

dr hab. inż. Marek Juszcak
Instytut Inżynierii Środowiska
Politechnika Poznańska
ul. Berdychowo 4
61-131 Poznań

Poznań, 30 listopad 2018 r.

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Grzegorza Galko
pt. „Wytwarzanie gazu generatorowego w procesie zgazowania węgla i odpadów”
Promotor rozprawy: dr hab. inż. Danuta Joanna Król

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzję opracowano na zlecenie Pani Prodzikan ds. Nauki i Organizacji Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej dr hab. inż. Joanny Kalki, zgodnie z pismem RIE-BD/4/59/2018/2019, z dnia 6.11.2018.

2. Krótka charakterystyka pracy

Praca obejmuje 124 strony wraz z tablicami i rysunkami, streszczeniem w języku polskim i angielskim oraz spisem treści, a także spisem oznaczeń, symboli i skrótów, spisem tablic, spisem rysunków. Pracę podzielono na 13 rozdziałów. Rozdział 14 to Piśmiennictwo, które zawiera 102 pozycje, w tym 42 pozycje w języku angielskim. Doktorant jest współautorem 3 publikacji wymienionych w Piśmiennictwie, w tym 2 w czasopiśmie Przemysł Chemiczny z 2017 i 2018 roku i jednej w języku angielskim z konferencji naukowej w 2018 r., rejestrowanej w systemie Web of Conferences.

Praca doktorska dotyczy eksperymentów zgazowania węgla kamiennego z dwóch kopalń oraz biomasy: peletów z drewna iglastego i drewna liściastego, trocin zaolejonych, a także osadów ściekowych, gdzie czynnikiem zgazowującym było powietrze. Eksperymenty dotyczyły także współzgazowania biomasy w postaci pestek oliwek z węglem kamiennym, w proporcjach wagowych 70:30 i 80:20. Wszystkie badania eksperymentalne wykonano w gazogeneratorze rurowym przeciwprądowym w skali laboratoryjnej.

Celem pracy doktorskiej przedstawionej do recenzji było znalezienie optymalnych warunków dla zgazowania badanych substancji (paliw i odpadów) w reaktorze przeciwprądowym, w skali laboratoryjnej. Badania eksperymentalne miały na celu zorganizowanie procesu gazyfikacji w sposób umożliwiający uzyskanie gazu generatorowego o najwyższej kaloryczności przy najwyższej sprawności chemicznej procesu.

Na szczególną uwagę zasługuje nowatorskie podejście Autora rozprawy w odniesieniu do celu, jakim było wyznaczenie współczynników metanizacji, które określały aktywność wybranych gazów palnych stanowiących substraty, w mechanizmie tworzenia metanu.

Rozdział 1, to **Wprowadzenie**, w którym Doktorant stwierdza, że obecnie poszukuje się sposobów pozyskiwania energii z termicznego przekształcania paliw stałych z możliwie małą emisją gazowych zanieczyszczeń do otoczenia. W rozdziale tym przedstawia także ogólną charakterystykę węgla i biomasy.

Rozdział 2, to **Cel i zakres pracy**. W pracy Doktorant jako cel postawił sobie ocenę wpływu parametru technologicznego (stanowiącego stosunek ilości paliwa do ilości czynnika konwertującego) na skład powstającego gazu generatorowego w procesie zgazowania paliw i odpadów. Kolejnym celem Doktoranta było obliczenie: sprawności chemicznej procesu, stopnia konwersji węgla, kaloryczności wytworzonego gazu oraz współczynnika metalizacji. Celem było również zbudowanie modelu obliczeniowego zgazowania paliwa w oparciu o stałe równowagi i równania stechiometryczne oraz ocena zgodności między wynikami obliczeń i eksperymentem.

Rozdział 3, to **Uwarunkowania prawne procesów termicznego przekształcania paliw i odpadów**. W rozdziale tym Doktorant stwierdza, że procesy termicznego przekształcania odpadów stanowią sposób ich utylizacji, cytuje przy tym warunki jakie musi spełniać odpad, aby mógł być termicznie przekształcany w sposób autotermiczny: wilgotność poniżej 49,25%, zawartość części palnych powyżej 38,1%, udział części niepalnych poniżej 22,42%.

Rozdział 4, to **Charakterystyka procesu zgazowania**. Doktorant podaje tutaj opis procesu zgazowania i przedstawia stosowne reakcje chemiczne.

Rozdział 5, to **Charakterystyka rozwiązań procesu zgazowania paliw**. Na podstawie analizy literatury, w rozdziale omówione zostały rozwiązania konstrukcyjne instalacji zgazowania i możliwości uzyskania gazu generatorowego o określonym składzie i kaloryczności ze zgazowania różnych substancji.

Rozdział 6, to **Technologie przemysłowe**, w którym Doktorant omawia najbardziej charakterystyczne przemysłowe instalacje do zgazowania węgla, biomasy, a także współzgazowania węgla z biomasą.

Powyższe punkty zajmują 34 strony.
Pozostałe punkty dotyczą części doświadczalnej.

Rozdział 7, to **Opis eksperymentu**, gdzie Doktorant przedstawia charakterystykę materiałów palnych wytypowanych do badań, podaje wyniki przeprowadzonej analizy paliwowej, w tym składu elementarnego.

W Rozdziale 8 zatytułowanym **Eksperyment**, Doktorant definiuje procesowy parametr technologiczny, przedstawia schemat instalacji badawczej oraz schemat komory reakcji z wyszczególnieniem zachodzących w niej procesów.

Rozdział 9, to **Wyniki eksperymentu**. Doktorant zamieszcza kolejno wyniki uzyskane ze zgazowania wszystkich substancji użytych do badań oraz w każdym cyklu badawczym, wartości temperatur nad rusztem i nad warstwą paliwa. Wyniki przedstawione są w postaci wykresów: stężeń tlenu węgla, wodoru, metanu, ditlenku węgla, w zależności od wartości parametru technologicznego. Doktorant omawia wykresy i wyciąga wnioski.

Rozdział 10, to **Stechiometryczny model równowagowy zgazowania paliw stałych**. Doktorant przedstawił koncepcję obliczeniową modelu, obliczenia parametrów procesu zgazowania, bilans pierwiastków w paliwie i czynniku zgazującym a następnie wyniki symulacji dla zgazowania osadów ściekowych i węgla. Zestawił w tabelach udziały w gazie

generatorowym: metanu, tlenku węgla, ditlenku węgla i wodoru uzyskane z pomiarów i z obliczeń, w oparciu o utworzony model oraz określił zgodność tych wyników.

Rozdział 11, to **Ocena parametrów technologicznych**. Dla oceny efektywności procesu zgazowania wyznaczono: kaloryczność wytworzonego gazu (jako wartość opałową), sprawność chemiczną procesu, stopień konwersji węgla zawartego w substancji palnej. Wyniki zestawiono w tabelach i na wykresach oraz dokonano ich analizy.

Rozdział 12, to **Obliczenie współczynnika metanizacji**. Wartość tego współczynnika przedstawiono na wykresach słupkowych w zależności od parametru technologicznego.

Rozdział 13, to **Podsumowanie i wnioski**. W rozdziale tym, w oparciu o własne badania doświadczalne Doktorant stwierdził, że zgazowanie wytypowanych substancji stałych, obok ich unieszkodliwienia, umożliwia w optymalnych warunkach wytworzenie palnego gazu generatorowego. Określił te warunki i ich wpływ na jakość wytworzonego gazu generatorowego. Wskazał na możliwości wykorzystania wytworzonego gazu generatorowego.

3. Uwagi krytyczne

1. Brakuje rachunku błędów mierzonych wartości! Podawane są tylko wartości średnie, bez podania przedziału niepewności dla 95% poziomu ufności. Ustalenie przedziału niepewności pozwala ocenić wahania mierzonych wartości, a tym samym stabilność procesu.

2. Na wszystkich wykresach stężeń gazów względem czasu, np. str. 47 rys.9.1.3 i 9.1.4 oraz rys. 9.1.5 i 9.1.6, brakuje przebiegu temperatury nad rusztem i nad warstwą paliwa, choć w dalszej części pracy, stwierdza się, że temperatura ma wpływ na proces zgazowania, str. 102, zdanie: „Wzrost temperatury w zakresie 650 do 850⁰C.....[102].” Na stronie 103...zdanie... „Wzrost temperatury z 600 do 800⁰C powoduje wzrost stężeń CO i H₂[103]” wskazuje, że dobrze byłoby monitorować zmiany temperatury w czasie procesu zgazowania i przeprowadzić dyskusję wpływu temperatury na stężenia gazów: tlenku węgla, wodoru, metanu, ditlenku węgla.

3. Patrząc na rys.9.1.6, str.51, można byłoby dopisać komentarz „Wydaje się, że gazem wskaźnikowym jakości tworzenia się syngazu może być tlenek węgla. Na w/w rysunku, tlenek węgla osiąga stężenie maksimum przy parametrze technologicznym 1.5, wtedy stężenie ditlenku węgla jest najmniejsze. Patrząc na ten rysunek, można dostrzec, że gdy stężenie ditlenku węgla rośnie, to stężenie tlenku węgla maleje i być może ich suma jest wartością stałą, czy prawie niezmienną.

4. Podsumowanie oddzieliłbym od wniosków, które w moim odczuciu powinny być krótkie o znaczeniu praktycznym, w postaci kilku punktów, np. „gaz o największej wartości opałowej powstawał przy zgazowaniu właśnie takiej badanej substancji w warunkach, które trzeba wymienić”!

Dla każdej substancji istnieją optymalne parametry wytworzenia gazu generatorowego o najwyższej kaloryczności. Parametry te należy doświadczalnie określić przed wdrożeniem w skali przemysłowej. Te parametry to...i wymienić je!

2. Pozostałe uwagi

1. Stanowisko badawcze -Doktorant przedstawił je jedynie schematycznie. Brakuje zdjęcia stanowiska badawczego, a także podania na schemacie wymiarów reaktora - średnicy i wysokości komory procesowej.

2. Str. 43 - brakuje informacji o sposobie rozgrzewania stanowiska.

3. Strona 42 - na schemacie instalacji badawczej brakuje zaznaczenia wymiennika ciepła.
4. W spisie literatury pod numerami 28 i 54 jest ta sama pozycja.
5. Strona 62, wiersz 12 „Reakcje odpowiadające za taki stan rzeczy to są w głównej mierze reakcje metanizacji CO” - powinien być podany w nawiasie nr równania; sądzę, że 12 jak na str. 20.
6. Strona 40, wiersz 7 od góry - określenie „wysokim popiołem” jest nieprecyzyjne.
7. Na str. 24 w 14 wierszu brakuje słowa „stężenia” przed słowem.. „metanu”.
8. Strona 41, 12 wiersz – „warstwą waty wysokotemperaturowej”; pytanie jakiej?
9. Strona 66. - w tab.9.6.1. powinno być „osadów ściekowych”, a nie „trocin zaolejonych”.
10. Rys. 9.6.2. - brakuje opisu jaka krzywa, jakim kolorem jest oznaczona.
11. Nawias w równaniu 64 na str. 83 jest niepotrzebny!; podobnie jak w równaniu 64 na str.88.
12. Na stronie 88 , ostatni akapit – „Stopień konwersji..... palnej paliwa” wydaje się być mało zrozumiałe, a nawet zawierać błędy, bowiem np. „strumień paliwa” nie występuje we wzorze 64, do którego się prawdopodobnie ten akapit odnosi?
13. Strona 90 - treść na tej stronie wydaje się zbędna, wszystko można wprost odczytać z tabeli 11.2.1. Nie ma dodatkowego komentarza, czy dyskusji.
14. Strona 107, akapity „W miarę rozwoju i postępu...poprzez pokoleniom” oraz „Związki chorobotwórcze...odpadu na otoczenie” nie są dorobkiem Autora i w tym punkcie nie są potrzebne,
15. Rys. 9.2.2. na str. 53, a także rys.9.3.1. na str. 58 są mało czytelne - kolory, skala.
16. Strona 83, zdanie „Sprawność chemiczną.....i jego strumienia masowego[97]”, jest mało zrozumiałe, głównie przez błędną stylistykę!

3. Ocena pracy i wniosek końcowy

Mgr inż. Grzegorz Gałko w rozprawie doktorskiej przygotowanej pod opieką Pani dr hab. inż. Danuty Joanny Król rozważał tematykę zgazowania węgla i odpadów i umiejętnie połączył badania eksperymentalne z obliczeniami w oparciu o opracowany model analityczny. Przedstawione uwagi nie umniejszają wartości pracy. Założony cel naukowy został zrealizowany, a uzyskane wyniki mają charakter użyteczny.

Stwierdzam, że Mgr inż. Grzegorz Gałko potrafi formułować i rozwiązywać problemy naukowe.

Jestem przekonany, że praca doktorska mgr inż. Grzegorza Gałko odpowiada wymaganiom Ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Wnoszę więc do Wysokiej Rady Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej, o dopuszczenie jej do publicznej dyskusji.

M. Juszczyk