

Prof. dr hab. inż. Wojciech Stanek

Gliwice, 10 września 2019

Politechnika Śląska

Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

Instytut Techniki Ciepłej

ul. Konarskiego 22, 44-100 Gliwice

wojciech.stanek@polsl.pl

Recenzja pracy doktorskiej

mgr inż. Magdaleny Cempy

pt. „*Analiza możliwości wykorzystania nadmiarowego ciepła procesowego w zgazowaniu węgla*”

Podstawą niniejszej recenzji było zlecenie Prof. dr hab. inż. Stanisława Pruska, Dyrektora Głównego Instytutu Górniczego w Katowicach. Promotorem pracy jest Prof. dr hab. inż. Adam Smoliński, a promotorem pomocniczym Dr inż. Beata Urych.

1. Tematyka pracy doktorskiej i trafność jej doboru

Praca poświęcona jest badaniom w zakresie wpływu wstępnego podgrzewania substratów na efektywność procesu zgazowania węgla, co z całą pewnością wpisuje się aktualne trendy rozwoju współczesnych technologii zgazowania węgla. Celem pracy było w szczególności określenie wpływu wstępnego ogrzewania reagentów gazowych przed ich wprowadzeniem do złoża na efektywność procesu zgazowania oraz wykazanie możliwości wykorzystania ciepła nadmiarowego (odpadowego) do ogrzewania czynnika zgazowującego. Badania procesu zgazowania węgla przy wykorzystaniu różnych czynników zgazowujących oraz przy różnych temperaturach czynnika prowadzono w laboratoryjnej instalacji z reaktorem ze złożem stałym. Należy podkreślić, że w ramach realizacji pracy został zaprojektowany i zbudowany przez Autorkę pracy odpowiedni system grzewczy umożliwiający podgrzanie czynników zgazowujących do założonej temperatury. Pozwoliło to na zrealizowanie zaplanowanych badań w zakresie analizy wpływu wykorzystania nadmiarowego ciepła procesowego (odpadowego) na efektywność procesu zgazowania. Uważam że zaproponowany temat

W. Stanek

i zakres pracy wpisuje się bez wątpienia w obszar ważnych i aktualnych problemów dotyczących gospodarki energetycznej oraz efektywności procesów energetycznych. Podjęcie tematu należy uznać za w pełni uzasadnione.

2. Ogólna charakterystyka pracy

Na podstawie szczegółowej analizy istniejącego stanu wiedzy (rozdział 2 – Przegląd literatury obejmuje 37 stron co stanowi ok. 30% głównego tekstu pracy) Autorka pracy jednoznacznie i szczegółowo formułuje cel i plan badań, które mają pozwolić na określenie możliwości wykorzystania nadmiarowego ciepła procesowego w procesie zgazowania węgla. W szczególności w pracy położono nacisk na badania w zakresie wpływu wstępnego podgrzewania substratów na efektywność procesu zgazowania węgla. We wstępie do pracy w zakresie uzasadnienia podjęcia tematu badawczego Autorka podkreśla iż *„Polska energetyka oparta jest obecnie głównie na technologiach węglowych oraz że odnawialne źródła energii w polskiej strefie klimatycznej nie zapewniają bezpieczeństwa energetycznego. W związku z tym wydaje się celowe prowadzenie badań nad poprawą efektywności technologii produkcji energii w oparciu o węgiel. Możliwość wykorzystania ciepła z innych procesów przemysłowych do zgazowania węgla może stanowić sposób na poprawę jego efektywności”*. W pełni należy zgodzić się z postawioną tezą, a zaplanowane badania uznać za uzasadnione z punktu widzenia bardziej efektywnego i bardziej ekologicznego wykorzystania węgla kamiennego w przyszłości. Zaproponowana w pracy metodyka badań, a w szczególności zaproponowana rozbudowa istniejącej bazy laboratoryjnej z całą pewnością są stanowią oryginalny dorobek Autorki pracy doktorskiej. Opracowana metodyka i zaprojektowane stanowiska badawcze pozwoliły uzyskać szczegółowe wyniki w zakresie analizy możliwości wykorzystania nadmiarowego ciepła procesowego w zgazowaniu węgla oraz oceny potencjału poprawy efektywności tego procesu.

Praca podzielona jest na pięć głównych rozdziałów. Rozdziały te dotyczą odpowiednio:

- 1) Rozdział 1 – Wstęp.
- 2) Rozdział 2 – Przegląd literatury.
- 3) Rozdział 3 – Badania reaktywności karbonizatów, w którym Autorka szczegółowo prezentuje metodykę badań oraz wyniki badań reaktywności karbonizatów.
- 4) Rozdział 4 – Badania zgazowania karbonizatów, w którym zaprezentowano metodykę badań zgazowania, wyniki badań zgazowania oraz analizę wpływu wstępnego

W. Stawek

ogrzewania reagentów gazowych przed wprowadzeniem na złożę na efektywność procesu zgazowania karbonizatu.

5) Rozdział 5 – Podsumowanie i wnioski.

W streszczeniu pracy oraz we wstępie do pracy Autorka szczegółowo formułuje cel pracy, niestety zabrakło precyzyjnie sformułowanej tezy pracy doktorskiej. W rozdziałach (głównych) 3 i 4 Autorka szczegółowo opisuje przeprowadzone badania oraz uzyskane rezultaty i wnioski w zakresie badania reaktywności oraz zgazowania karbonizatów. W szczególności w ramach realizacji pracy został zaprojektowany oraz zbudowany układ wstępnego ogrzewania czynnika zgazowującego przed wprowadzeniem na złożę. Aby umożliwić regulację strefy ogrzewania zastosowano zestaw dwóch pieców oporowych umieszczony w jednej obudowie, z niezależną regulacją temperatury każdego z nich. Dolny piec służył do ogrzewania czynnika zgazowującego, który przepływał przez zbiornik, natomiast górny piec służył do ogrzewania reaktora ze złożem stałym. Zastosowany układ umożliwił zasymulowanie wykorzystania nadmiarowego ciepła z innych procesów do wstępnego ogrzewania czynnika zgazowującego przed wprowadzeniem na złożę. Projekt układu wstępnego ogrzewania czynnika zgazowującego z całą pewnością należy ocenić jako istotny wkład Autorki w zakresie badań dotyczących efektywności procesu zgazowania węgla. Do badań reaktywności Autorka pracy wybrała 10 próbek węgla kamiennych z różnych pokładów i dla każdej próbki dokonała oznaczenia parametrów fizykochemicznych oraz przeprowadziła badania reaktywności. Dla wybranych próbek zostały ponadto określone parametry fizykochemiczne istotne dla procesu zgazowania. Badania procesu zgazowania karbonizatów zostały przeprowadzone w laboratoryjnej instalacji ze złożem stałym. Należy jeszcze raz podkreślić, że w ramach pracy został zaprojektowany i zbudowany nowy system grzewczy umożliwiający sterowanie ogrzewaniem reaktora z możliwością niezależnego ogrzewania czynników zgazowujących do zadanej temperatury. Zastosowanie regulacji strefy ogrzewania umożliwiło zasymulowanie wykorzystania nadmiarowego ciepła procesowego (odpadowego) do wstępnego ogrzewania reagentów gazowych przed wprowadzeniem ich do reaktora według opracowanej autorskiej procedury badawczej, co było jednym z głównych celów badawczych zaplanowanych w pracy. Wykorzystując zaprojektowane stanowisko badawcze została przeprowadzona szczegółowa analiza wpływu wstępnego ogrzewania reagentów gazowych przed wprowadzeniem na złożę w trzech wariantach grzania (system A - grzanie reaktora włączone, wstępne ogrzewanie czynnika zgazowującego wyłączone; system

B - grzanie reaktora wyłączone, wstępne ogrzewanie czynnika zgazowującego włączone; system **C** - grzanie reaktora włączone, wstępne ogrzewanie czynnika zgazowującego włączone) na efektywność procesu zgazowania karbonizatu. W badaniach uwzględniono wpływ temperatury procesu (700, 800, 900 °C) oraz rodzaj reagenta gazowego (powietrze, mieszanina pary wodnej i tlenu lub tlen).

Badania zgazowania karbonizatu otrzymanego z wybranej próbki węgla przeprowadzono w temperaturze 700, 800 i 900 °C z zastosowaniem trzech systemów grzania. Na podstawie przeprowadzonych badań określono szczegółowo wpływ wstępnego ogrzewania reagentów gazowych przed wprowadzeniem na złożę na efektywność procesu zgazowania węgla i wykazano możliwość wykorzystania ciepła nadmiarowego z innych procesów do ogrzewania czynnika zgazowującego. Z całą pewnością należy stwierdzić, że zaplanowany cel pracy został osiągnięty. Należy dodać, że na podstawie przeprowadzonych badań Autorka formułuje wnioski w zakresie:

- korelacji między reaktywnością karbonizatów w procesie zgazowania powietrzem a wskaźnikiem *fixed carbon*,
- wpływu wykorzystania nadmiarowego ciepła procesowego w zgazowaniu do wstępnego ogrzewania czynnika przed wprowadzeniem na złożę na poprawę efektywności procesu w zakresie temperatury 700-900°C oraz różnych czynników zgazowujących (powietrze, para wodna, tlen, mieszanina pary wodnej tlenu),
- wzrostu temperatury procesu zgazowania z 700 do 900°C w systemie na względny wzrost całkowitej objętości gazu i objętości wodoru,
- możliwości wykorzystania nadmiarowego ciepła z innych procesów w zgazowaniu węgla do wstępnego ogrzewania czynnika zgazowującego przed wprowadzeniem na złożę.

Zawarte w pracy wnioski są istotne z punktu widzenia dalszego doskonalenia procesów zgazowania węgla oraz poprawy ich efektywności. Uważam zatem, że w ramach realizacji pracy Autorka konsekwentnie dąży do osiągnięcia założonego celu. Ponadto uważam, że Przyjęty w pracy plan badań nie budzi zastrzeżeń, a zastosowana metodyka jest poprawna z punktu widzenia założonych celów pracy. Opracowane narzędzia (stanowisko badawcze) oraz wyniki uzyskane w ramach przeprowadzonych badań eksperymentalnych z całą pewnością stanowią istotny wkład w zakresie rozwoju systemów zgazowania węgla. Należy również dodać, że prezentowana praca stanowi zwięzłą prezentację podjętego tematu i jest w zasadzie napisana dobrym językiem. Jedynym zastrzeżeniem jest, iż w pracach naukowych raczej nie stosuje się stylu „zbudowałam”, „obliczyłam” (patrz np. str. 13,14, 17,20, 29,30,33,36, 38, 41,

W. Stawek

51, 57, 63, 69, 70, 75 i dalsze), a raczej: „w pracy obliczono”, w pracy zaprezentowano”. Zauważone w pracy usterki (zarówno o charakterze merytorycznym jak i redakcyjnym) oraz elementy dyskusyjne omówiono w kolejnym punkcie niniejszej recenzji.

3. Uwagi do pracy

3.1 Uwagi merytoryczne o charakterze krytycznym i dyskusyjnym

1. (Str. 20 i inne) Autorka stosuje pojęcie „energia cieplna”, które z punktu widzenia termodynamiki jest niepoprawne. Ciepło nie jest formą energii, a sposobem jej przekazywania.
2. (Str. 22) Autorka przedstawia dyskusję w zakresie emisji CO₂ obciążającej wykorzystanie paliw w procesie spalania. Przedstawione wskaźniki obciążające proces spalania i odniesione do jednostki energii pierwotnej powinny w zasadzie zawierać dodatkowe emisji obciążające procesy pozyskania i transportu paliw.
3. (Str. 29) Autorka używa pojęcia „efektywność procesu”. Sformułowanie jest nieprecyzyjne gdyż w praktyce stosuje się różne kryteria oceny efektywności (np. energetyczna, ekonomiczna, ...).
4. (str. 41) Co oznacza „sprawność termodynamiczna” – zastosowane sformułowanie jest mało precyzyjne jako że w termodynamice stosuje się różne sprawności np. energetyczną i egzergetyczną.
5. (Str. 60, r. 2.1.5) uważam, że opis jest zbyt lakoniczny, a z całą pewnością bilans energii jest istotny skoro jednym ze wskaźników oceny cytowanym w pracy jest CGE (patrz str. 46 wzór 2.2)
6. (Str. 65, rys. 2.8) Rodzi się wątpliwość czy schemat przedstawiony na rysunku można zaliczyć do kogeneracji skoro nośnik ciepła pobierany jest przed turbiną – przed wykonaniem pracy?
7. (Str. 51, Tab. 2.8) Przy porównaniu zalet i wad różnych czynników zgazowujących w przypadku tlenu technicznego Autorka wymienia jako wadę – „drogie medium”. W tym przypadku pod uwagę należy również brać energochłonność wytwarzania tego czynnika. I przy takim podejściu ocena efektywności energetycznej za pomocą wskaźnika CGE (wzór 2.2, str. 46) nie jest poprawna. W tym przypadku ocena

W. Starek

powinna być dokonana w globalnej osłonie bilansowej obejmującej również proces wytwarzania tlenu.

3.2. Wybrane uwagi o charakterze redakcyjnym

1. (Str. 23) Czy cytowane obniżenie sprawności bloku 8-11 % jest wyrażone w procentach czy w punktach procentowych.
2. (Str. 28) Przedstawione uzasadnienie perspektyw rozwoju technologii zgazowania węgla w połączeniu z energetyką jądrową jest zbyt lakoniczne.
3. (Str. 31-68) Rozdział „Przegląd literatury” obejmuje 33 strony co stanowi ok. 25% głównej części pracy. Czy część rozdziału nie powinna być w osobnym rozdziale „Podstawy teoretyczne”? Przegląd literatury powinien raczej odnosić się do stanu wiedzy, a nie omawianych i stosowanych metod i teorii (patrz np. str. 32, patrz np. pkt. 2.1.2).
4. (Str. 64, tablica 2.11) Brak precyzyjnego określenia o jaką „sprawność elektrowni” chodzi.
5. (Str. 61) Autorka objaśnia cyt. „*Para po przejściu przez turbinę jest skraplana i porusza się w obiegu zamkniętym (obieg Clausiusa-Rankina) Energia mechaniczna jest przetwarzana na energię elektryczną*” – rodzi się wątpliwość czy praca doktorska jest miejscem na wyjaśnienia tak elementarnych informacji.

4. Wniosek końcowy

Podsumowując, należy stwierdzić, że recenzowana praca stanowi zwartą i szczegółową prezentację badań w zakresie możliwości wykorzystania nadmiarowego ciepła procesowego w zgazowaniu węgla, w szczególności z punktu widzenia poprawy efektywności procesu zgazowania. Opracowany plan badań, projekt stanowiska oraz uzyskane rezultaty i ich dyskusja stanowią cenny wkład w zakresie badań dotyczących procesów zgazowania paliw stałych. Z całą pewnością stwierdzam również, że Autorka osiągnęła zamierzony cel. Mimo wypunktowanych uchybień o charakterze merytorycznym i redakcyjnym pracę oceniam bardzo dobrze. Jestem przekonany, że oceniona praca spełnia wymagania stawiane pracom

N. Stawek

doktorskim określone w Ustawie o stopniach i tytułach naukowych. Wnoszę o dopuszczenie
Pani mgr inż. Magdaleny Cempy do publicznej obrony pracy doktorskiej.

Wojciech Stanek

Prof. dr hab. inż. Wojciech Stanek

Instytut Techniki Ciepłej

Politechnika Śląska