



Katowice, 15.01.2015

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

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr Beaty Urych

pt. „Modelowanie pirolizy w procesie podziemnego zgazowania węgla”

Recenzowana praca doktorska dotyczy ważnego, a przy tym złożonego, problemu pirolizy w procesie podziemnego zgazowania węgla. Rozwój nowych technologii węglowych jest odpowiedzią na oczekiwanie zastąpienia kopalnych paliw gazowych i ciekłych przez produkty otrzymane z węgla. Na świecie działa ok. 144 instalacji zgazowania o łącznej mocy cieplnej w produkowanym gazie ok. 56 GW. Obecnie w Polsce przeprowadza się kilka projektów badawczych i inwestycyjnych, bazujących na zgazowaniu węgla. Jednym z tematów realizowanych przez zespół Głównego Instytutu Górniczego jest opracowanie technologii podziemnego zgazowania węgla, będącej przyszłościową i uzupełniającą formą pozyskiwania energii, ale wymagającą dalszej wyężonej pracy przy wykonaniu instalacji przemysłowej i uzyskaniu efektywności ekonomicznej procesu.

Dotychczasowe doświadczenia dowodzą, że dalsze doskonalenie technologii zgazowania wymaga pogłębienia znajomości mechanizmów zachodzących procesów, zwłaszcza skomplikowanego procesu pirolizy. Piroliza to złożony proces fizykochemiczny przebiegający pod wpływem ciepła i jest elementem cząstkowym wszystkich procesów termicznej przeróbki węgla. Znajomość przebiegu reakcji rozkładu termicznego ma zatem istotne znaczenie dla ogólnego opisu tych procesów. Szybkość pirolizy oraz ilość i skład uzyskiwanych produktów lotnych zależy od takich czynników, jak: rodzaj węgla, szybkość

nagrzewania, wielkość cząstek węgla, jego porowatość, atmosfera otaczająca oraz ciśnienie, a w przypadku pirolizy w procesie podziemnego zgazowania węgla wymaga uwzględnienia warunków geologicznych.

W tym aspekcie podjęcie się przez doktorantkę realizacji tematyki badawczej, prezentowanej w pracy, należy uznać za bardzo celowe i potrzebne z punktu widzenia rozwoju technologii zgazowania węgla, zaś poziom i elementy naukowe wykonanych badań w pełni uzasadniają ich przyjęcie jako przedmiotu rozprawy doktorskiej. Uwaga doktorantki skupia się na kinetyce wydzielania głównych produktów gazowych w trakcie pirolizy procesu podziemnego zgazowania węgla. Autorka postawiła tezę, że model numeryczny odgazowania węgla z submodelem kinetyki wydzielania produktów może stanowić jakościowo nowe narzędzie do opisu pirolizy rozważanego procesu.

Praca zawiera 115 stron, nie licząc załączników, 29 tablic, 48 rysunków umieszczonych w tekście oraz 12 dodatkowych zamieszczonych w załączniku. Zakres prac badawczych wykonanych przez doktorantkę jest bardzo obszerny i obejmuje między innymi:

- ❑ przegląd przedmiotowej literatury (121 zacytowanych pozycji),
- ❑ opracowanie metod pomiarowych,
- ❑ wykonanie eksperymentów termograwimetrycznych i spektrometrycznych pobranych próbek węgla oraz opracowanie ich wyników,
- ❑ wyznaczenie szybkości reakcji z zastosowaniem różnych modeli kinetycznych oraz określenie wydajności poszczególnych produktów odgazowania,
- ❑ sporządzenie bilansu masy i energii w celu obliczenia zapotrzebowania ciepła do pirolizy,
- ❑ modelowanie odgazowania pokładu węgla z wykorzystaniem zawansowanych technik komputerowych oraz przedstawienie trójwymiarowej symulacji wyzwala się produktów gazowych.

Pracę otwiera analiza dotycząca dokonań w badaniach nad zgazowaniem i pirolizą węgla ze szczególnym uwzględnieniem jego podziemnego zgazowania. Obszerny materiał (prawie ok. 30% pracy), zawierający wyczerpujące omówienie tych złożonych, wielostronnie uwarunkowanych procesów, umożliwił sformułowanie interesującego celu rozprawy.

Autorka umiejętnie planuje eksperymenty, wykorzystując wiedzę o mechanizmach tworzenia się produktów gazowych w procesie pirolizy węgla. 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 przedstawia wyraźny cel, jaki zamierza osiągnąć, a następnie 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.

Doktorantka nie ograniczyła się jedynie do badań eksperymentalnych. Znaczna część pracy poświęcona została badaniom kinetyki procesu pirolizy węgla. Duże znaczenie praktyczne mają uzyskane przez Autorkę stałe kinetyczne procesu przy zastosowaniu różnych modeli szybkości odgazowania węgla, co pozwoliło na dobre dopasowanie modelu do eksperymentów (współczynnik determinacji wynosił powyżej 0.95). Na podkreślenie zasługuje fakt rozdzielenia procesu na obszar kinetyczny i obszar dyfuzyjny, a także opracowanie procedur łączących modele matematyczne kilku innych badaczy z przekształceniami matematycznymi zaproponowanymi przez doktorantkę.

Dziewiąty rozdział pracy poświęcony został bilansowi substancji i energii, gdzie doktorantka wyznaczyła zapotrzebowanie na ciepło do procesu pirolizy. Należy podkreślić, że bilansowanie tego procesu jest trudne, gdyż zachodzą w nim przemiany fazowe składników oraz wytwarza się para wodna (pirogenetyczna) powstająca na skutek rozpadu łańcuchów zawierających grupy hydroksylowe oraz z reakcji syntezy wodoru z tlenem. Autorka wykazała dużą zależność wydajności poszczególnych produktów względem temperatury oraz znikomy wpływ szybkości ogrzewania.

Ostatni rozdział rozprawy zawiera opis symulacji pirolizy w warunkach podziemnego zgazowania węgla przy wykorzystaniu programu „Ansys-Fluent”. Zostały opracowane charakterystyki zmian udziałów molowych produktów gazowych procesu, które następnie odniesiono do wyników badań doświadczalnych. Zdaniem doktorantki, zaproponowany model, po uwzględnieniu wszystkich wspomnianych w pracy zjawisk, będzie przydatnym narzędziem do opisu podziemnej pirolizy węgla.

Praca została zredagowana bardzo starannie. Napisana jest zwięzłym językiem, a podawane stwierdzenia są dobrze wyważone. Podczas jej czytania nasunęło mi się stosunkowo niewiele uwag merytorycznych. Zauważyłem także niewiele błędów formalnych i drukarsko-redakcyjnych. Dla kompletności recenzji poniżej przytaczam ważniejsze z nich:

- ❑ w spisie oznaczeń: brakuje symboli „a” i „b” współczynników użytych w równaniu 45 na stronie 66, brak też jest jednostek tych współczynników w tabelicy 16; gradient temperatury płynu „ γ ” powinien mieć jednostkę $K m^{-1}$ lub $K s^{-1}$; masa wydzielonych części lotnych „V” ma wymiar $kg kg^{-1}$ – wyrażenie to powinno być raczej nazwane jako udział masy; stała szybkości reakcji „k” – używane pojęcie „stała szybkości reakcji” jest wielkością co najmniej zależną od temperatury, a skoro ta się zmienia w trakcie zachodzenia procesu to i tzw. stała szybkości jest wielkością zmieniającą się – można by się zastanowić, czy nie używać pojęcia „współczynnik kinetyki reakcji chemicznej”;
- ❑ autorami zacytowanego rysunku nr 5 na str. 29 są Glaser R.R. i Owen T.E., a rysunek ten pochodzi z publikacji w „Proceedings of the 12th Annual Underground Coal Gasification Symposium” z 1986 roku;
- ❑ w tabelicy 3 na str. 36, gdzie podawane są energia aktywacji i przedeksponencjalna stała kinetyczna powinno być umieszczone równanie kinetyczne pirolizy węgla;
- ❑ chciałbym prosić o przedstawienie metody całkowania równania 24, gdyż jego rozwiązanie opisane równaniem 25 moim zdaniem zawiera błędy, ponieważ nie zgadzają się jednostki, a ponadto nie można logarytmować wielkości mianowanej, temu służą wielkości zredukowane;
- ❑ te same uwagi odnoszą się także do równania 30 na str. 52;
- ❑ w równaniu zachowania pędu nr 78 na str. 91 tensor naprężeń powinien mieć jednostkę Nm^{-2} , natomiast wektor sił zewnętrznych Nm^{-3} ;
- ❑ w równaniu zachowania energii nr 79 na str. 91 wyrażenie po prawej stronie równania powinno mieć zapis $\frac{\partial}{\partial t}(\rho\Psi + p) + (\rho\vec{v})\vec{\nabla}\Psi$, gdyż pochodna cząstkowa ciśnienia odnosi się do czasu; ciepło reakcji i inne źródła ciepła muszą mieć wymiar $Jm^{-3}s^{-1}$, należałoby też podać warunki brzegowe zdefiniowane w programie „Ansys-Fluent”;
- ❑ nieliczne 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 ambitny cel został osiągnięty, a uzyskane wyniki stanowią cenny materiał uzupełniający dotychczasową wiedzę dotyczącą podziemnego zgazowania węgla.

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 Beaty Urych do publicznej obrony.

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