowały badania gleby oraz analizy chemiczne biomasy pobranej z wytypowanych pól uprawnych rzepaku i pszenicy.

W rozdziale czwartym zostały omówione technologie termicznej utylizacji paliw biomasowych oraz pokazane zalety i wady omawianych technologii.

W rozdziale piątym przedstawione są uwagi o przemysłowej realizacji procesu w kotłach rusztowych dostarczonych przez firmę Amec Foster Wheeler. Na podstawie doświadczeń w instalacjach przemysłowych, zidentyfikowane zostały główne trudności związane ze spalaniem biomasy, a następnie sformułowano zalecenia, które mają znaczenie użytkowe w zagadnieniach związanych z doborem, modernizacją i ewentualnie projektowaniem nowych kotłów rusztowych (Rozdział 6). W rozdziałach 7 i 8 Autor opisał metodykę badań oraz stanowisko doświadczalne. Analiza paliw wyselekcjonowanych do testów spalania i ich charakterystyki zostały ujęte w rozdziale 9. Rozdział 10 poświęcony jest badaniom spalania, natomiast w rozdziale 11 Autor zawarł podsumowanie swoich prac w aspekcie aglomeracji w kotłach rusztowych z rusztem wibracyjnym.

Praca jest bardzo obszerna i zawiera 274 stron (zbyt obszerna w moim przekonaniu). Spis literatury jest bogaty i zawiera 94 pozycje literaturowe, w tym 3 publikacje współautorstwa Autora pracy ściśle związane z pracą doktorską. Rozprawa doktorska opatrzona jest streszczeniem w języku angielskim.

Elementy oryginalności pracy

Za najważniejsze walory naukowe pracy w aspekcie naukowym i użytkowym uważam:

Osiągnięcia naukowe pracy

Do osiągnięć naukowych pracy należy:

1. Wykazanie, że skład biomasy drzewnej różni się w zależności od elementu składowego drzewa, tj.: kory, liści, drewna właściwego, korzeni.
2. Wykazanie, że nawożenie roślin nie wpływa na zawartość pierwiastków alkalicznych w uprawach. Dużo większe znaczenie ma położenie pól uprawnych.

3. Przeprowadzenie analiz chemicznych paliw biomasy leśnej i zielnej oraz węgla wytypowanych do testów spalania. Analizy te wykazały, że paliwa te różnią się pod względem parametrów fizykochemicznych.
4. Wykazanie, że charakterystyczne temperatury topnienia popiołu zależą od atmosfery, w jakiej znajdują się próbki, tj.: utleniająca, półredukująca.
5. Wykazanie za pomocą badań termograwimetrycznych, że intensywność uwalniania części lotnych z paliwa jest większa dla biomasy, a proces ten rozpoczyna się w niskich temperaturach. Natomiast dla węgla proces ten jest powolny i zachodzi w wysokich temperaturach. Badania te udowodniły, że proces wypalania biomasy jest szybszy niż węgla kamiennego.
6. Udowodnienie, że temperatura powietrza do spalania pod ruszt wpływa na intensywność i wielkość powstawania aglomeratów. Istotne znacznie mają tutaj także parametry pracy rusztu wibracyjnego, takie jak: częstotliwość uruchomień wibracji oraz częstotliwość drgania rusztu. Brak danych w literaturze przedmiotu w odniesieniu do kotłów z rusztem wibracyjnym.
7. Wykazanie, że w czasie wibracji następuje wzrost temperatury złoża w stosunku do temperatury w czasie postoju.
8. Wykazanie, że profil temperatury złoża w czasie spalania węgla kształtuje się inaczej, niż ma to miejsce w przypadku spalania biomasy. Potwierdzają to przeprowadzone badania termograwimetryczne.
9. Wykazanie, że skład chemiczny żużli zmienia się w zależności od warunków spalania oraz wielkości powstałych aglomeratów. Brak danych w literaturze przedmiotu w odniesieniu do kotłów z rusztem wibracyjnym.
10. Wykazanie, że prędkość i intensywność powstawania aglomeratów ulega zwiększeniu wraz ze zmianą składu chemicznego popiołu i wzrostem zawartości Na_2O i K_2O . Najmniejsze aglomeraty powstają, jeśli udział SiO_2 jest dominujący. Żużel zawierający znaczne ilości CaO i MgO powodował, że struktura aglomeratu była nietrwała. Brak danych w literaturze przedmiotu w odniesieniu do kotłów z rusztem wibracyjnym.
11. Wykazanie, że w żużlu pochodzącym z węgla dominujący udział mają oprócz Si, także Al, Fe oraz Na. Aglomeraty powstałe ze spalania biomasy posiadają w swoim składzie głównie K, Ca, Mg i P. W obydwóch typach aglomeratów największy udział ma Si. Brak danych w literaturze przedmiotu w odniesieniu do kotłów z rusztem wibracyjnym.

12. Udowodnienie, że temperatury topnienia popiołu różnią się dla próbek otrzymanych przez spopielenie paliwa w warunkach laboratoryjnych w odniesieniu do próbek otrzymanych w rzeczywistych warunkach spalania panujących w kotle. Brak danych w literaturze przedmiotu.
13. Badania SEM/EDS wykazały, że struktura aglomeratów powstałych ze spalania węgla różni się od aglomeratów powstałych w czasie spalania biomasy.
14. Zastosowanie metody Hardgrove'a do określenia podatności przemiałowej powstałych żużli i wykazanie, że trwałość aglomeratów uzależniona jest od stopnia przetopienia popiołu, a co za tym idzie wzrostem zagęszczenia cząstek popiołu w żużlu. Brak danych w literaturze przedmiotu.

Osiągnięcia aplikacyjne pracy

Do osiągnięć aplikacyjnych pracy należy:

1. Budowa pilotowej jednostki badawczej paleniska z rusztem wibracyjnym umożliwiającej przeprowadzanie badań powstawania aglomeratów dla spalania innych rodzajów paliwa, np. odpadów.
2. Wykazanie, że ustawienia parametrów pracy rusztu wibracyjnego należy dobierać indywidualnie dla każdego paliwa projektowego tak, by otrzymywać jak najmniejsze aglomeraty, minimalizując tym samym stratę niecałkowitego spalania.
3. Spalanie paliw biomasowych o dużej zawartości pierwiastków alkalicznych powinno być prowadzone w jak najniższej temperaturze powietrza pod ruszt. Określenie tej temperatury powinno być poprzedzone testami spalania na stanowisku badawczym według sekwencji przedstawionej w niniejszej pracy.

Poziom warsztatowy

Przedstawiona rozprawa jest wynikiem trudnych u uciążliwych badań eksperymentalnych. Autor wykazał bardzo dobre przygotowanie w ich realizacji, opanowanie technik eksperymentalnych oraz wystarczającą dla właściwego postawienia problemu znajomość potrzeb energetyki. W szczególności podkreślić należy na swobodę z jaką posługuje się stosowanymi pojęciami oraz zależnościami. Zarówno dobór tematyki jak i analizowanych źródeł uznać należy za prawidłowy.

Pomijając niedociągnięcia językowe i edytorskie można przyjąć, że rozprawa została napisana poprawnie. Praca posiada przejrzysty układ treści, konsekwentnie stosowane nazewnictwo oraz symbolikę.

Uwagi krytyczne

W trakcie czytania pracy nasunęły mi się pewne uwagi krytyczne, które nie mają jednak istotnego wpływu na wartość merytoryczną przedstawionej rozprawy, a dotyczą zagadnień omówionych poniżej.

1. Brakuje stanu wiedzy odnośnie rusztów wibracyjnych, tym bardziej, że od wielu lat firmy polskie zajmowały się tym rozwiązaniem np. Sefako, CBKK Tarnowskie Góry. Brakuje opisu doświadczeń firm amerykańskich zajmujących się spalaniem na rusztach wibracyjnych.
2. W wyniku aglomeracji powinna wzrosnąć strata niecałkowitego spalania – w pracy brakuje tej analizy i opisu.
3. Jak na proces aglomeracji mogłaby wpłynąć recyrkulacja spalin – proszę o komentarz.
4. Największym wyzwaniem związanym ze spalaniem paliw biomasowych obok tych wymienionych na str. 9 są emisje zanieczyszczeń, w tym pyłów PM2.5. Niestety emisje zostały pominięte.
5. Autor na str. 11 twierdzi, że technologia kotłów rusztowych „przeżywa renesans”. Proszę o podanie zrealizowanych obiektów w Polsce, bądź tych w trakcie realizacji, gdzie wykorzystuje się spalanie trudnych paliw biomasowych na ruszcie wibracyjnym.
6. Na str. 12 Autor skupia się wyłącznie na spalaniu. Należało wspomnieć o instalacjach zgazowania biomasy.
7. Klasyfikacja przedstawiona na rys. 2.2. dotyczy technologii fluidalnego spalania, a nie rusztowego.
8. W celu pracy Autor podaje, iż zajmować się będzie m.in. „trudnymi paliwami” jak również odpadami biomasowymi z ferm. Proszę o podanie definicji tych paliw i czy to oznacza, że odpady pochodzące z ferm drobiu nie należą do grupy trudnych paliw.
9. Przedmiotem rozprawy jest analiza procesu spalania w kotłach rusztowych. Tymczasem Autor przytacza wyniki własnych obliczeń (np. str. 60) dotyczących kotłów fluidalnych czyniąc rozprawę bardzo obszerną. Należało skupić się na

tematyce rozprawy i pominąć te analizy. Po co np. zamieszczono wyniki emisji z kotła CFB dla PAK Konin?

10. Patrząc na Tabelę 4.3 czytelnik odnosi wrażenie, że największymi zaletami cechują się kotły rusztowe. Tabela ta wymaga głębszego komentarza.
11. Na str. 76 przy omawianiu problemów należy wspomnieć o emisjach, zwłaszcza pyłów PM 2.5.
12. Str. 77 – Autor niepotrzebnie omawia problemy występujące w kotłach CFB.
13. Str. 78 – formowanie osadów zależy również od geometrii ułożenia pęczków rur.
14. Str. 141 – skąd taka duża zawartość krzemionki w drewnie ? Czy w specyfikacji dostaw peletów nie powinna być podana maksymalna zawartość krzemionki?
15. Str. 148 – zawartość tlenu potasu była podobna jak dla odchodów, a temperatury D_t różne – proszę o wyjaśnienie.

Wnioski końcowe

Reasumując można stwierdzić, iż tematyka rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Rosenbergera „Aglomeracja paliw w kotłach z rusztem wibracyjnym” wiąże się bezpośrednio z obserwowanym od kilku lat dynamicznym rozwojem technologii spalania trudnych paliw biomasowych. Problem naukowy został postawiony poprawnie oraz rozwinięty za pośrednictwem sformułowanych tez rozprawy. Cel jak i zakres pracy adekwatnie wynikają z przeprowadzonej analizy literatury przedmiotu oraz postawionego problemu przez Autora. Rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i oryginalne dokonanie aplikacyjne. Kandydata wykazał się bardzo dobrą wiedzą teoretyczną i praktyczną w dyscyplinie naukowej energetyka oraz wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Jej poziom merytoryczny uważam za dobry. Poprawnie wybrano przedmiot analiz i metodykę, uzyskano ważne kompleksowe wyniki, aczkolwiek o dużym poziomie niepewności. Praca w pełni odpowiada dyscyplinie energetyka.

Oceniona rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane przez obowiązującą ustawę o stopniach i tytułach naukowych. Wobec powyższego wnioskuję, by Wysoka Rada Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach dopuściła mgr inż. Krzysztofa Rosenbergera do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

