

prof. dr hab. inż. Dariusz Mikielawicz, czł. koresp. PAN
Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa
Instytut Energii
Zakład Systemów i Urządzeń Energetyki Ciepłej
80-233 Gdańsk, ul. Narutowicza 11/12
tel. +58 347 2254
email: Dariusz.Mikielawicz@pg.edu.pl

Gdańsk, 2 marca 2023 r.

R E C E N Z J A
pracy doktorskiej mgr inż. Anny Słowak pt.
"Opracowanie metody prognozowania składu gazu generatorowego "

wykonana na podstawie zlecenia z 12 stycznia 2023 r. Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo, Energetyka Politechniki Śląskiej, dr hab. inż. Lidii Dąbek, prof. PŚk, zgodnie z uchwałą Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo, Energetyka z dnia 11 stycznia 2023 r.

Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Anatolij Pavlenko.

1. Przedmiot rozprawy

Przedstawiona do recenzji praca pod tytułem „*Opracowanie metody prognozowania składu gazu generatorowego*” dotyczy analiz związanych z przewidywaniem składu gazu generatorowego powstałego za zgazowania biomasy. Doktorantka przeprowadziła badania zarówno eksperymentalne jak i analityczne prowadzące do określenia optymalnego składu gazu za pomocą minimalizacji energii swobodnej Gibbsa. Praca jest przedstawiona w postaci tradycyjnej dysertacji. Praca liczy łącznie 129 stron. Praca składa się z wprowadzenia, 5 rozdziałów, streszczeń w języku polskim i angielskim, spisu literatury oraz spisu tabel i rysunków. Rozdział pierwszy liczący 29 stron wprowadza Czytelnika w zagadnienia poruszane w pracy. Literatura wykazana jest w łącznej liczbie 88 pozycji, z czego 3 prace są współautorstwa Doktorantki.

We wprowadzeniu Doktorantka nakreśla aktualność zagadnienia, dokumenty krajowe oraz Unii Europejskiej w zakresie promocji energii ze źródeł odnawialnych, formułuje cele naukowe i użytkowe pracy. Przechodzi przedmiot badań w postaci technologii i instalacji zgazowania biomasy na gaz generatorowy i omawia w sposób ogólny metodologię postępowania w rozwiązaniu postawionego zagadnienia. Przedstawia tezę pracy oraz precyzyjnie określa swój wkład w prace zespołowe prowadzące do powstania przedstawionej dysertacji. Polega on na analizie wpływu parametrów pracy generatorów gazowych i składu biomasy na efektywność procesu zgazowania, przeprowadzeniu badań eksperymentalnych w dwóch ośrodkach naukowych, analizie tych wyników oraz opracowaniu modelu matematycznego.

W rozdziale pierwszym do pracy czytelnik wprowadzony jest do tematyki ogólnej związanej z określeniem poszczególnych rodzajów biomasy, jej potencjałem oraz wykorzystaniem w produkcji energii. Nie mam zastrzeżeń co do charakterystyki rynku energii

Data przyjęcia
07.03.2023r.
Cedro



w Polsce przedstawionego w pracy, niemniej druga część tytułu rozdziału może być nieco myląca, gdyż nie są przedstawiane i omawiane technologie wykorzystywane do produkcji energii elektrycznej, ale są przedstawione statystyki i potencjały produkcji energii z poszczególnych nośników, w tym i biomasy oraz w sposób ogólny technologie bezpośredniego spalania suchej biomasy, technologie pirolizy oraz technologie zgazowania. Uchybieniem jest, że Autorka przedstawia potencjały biomasy z roślin energetycznych nie zaznaczając skąd posiada te informacje. Należy podkreślić fakt, że dane dotyczące potencjału tego typu surowców różnią się bardzo ze względu na źródło przygotowujące takie opracowanie i byłoby w tym miejscu bardzo interesujące wiedzieć skąd pochodzą takie dane, np. potencjał techniczny biomasy określony na 900 PJ/rok. Wnioski z rozdziału są bardzo pomocne, niemniej powinny także zawierać opis negatywnych doświadczeń z pracy gazyfikatorów a nie tylko korzyści.

W rozdziale drugim Doktorantka omawia zagadnienia związane z modelowaniem procesu zgazowania. Przedstawia zwyczajowo przyjmowane uproszczenia w modelowaniu stanu równowagi termodynamicznej w procesie zgazowania oraz przedstawia kwestie, które w jej badaniach nie podlegały uproszczeniom i zostały modelowane własnymi korelacjami empirycznymi opracowanymi na podstawie własnych badań eksperymentalnych. Jest to pewien postęp w obszarze modelowania procesów zgazowania. W rozdziale tym przedstawia także model matematyczny w oparciu o energię Gibbsa opisującą potencjał izotermiczno-izobaryczny traktując mieszaninę jako układ gazów doskonałych. Przeprowadziła weryfikację modelu za pomocą własnych badań eksperymentalnych.

W rozdziale trzecim Doktorantka przedstawiła badania eksperymentalne przeprowadzone przez siebie na stanowisku w KTH w Sztokholmie. Przedstawia konstrukcję stanowiska, metodę prowadzenia badań oraz uzyskane wyniki. Wyniki otrzymano na stanowisku, które zostało zbudowane w Laboratorium Wydziału Technologii Chemicznych KTH. W mojej ocenie każde badanie eksperymentalne powinno zawierać analizę niedokładności pomiarowych oraz analizę błędów, czego niestety nie ma w przedstawionej mi do recenzji pracy, co wpływa na percepcję pracy. W rozdziale przedstawione są wykresy zmian masy poszczególnych produktów zgazowania, tj., CO₂, CO, H₂ i H₂O w funkcji współczynnika nadmiaru powietrza przy uwzględnieniu różnych wilgotności.

W rozdziale czwartym Doktorantka omawia własną instalację do zgazowania biomasy posadowioną w Politechnice Świętokrzyskiej. Przedstawia w tekście ogólną charakterystykę stanowiska, metodologię badań, użyte przyrządy pomiarowe oraz przedstawia badania eksperymentalne. Uzyskane wyniki badań porównuje z badaniami z KTH, twierdząc, że opracowany przez nią model matematyczny zagadnienia jest właściwym narzędziem badawczym do tego typu analiz. Uważam, że w tym rozdziale Doktorantka przedstawia zbyt wiele fotografii ze stanowiska i przyrządów pomiarowych zamiast skupić się na zagadnieniach związanych z procesami omawianymi w pracy. Niestety i w tym przypadku nie przedstawia analizy błędów. Doktorantka przedstawia podobne jak w rozdziale trzecim wykresy uzysków CO, CO₂, CH₄ i H₂ w funkcji współczynnika nadmiaru powietrza oraz wilgotności. Przeprowadza analizę uzyskanych wyników.

Rozdział piąty to podsumowanie wyników pracy oraz wnioski.

2. Tezy badawcze pracy

Doktorantka w swojej pracy stawia tezę badawczą, że „...recykulacja energii do generatorów gazowych umożliwi zwiększenie ogólnej wydajności procesu zgazowania biomasy, a wilgotność biomasy jest wskaźnikiem umożliwiającym kontrolę procesu.” Wykazanie tezy przeprowadzone jest sukcesywnie w rozdziałach od drugiego do piątego w oparciu o opracowany model matematyczny oraz przeprowadzone badania eksperymentalne.

Doktorantka w wykazuje wypełnienie nakreślonego zakresu prac i w pełni dokumentuje je wynikami zamieszczonymi w recenzowanej dysertacji.

3. Oryginalność pracy

W mojej ocenie oryginalne osiągnięcia pracy to:

1. opracowanie modelu matematycznego procesu zgazowania w oparciu o równowagę termodynamiczną,
2. zaprojektowanie i zbudowanie dedykowanego stanowiska do badań procesu zgazowania w Politechnice Świętokrzyskiej,
3. przeprowadzenie badań eksperymentalnych zarówno w KTH Sztokholm jak i Politechnice Świętokrzyskiej, opracowanie wyników tych badań, weryfikacja modelu matematycznego, oraz dyskusja wyników.

4. Wartości użytkowe pracy

Technologia zgazowania biomasy z produkcją energii elektrycznej i ciepła jest technologią mało stosowaną w Polsce a jest to proces przyjazny środowisku i zmniejsza emisje gazów cieplarnianych. Brak wdrożonych instalacji wynika z wielu nieudanych projektów tych instalacji. Instalacje do zgazowania biomasy i osadów ściekowych były przedmiotem głównie badań na uczelniach. W powyższym świetle przedstawiona do oceny praca doktorska charakteryzuje się bardzo dużymi wartościami użytecznymi, gdyż zagadnienia zgazowania biomasy są bardzo aktualne. Zaproponowane przez Doktorantkę matematyczne narzędzie badawcze umożliwia analizę termodynamiczną takich układów. Niestety nie ma ono charakteru narzędzia ogólnego. Do każdego nowego przypadku potrzebna jest praca zamodelowania całej instalacji. Pomaga w tym lektura całości pracy, która może być potraktowana jako podręcznik przy modelowaniu układów do zgazowania. Projektowanie tego typu elementów instalacji bez wiedzy, która została przedstawiona przez Doktorantkę wymaga dużego doświadczenia, które nabywa się latami analizując podobne przypadki.

5. Uwagi krytyczne i dyskusyjne do pracy

Przedstawiona do recenzji praca jest wartościowa pod kątem użytecznym, niemniej nie wnosi dużej oryginalności do modelowania zagadnień zgazowania biomasy. Podejście zaprezentowane w pracy jest jednym z możliwych do zaproponowania. Niemniej praca napisana jest zwięźle i bardzo dobrze zapoznaje czytelnika z informacjami koniecznymi do pełnego rozpoznania zagadnienia. Ma tak naprawdę charakter podręcznika dla podobnych zagadnień. Jest zilustrowana licznymi wykresami i rysunkami. Zaproponowane i zastosowane metody analizy procesu zgazowania biomasy są kompleksową metodyką przeprowadzania takich analiz za pomocą własnego oprogramowania. Przedstawiona analiza stanowi istotny wkład do problematyki projektowej i eksploatacyjnej związanej z rozwojem zgazowarek. Ogólna ocena pracy przez recenzenta jest więc pozytywna. Praca porusza ważny problem i przedstawia wartościowe rezultaty. Potwierdzone jest to także przez szereg opublikowanych prac, w których Doktorantka jest współautorem. Publikacje te wskazują, że Doktorantka posiada wiedzę i potrafi ją przedstawić w kręgach naukowych o zasięgu międzynarodowym. Jest to niezwykle istotne dla ośrodków szkolnictwa wyższego i spełnia aktualne wymagania i oczekiwania przeprowadzonej reformy szkolnictwa wyższego.

Praktycznie trudno znaleźć mankamenty merytoryczne pracy, niemniej znalazłem kilka niejasności, które należy wyjaśnić podczas obrony pracy. Praca napisana jest poprawnym językiem, z wykorzystaniem właściwej terminologii, a jej lektura nie nastęrcza większych trudności. Na uwagę zasługuje praktycznie idealna strona edytorska pracy, nieliczne są uchybienia językowe, a szata graficzna jest nienaganna.

Kwestie, które chciałbym wyjaśnić z Doktorantką dotyczą następujących kwestii:

1. Dlaczego na rys. przedstawiających udziały poszczególnych składników pirolizy widoczna jest bardzo dobra zbieżność jakościowa (duży współczynnik korelacji) i ilościowa między modelem a eksperymentem w przypadku dwutlenku węgla, a w przypadku tlenku węgla i wodoru zbieżność ilościowa jest zdecydowanie gorsza? Dotyczy to przede wszystkim wodoru.
2. Na str. 59 Doktorantka wspomina, że model matematyczny został uzupełniony zależnościami empirycznymi oraz równaniami bilansowymi masy i energii, o których nie ma żadnych informacji w rozdziale 2.
3. Czy kolejność funkcji przedstawionych na rys. 3.13 jest prawidłowa? Wydaje się oczywistym, że udziały CO w gazie generatorowym powinny rosnać z temperaturą, co ma miejsce dla temperatur 830 i 860°C, ale funkcje dla temperatur 900 i 935°C wyglądają na zamienione miejscami.
4. Na rys. 3.28 funkcja dla temperatury 900°C ma inne nachylenie niż pozostałe trzy. Czym należy to tłumaczyć? Podobna sytuacja ma miejsce na rys. 3.29 gdzie przedstawiono procentową zawartość smoły w funkcji współczynnika nadmiaru powietrza. Funkcja odpowiadająca temperaturze 935°C ma odwrotny trend niż trzy pozostałe. Czym można to tłumaczyć?
5. Czy Doktorantka może wskazać perspektywiczne możliwości jeszcze lepszego modelowania matematycznego procesów zgazowania biomasy?

W pracy znajduje się kilka niezręczności językowych oraz uchybień edytorskich, które pokrótce przytaczam poniżej:

1. Należy unikać stwierdzeń typu (str. 29⁶) „Generator gazu o o stałej warstwie i przepływie gazu w dół jest najbardziej optymalny.”
2. Autorka odnosi się do niniejszej pracy jako pracy dyplomowej. Termin taki przytaczany jest w pracy szereg razy. Nie jest to właściwa klasyfikacja przedmiotowej pracy.
3. Na str. 40⁸ występuje wymienienie pozycji literaturowych. Powinno ono być w kolejności wzrastającej, natomiast jeżeli występuje ciąg kolejno występujących po sobie pozycji literaturowych to, np., 67, 68, 69, 70 to powinno się to zapisać w wersji skróconej, tj. 67-70.
4. We wzorze (2.31) należy podać w jakich jednostkach temperatury była T_{react} .
5. W pracy występuje szereg wzorów, które zostały do niej przekopowane, np. (2.40) – (2.42). (2.45)-(2.49). Niepotrzebnie się one wyróżniają od reszty wzorów w pracy. Powinny być przepisane i podobnie sformatowane jak inne wzory.
6. W pracy doktorskiej nie powinno się używać innych jednostek niż SI. W pracy na str. 13⁷ jest 4000 kcal/kg, str. 14² jest 1000-2500 kcal/kg, str. 29⁹ jest 2400-2700 kcal/nm³.
7. Str. 23¹² jest zdanie, które nie posiada żadnej konkluzji, tj. „W pracy naukowej [35] autorzy starali się zbadać wpływ niektórych parametrów zgazowania na wartość reaktywności paliwa ...”. O jakie parametry chodzi?
8. Str. 29⁸ jest zdanie „Generator gazu o stałej warstwie i przepływie gazu w dół jest najbardziej optymalny”. Jest to zdanie konkludujące z rozdziału. Jako takie powinno opisywać ze względu na jaki parametr urządzenie jest najbardziej optymalne.



9. Doktorantka w pracy używa terminu „rycina”, co nie jest zabronione, niemniej w pracach technicznych używa się terminu „rysunek”.
10. Na ryc. 2.1 skrót od temperatura powinien brzmieć „temp.” a nie „tem-ra”, czy charakterystyka powinna brzmieć: „ch-ka” a nie „char-ka”.

6. Wniosek końcowy

Biorąc powyższe uwagi pod rozwagę stwierdzam, że w moim przekonaniu praca przedstawiona mi do oceny może stanowić rozprawę doktorską. Traktuję ją jako rzeczywisty wkład do zagadnień związanych z gazyfikatorami oraz przygotowaniem gazów syntezowych. Dotyczy ona systematycznych badań zarówno analitycznych jak i eksperymentalnych. Interpretacja wyników jest przekonująca, o wysokim poziomie kompetencji Doktorantki. Uzyskane wyniki obserwacji oraz przeprowadzona analiza wyników jest interesująca, ważna zarówno z punktu widzenia poznawczego jak też i praktyki inżynierskiej. Autorka przeprowadziła rzetelny przegląd literaturowy, analizę posiadanych danych doświadczalnych i obliczenia za pomocą własnego narzędzia numerycznego. Wykazała się umiejętnością analizy wyników badań eksperymentalnych i analitycznych oraz głęboką wiedzą dotyczącą zagadnienia. Ponadto wykazała się dużą samodzielnością w rozwiązaniu postawionego zagadnienia. Uzyskane wyniki budzą zaufanie. Przedstawione przeze mnie uwagi nie pomniejszają jakości pracy, są jedynie jej uzupełnieniem.

Podsumowując stwierdzam, że w moim przekonaniu, praca spełnia warunki stawiane pracom doktorskim przez odpowiednie ustawy. Biorąc pod uwagę podstawowy charakter przedstawionych badań kwalifikowałbym ją do dyscypliny naukowej *inżynieria środowiska, górnictwo, energetyka*. Biorąc powyższe pod uwagę, **stawiam wniosek o dopuszczenie pracy mgr inż. Anny Słowak do publicznej obrony.**



2.03.2023

