



Katowice, 15.01.2015

Dr hab. inż. Stanisław Gil
Zespół Energetyki Procesowej
Instytut Technologii Metali

RECENZJA

**pracy doktorskiej mgr inż. Natalii Kamińskiej-Pietrzak
pt. „Wpływ szybkości pirolizy mieszanek węglowo-biomasowych
na reaktywność karbonizatów w zgazowaniu powietrzem”**

Recenzję pracy doktorskiej mgr inż. Natalii Kamińskiej-Pietrzak opracowano na zlecenie Naczelnego Dyrektora Głównego Instytutu Górniczego z dnia 28.11.2014 r. wystawionego na podstawie uchwały Rady Naukowej GIG. Praca doktorska została wykonana w Głównym Instytucie Górniczym podczas Interdyscyplinarnych Studiów Doktoranckich w Zakresie Czystych Technologii Węglowych pod kierunkiem dr hab. Adama Smolińskiego, prof. GIG.

Rozwój nowoczesnych technologii węglowych jest odpowiedzią na oczekiwanie zastąpienia kopalnych paliw gazowych i ciekłych przez produkty otrzymane z węgla, a jedną z nich jest zgazowanie węgla z dodatkiem biomasy, które w ostatnim czasie przyciąga coraz większą uwagę badaczy, ze względu na potencjalne korzyści techniczne, ekonomiczne i ekologiczne (np. w postaci poprawy bilansu emisji dwutlenku węgla). Do celów energetycznych brane są pod uwagę przede wszystkim rośliny cechujące się szybkim przyrostem masy, a także roślinne odpady rolnicze oraz z przemysłu spożywczego i celulozowego. Doskonalenie technologii zgazowania węgla i biomasy wymaga pogłębienia znajomości mechanizmów zachodzących w nim zjawisk, zwłaszcza skomplikowanego etapu pirolizy, który jest złożonym procesem fizykochemicznym przebiegającym pod wpływem dostarczonego ciepła, a który jest początkową fazą wszystkich procesów termicznej przeróbki

węgla. Biomasa cechuje się innymi właściwościami energetycznymi oraz odmiennym składem chemicznym, niż węgiel kamienny czy brunatny. Dla zilustrowania tego faktu można podać, że wartość opałowa biomasy jest ok. dwukrotnie mniejsza niż energetycznego węgla kamiennego, zawartość siarki całkowitej ok. dziesięciokrotnie niższa, zawartość tlenu trzykrotnie wyższa, a skład popiołu zupełnie różny od popiołu węglowego. Istotne jest zatem odpowiednie dobranie: rodzaju węgla, wielkości jego cząstek, porowatości oraz ustalenie proporcji składu mieszaniny węgla i biomasy, ponieważ te dane w dużym stopniu będą decydować o własnościach karbonizatu i jego reaktywności w dalszym etapie zgazowania. Kluczowe znaczenie ma dobranie odpowiednich parametrów procesu, takich jak: temperatura, ciśnienie i szybkość nagrzewania, a także rodzaj i ilość czynnika zgazowującego. Wszystkie wymienione wielkości mają decydujący wpływ na efektywną konwersję energii zawartej w rozważanym paliwie, a oszacowanie ich wymaga dalszych wnikliwych badań nad procesem zgazowania węgla i biomasy.

Właśnie ta istotna problematyka, potrzebna z punktu widzenia rozwoju technologii zgazowania węgla i biomasy, stanowi główny cel recenzowanej pracy. Poziom i elementy naukowe wykonanych badań eksperymentalnych uzasadniają ich przyjęcie jako przedmiotu rozprawy doktorskiej. Doktorantka skoncentrowała swoją uwagę na określeniu wpływu szybkości nagrzewania mieszanin węgla i biomasy w procesie pirolizy na późniejszą reaktywność otrzymanych karbonizatów podczas zgazowania z zastosowaniem powietrza jako czynnika zgazowującego. Autorka postawiła tezę, że wpływ ten, w wyniku interakcji w składzie mieszaniny, jest odmienny od wpływu obserwowanego dla jednego ze składników i jest trudny do przewidzenia jedynie na podstawie znajomości jej składu.

Rozprawa zawiera 121 stron, w tym 9 tablic i 53 rysunki. Zakres prac badawczych wykonanych przez doktorantkę obejmuje między innymi:

- ❑ przegląd przedmiotowej literatury (100 zacytowanych pozycji),
- ❑ przeprowadzenie analiz fizykochemicznych węgla energetycznego i wytypowanej biomasy oraz ich popiołów,
- ❑ opracowanie metodyki pomiarowej,
- ❑ wykonanie eksperymentów termogravimetrycznych w procesie odgazowania i zgazowania mieszanin o różnym składzie,
- ❑ analizę krzywych TG i DTG oraz opracowanie wyników pomiarów,

- ❑ wyznaczenie reaktywności i stopnia konwersji karbonizatów badanych mieszanin,
- ❑ porównanie uzyskanych wydajności karbonizatów oraz wartości przewidywanych na podstawie danych eksperymentalnych i obliczeń,
- ❑ określenie zależności reaktywności od stopnia konwersji karbonizatów.

Pracę rozpoczyna analiza literaturowa dotycząca dokonań w badaniach nad pirolizą i zgazowaniem węgla z biomasą. Obszerny materiał, bo prawie 50% pracy, zawierający wyczerpujące omówienie tych złożonych procesów, umożliwił sformułowanie interesującego celu rozprawy.

Autorka umiejętnie planuje eksperymenty, wykorzystując wiedzę o mechanizmach procesów konwersji paliw stałych, a w szczególności ich mieszanin. Na podkreślenie zasługuje opracowanie przez doktorantkę oryginalnej metodyki badawczej, obszerny zakres badań oraz duża ilość wykonanych eksperymentów, co podnosi wiarygodność uzyskanych wyników i wyciągniętych z nich wniosków. Czytając pracę nie można oprzeć się wrażeniu, że eksperymenty były przygotowane bardzo starannie. W każdym przypadku Autorka dogłębnie analizuje uzyskane wyniki, wykazując cechy doświadczonego badacza i eksperymentatora. Charakteryzuje się dużą dociekliwością oraz obiektywnym krytycyzmem w odniesieniu do informacji zawartych w publikacjach literaturowych, jak również w odniesieniu do wyników badań własnych.

Znaczna część pracy poświęcona została omówieniu wyników eksperymentalnych zgazowania dotyczących wpływu szybkości nagrzewania na reaktywność karbonizatów dla różnych udziałów składu mieszaniny węgla i biomasy, zależności reaktywności od stopnia konwersji karbonizatów oraz porównaniu uzyskanych wydajności karbonizatów oraz wartości przewidywanych na podstawie danych eksperymentalnych i obliczeń.

Podsumowując pracę Autorka wykazała, że szybkość nagrzewania podczas pirolizy ma istotny wpływ na reaktywność i wydajność karbonizatów w trakcie zgazowania powietrzem. Oszacowała także, przy jakim stopniu konwersji karbonizatu jest jego maksymalna reaktywność. Podkreśliła również, że zastosowana szybkości nagrzewania w procesie pirolizy decyduje o stopniu reaktywności karbonizatu podczas zgazowania względem jego stopnia konwersji.

Praca została zredagowana starannie i napisana zwięzłym językiem, a podawane stwierdzenia są dobrze wyważone. Podczas jej czytania nasunęło mi się kilka uwag

merytorycznych, błędów formalnych i drukarsko-redakcyjnych. Dla kompletności recenzji poniżej przytaczam ważniejsze z nich:

- ❑ w pracy brak spisu tablic i spisu rysunków;
- ❑ w spisie oznaczeń brak wyjaśnienia indeksów górnych i dolnych (np. jest „A^a - zawartość popiołu”, a powinno być „A^a - zawartość popiołu w stanie analitycznym”), „dm/dt” nazwane jest „zmianą masy w czasie”, raczej powinno być określone jako „szybkość ubytku masy”, ponieważ na stronie 50 pojawia się „ubytek masy próbki w czasie”;
- ❑ podpunkt 3.5.2. na str. 23 nazwany jest „Czas przebywania”, raczej powinien brzmieć „Czas pirolizy”;
- ❑ brak komentarza w tekście do tablicy 4 na str. 34 i tablicy 5 na str. 36;
- ❑ czy tablica 8 na str. 42 jest dziełem Autorki, czy jest cytatem?;
- ❑ wzór nr (2) na str. 42 przedstawiający stopień konwersji karbonizatu należałoby uprościć do postaci $X = 1 - (m_1 - m_{\text{ash}}) / (m_0 - m_{\text{ash}})$;
- ❑ w podpunkcie 4.2.5. na str. 75 i dalszych podpunktach przedstawione jest „porównanie uzyskanych wydajności karbonizatów z mieszanin węgla kamiennego i biomasy oraz wartości przewidywanych na podstawie danych eksperymentalnych i obliczeń”, moim zdaniem brakuje opisanie procedury obliczeń wartości przewidywanych, należałoby na jednym z wykresów TG pokazać sposób wyznaczania tych wartości,
- ❑ w pracy brakuje statystycznego opracowania wyników pomiarów oraz wyznaczenia niepewności pomiarowych;
- ❑ opisanie modelem matematycznym tak bogatego materiału eksperymentalnego byłoby cennym uzupełnieniem powyższej rozprawy;
- ❑ usterki stylistyczne, błędy literowe zaznaczyłem w dostarczonym egzemplarzu pracy i z tego powodu nie będę ich zamieszczał w tym miejscu.

Przytoczone powyżej uwagi mają w większości charakter dyskusyjny lub mówią jedynie o niedociągnięciach i w niczym nie pomniejszają zasadniczej wartości pracy.

Podsumowując uważam, iż postawiony w pracy cel został osiągnięty, a uzyskane wyniki eksperymentalne stanowią cenny materiał uzupełniający dotychczasową wiedzę dotyczącą zgazowania węgla i biomasy.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że zgodnie z ustawą o stopniach i tytułach naukowych, recenzowana rozprawa spełnia stawiane pracom doktorskim wymagania i wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Natalii Kamińskiej-Pietrzak do publicznej obrony.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'J. Pietrzak', is located in the lower right quadrant of the page.