

Gdańsk, 5 września 2018 r.

dr hab. inż. Mariusz Jasiński, prof. IMP PAN
Zakład Energetyki Wodorowej
Ośrodek Techniki Plazmowej i Laserowej
Instytut Maszyn Przepływowych im. Roberta Szewalskiego
Polskiej Akademii Nauk w Gdańsku

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgra inż. Mateusza Wnukowskiego
pt. „**Kondycjonowanie gazu generatorowego otrzymanego
ze zgazowania biomasy plazmą mikrofalową**”

Podstawa realizacji recenzji

Niniejszą recenzję opracowałem na podstawie pisma Dziekana Wydziału Mechaniczno-Energetycznego Politechniki Wrocławskiej nr W9/PW/1045/2018 z dnia 6 lipca br. informującego o powołaniu mnie, na podstawie uchwały Rady Wydziału z dnia 4 lipca br., na recenzenta rozprawy doktorskiej mgra inż. Mateusza Wnukowskiego.

Uwagi ogólne

Recenzowana rozprawa doktorska zrealizowana została na Wydziale Mechaniczno-Energetycznym Politechniki Wrocławskiej pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Włodzimierza Kordylewskiego, znanego specjalisty z zakresu tematyki rozprawy. Praca o charakterze wybitnie eksperymentalnym dotyczy wykorzystania plazmy wyładowania mikrofalowego do uszlachetniania gazu generatorowego powstałego z biomasy. Podjęta przez autora rozprawy tematyka ma duże znaczenie poznawcze i praktyczne.

Struktura rozprawy jest właściwa, z wyraźnie przedstawionym celem i zakresem pracy oraz sformułowaną tezą. Rozprawę podzielono na siedem rozdziałów głównych (1. Wstęp,

2. Tytuł podjętej pracy badawczej, 3. Zastosowanie plazmy w konwersji związków smół, 4. Cel i zakres pracy, 5. Metodyka badań oraz stanowiska badawcze, 6. Wyniki, 7. Podsumowanie). Zabrakło jedynie krótkiego streszczenia rozprawy. Objętość pracy, wynosząca 145 stron tekstu z rysunkami i tabelami (nie licząc spisu literatury i załączników), nie zniechęca do uważnego studiowania pracy. Pozytywnie oceniam przerzucenie wielu tabel i rysunków na koniec rozprawy w postaci załączników.

Analiza literatury dotyczącej atmosferycznej plazmy mikrofalowej pozwoliła autorowi na postawienie następująco brzmiącej tezy:

„Zastosowanie plazmy mikrofalowej umożliwi osiągnięcie wysokiego stopnia konwersji związków smół, przy czym decydującą rolę w tym procesie będzie odgrywała wysoka temperatura plazmy oraz rodniki pochodzące z podstawowych składników gazu generatorowego.”

Głównym celem rozprawy było określenie skuteczności plazmy wyładowania mikrofalowego w procesie konwersji modelowych związków smół oraz analiza wpływu podstawowych składników gazu generatorowego, tj. CO, CO₂, CH₄, H₂O i N₂, na ten proces. Do ważnych celów należało również wykazanie interakcji pomiędzy podstawowymi składnikami syngazu, identyfikacja produktów kondycjonowania gazu generatorowego z wykorzystaniem plazmy mikrofalowej oraz scharakteryzowanie plazmy wyładowania mikrofalowego w obecności podstawowych składników syngazu.

Badania przeprowadzone w ramach rozprawy można podzielić na trzy etapy:

- Wstępny etap laboratoryjny, który miał na celu wykazanie skuteczności plazmy wyładowania mikrofalowego do rozkładu związków aromatycznych oraz zidentyfikowanie potencjalnych problemów technicznych;
- Główny etap laboratoryjny, celem którego było dokładniejsze przybliżenie i zrozumienie procesów zachodzących podczas plazmowej konwersji gazu generatorowego oraz smół wchodzących w jego skład. Etap ten przeprowadzono z wykorzystaniem modelowych związków smół oraz sztucznych mieszanek gazowych zawierających podstawowe składniki gazu generatorowego;
- Etap z wykorzystaniem rzeczywistego gazu generatorowego, w którym badania o skali znacznie większej niż laboratoryjna przeprowadzono z wykorzystaniem rzeczywistego reaktora zgazowującego osady ściekowe.

W każdym z powyższych etapów wykorzystywany był inny reaktor plazmowy,

odpowiednio PlazmATON-I, PlazmATON-II oraz PlazmaTECH. Ten ostatni pracował na stanowisku firmy REMIX S.A. w Świebodzinie, co wiązało się z wykonaniem trudnych badań terenowych.

Rozprawa zawiera bardzo interesujące wyniki natury poznawczej jak i praktycznej i jest dobrze zorganizowana. Procedura badawcza zastosowana przez autora rozprawy jest jak najbardziej prawidłowa i przeprowadzona rzetelnie. Praca jest obszerna w części opisowej jak i w części eksperymentalnej, niemniej jednak spójna i dobrze się ją czyta. Zakończenie rozprawy podsumowuje w sposób zwięzły wyniki wszystkich prac eksperymentalnych. Wnioski ściśle nawiązują do opisanych wyników i są prawidłowe.

Generalnie, autor rozprawy wykonał bardzo pracowite badania o charakterze interdyscyplinarnym doskonale pasującym do dyscypliny energetyka. Autor wykazał, że w odpowiednich warunkach plazma mikrofalowa umożliwia osiągnięcie wysokiego stopnia konwersji związków smół, a decydujący wpływ na ten proces ma wysoka temperatura oraz obecność reaktywnych cząstek powstałych w plazmie i pochodzących ze składników obecnych w gazie generatorowym. Tym samym potwierdził założoną tezę rozprawy. Dodatkowo, przeprowadzone badania i analiza wyników umożliwiły autorowi rozprawy wystosować wiele ważnych wniosków (w tym praktycznych).

Uwagi krytyczne

- W rozprawie brakuje krótkiego streszczenia.
- Omawiając rysunek 2.1 (Rozdział 2.1 – Proces zgazowania: str. 4 i 5) nie napisano jakiego obszaru geograficznego dotyczy przedstawione wykorzystanie gazu syntezowego.
- Podobnie, omawiając rysunek 2.3 (Rozdział 2.1 – Proces zgazowania: str. 7) nie napisano jakiego obszaru geograficznego dotyczy przedstawiana liczba instalacji produkujących syngaz.
- W rozdziale 3.3 omawiającym przegląd literatury dotyczącej zastosowania technik plazmowych w usuwaniu związków smół, na str. 32 powinien zostać przypomniany skrót „MWP”.
- W rozdziale 6.1 na str. 70 niejasne jest sformułowanie „moc całkowita”. Czy chodzi o moc elektryczną zasilania, czy o moc padającą mikrofal?
- W rozdziale 6.1 brakuje jasnego stwierdzenia, że moc zaabsorbowana mikrofal jest różnicą mocy mikrofal padających i mocy odbitych mikrofal.

- Ponadto mam wątpliwości, czy analizator gazu syntezowego wymieniony na str. 47 nie zawyża stężenia H_2 w obecności związków typu C_xH_y ? Sugeruję, żeby Doktorant skomentował tę moją wątpliwość podczas publicznej obrony.
- Opisując wzór na odchylenie standardowe (Załącznik C – str. 185, 1 wiersz od dołu) napisano, że x z daszkiem jest wartością średnią z i pomiarów, a w rzeczywistości jest wartością średnią z N pomiarów.
- W podpisach rysunków od 1D do 11D (Załącznik D – str. 197-202) zamiast „Widmo eksperymentalne i rzeczywiste” powinno być „Widmo eksperymentalne i symulowane” lub „Widmo rzeczywiste i symulowane”.

Z recenzenckiego obowiązku wymieniam również znalezione drobne usterki natury redakcyjnej w tekście rozprawy, co może być przydatne jeżeli rozważa się wydanie tej pracy w postaci publikacji książkowej:

Rozdział 1 - Wstęp: ostatnie zdanie na str. 3 - (powinno być „Cechy”, a nie „Cech”).

Rozdział 2.2 – Zgazowanie biomasy i odpadów: str. 8, 8 wiersz od góry (zamiast „zagadnienie” powinno być „zagadnienia”).

Rozdział 2.3 – Smoły: str. 12 (zamiast 500 °C powinno być 500°C), str. 15 (zamiast 38 % powinno być 38%).

Rozdział 2.3 – Smoły: str. 15, 4 wiersz od dołu (zamiast „wymagającym” powinno być „wymagającymi”).

Rozdział 2.4.1 – Metody pierwotne: str. 17, 6 wiersz od dołu (zamiast „czasie przebywanie” powinno być „czasu przebywania”).

Rozdział 2.4.2 – Metody wtórne: str. 20, 13 wiersz od dołu (zamiast „znaczących wad” powinno być „znaczące wady”).

Rozdział 3.1 – Ogólna charakterystyka plazmy: str. 25, 7 wiersz od dołu (zamiast „ma” powinno być „na”).

Rozdział 3.3 - Przegląd literatury dotyczącej zastosowania technik plazmowych w usuwaniu związków smół: str. 29, pierwsze zdanie (zamiast „wydają się” powinno być „wydaje się”).

Rozdział 3.3 - Przegląd literatury dotyczącej zastosowania technik plazmowych w usuwaniu związków smół: str. 31, 9 wiersz od góry (zamiast 950 °C powinno być 950°C).

Rozdział 3.3 - Przegląd literatury dotyczącej zastosowania technik plazmowych w usuwaniu związków smół: str. 32, 12 wiersz od góry (zamiast 3 °C powinno być 3°C).

- Rozdział 3.3 - Przegląd literatury dotyczącej zastosowania technik plazmowych w usuwaniu związków smół:** str. 32, 13 wiersz od góry (zamiast 350 °C powinno być 350°C).
- Rozdział 3.3 - Przegląd literatury dotyczącej zastosowania technik plazmowych w usuwaniu związków smół:** str. 33, 6 wiersz od góry (zamiast „wydają się” powinno być „wydaje się”).
- Rozdział 3.4.1 - Budowa reaktora atmosferycznej plazmy mikrofalowej:** str. 34, 4 zdanie rozdziału (brakuje „w” przed „magnetronach”).
- Rozdział 3.4.2 - Natura atmosferycznej plazmy mikrofalowej:** początek 3 zdania (zamiast „Z drugie” powinno być „Z drugiej”).
- Rozdział 3.4.3 - Potencjalny wpływ plazmy na składniki gazu generatorowego:** 1 zdanie rozdziału na str. 36 (zamiast „jaki i” powinno być „jak i”).
- Rozdział 3.4.3 - Potencjalny wpływ plazmy na składniki gazu generatorowego:** str. 37, 10 wiersz od góry (zamiast „niże” powinno być „niż”).
- Rozdział 3.4.3 - Potencjalny wpływ plazmy na składniki gazu generatorowego:** str. 38, 5 wiersz od dołu (zamiast „przystosowana” powinno być „przystosowane”).
- Rozdział 5 - Metodyka badań oraz stanowiska badawcze:** str. 42, 2 oraz 4 wiersz od góry (zamiast 20 °C powinno być 20°C).
- Rozdział 5.1.1 - Wstępny etap laboratoryjny – reaktor PlazmATON-I:** str. 42, 2 wiersz od dołu (zamiast „toulenu” powinno być „toluenu”).
- Rozdział 5.1.1 - Wstępny etap laboratoryjny – reaktor PlazmATON-I:** str. 43, 2 wiersz od dołu (zamiast „przedstawiona” powinno być „przedstawione”).
- Rozdział 5.1.1 - Wstępny etap laboratoryjny – reaktor PlazmATON-I:** str. 45, 8 wiersz od góry (zamiast „w wyniku wzrostu odbicia” powinno być „w wyniku wzrostu odbicia mikrofal” albo „w wyniku wzrostu poziomu mocy odbitej mikrofal”).
- Rozdział 5.1.2 - Główne badania laboratoryjne – reaktor PlazmATON-II:** str. 46, 6 oraz 12 wiersz od dołu (zamiast „230 °C” powinno być „230°C” oraz zamiast „120 °C” powinno być „120°C”).
- Rozdział 5.1.2 - Główne badania laboratoryjne – reaktor PlazmATON-II:** str. 50, 4 wiersz od dołu (zamiast „przed” powinno być „przez”).
- Rozdział 5.1.2 - Główne badania laboratoryjne – reaktor PlazmATON-II:** str. 52, 2 oraz 6 wiersz od dołu (zamiast „samy” powinno być „samym”).
- Rozdział 5.1.3 - Badania z zastosowaniem gazu rzeczywistego - PlazmaTECH:** str. 56, 14 wiersz od góry (zamiast „10 °C” powinno być „10°C”).
- Rozdział 5.3 – Aparatura analityczna:** str. 60, 19 wiersz od dołu (zamiast „powszechni”

- powinno być „powszechnie”).
- Rozdział 5.3 – Aparatura analityczna:** str. 62, 6 wiersz od dołu (brakuje przecinka przed H₂).
- Rozdział 6.2 – Wpływ stężenia oraz przepływu gazu na rozkład modelowych związków smół:** str. 76, 8 wiersz od góry (zamiast „samy” powinno być „samym”).
- Rozdział 6.2 – Wpływ stężenia oraz przepływu gazu na rozkład modelowych związków smół:** str. 79, Rysunek 6.10b (na osi poziomej zamiast „benzenu” powinno być „toluenu”).
- Rozdział 6.3 – Analiza produktów rozkładu modelowych związków oraz wpływ dodatku pary wodnej na ten proces:** str. 79, 3 wiersz od końca podrozdziału (zamiast „stały” powinno być „stałym”).
- Rozdział 6.3.1 – Analiza procesu rozkładu benzenu:** str. 80, 8 wiersz od góry (zamiast „wydaję się” powinno być „wydaje się”).
- Rozdział 6.3.1 – Analiza procesu rozkładu benzenu:** str. 82, 12 wiersz od dołu (zamiast „aromatyczne” powinno być „aromatycznych”).
- Rozdział 6.3.1 – Analiza procesu rozkładu benzenu:** str. 86, 3 wiersz od góry (zamiast „15 %” powinno być „15%”).
- Rozdział 6.3.1 – Analiza procesu rozkładu benzenu:** str. 88, 9 wiersz od góry (zamiast „900 °C” powinno być „900°C”).
- Rozdział 6.3.2 – Wpływ pary wodnej:** str. 96, 3 wiersz od góry (zamiast „w skutek” powinno być „wskutek” lub „na skutek” oraz zamiast „stężenie” powinno być „stężenia”).
- Rozdział 6.3.3 – Konwersja toluenu i 1-metylnaftalenu:** str. 97, 5 wiersz od dołu (zamiast „u udziale” powinno być „o udziale”).
- Rozdział 6.4.1 – Wpływ plazmy mikrofalowej na procesy zachodzące z udziałem CO, CO₂, CH₄ i H₂:** str. 110, 8 wiersz od góry (zamiast „spowodowany” powinno być „spowodowane”).
- Rozdział 6.4.1 – Wpływ plazmy mikrofalowej na procesy zachodzące z udziałem CO, CO₂, CH₄ i H₂:** str. 111, 9 wiersz od dołu (zamiast „znajduję” powinno być „znajduje”).
- Rozdział 6.4.1 – Wpływ plazmy mikrofalowej na procesy zachodzące z udziałem CO, CO₂, CH₄ i H₂:** str. 112, 1 wiersz od dołu (zamiast „wykazane” powinno być „wykazany”).
- Rozdział 6.4.2 – Wpływ permanentnych składników gazu na konwersję benzenu:** str. 115, 18 wiersz od dołu (zamiast „miał” powinno być „miała”).
- Rozdział 6.4.2 – Wpływ permanentnych składników gazu na konwersję benzenu:** str. 116, 1 wiersz od góry (zamiast „prowadziło” powinno być „prowadziła”).
- Rozdział 6.4.2 – Wpływ permanentnych składników gazu na konwersję benzenu:** str. 116, 13 wiersz od dołu (zamiast „wydaję się” powinno być „wydaje się”).
- Rozdział 6.4.2 – Wpływ permanentnych składników gazu na konwersję benzenu:** str. 116,

- 8 wiersz od dołu (zamiast „była” powinno być „był”).
- Rozdział 6.4.2 – Wpływ permanentnych składników gazu na konwersję benzenu:** str. 118, 22 wiersz od dołu (zamiast „Rysunek 6.” powinno być „Rysunku 6”).
- Rozdział 6.4.2 – Wpływ permanentnych składników gazu na konwersję benzenu:** str. 118, 11 wiersz od dołu (zamiast „uboczny” powinno być „ubocznych”).
- Rozdział 6.5 – Analiza wpływu temperatury ...:** str. 122, 10 wiersz od dołu (zamiast „300 °C” powinno być „300°C”).
- Rozdział 6.6 – Próby na rzeczywistym gazie generatorowym:** str. 126, 8 wiersz od dołu (zamiast „był” powinno być „były” oraz zamiast „który” powinno być „których”).
- Rozdział 6.6.1 – Wpływ plazmy na permanentne składniki ...:** str. 127, 10 wiersz od dołu (zamiast „eksperymentalne” powinno być „eksperymentalnej”).
- Rozdział 6.6.1 – Wpływ plazmy na permanentne składniki ...:** str. 127, 3 wiersz od dołu (zamiast „wiedze” powinno być „wiedzę”).
- Rozdział 7.2 - Potencjał optymalizacyjny i aplikacyjny technologii plazmy mikrofalowej w oczyszczaniu syngazu:** str. 140, 2 wiersz od góry (zamiast „cel” powinno być „celu”).
- Rozdział 7.2 - Potencjał optymalizacyjny i aplikacyjny technologii plazmy mikrofalowej w oczyszczaniu syngazu:** (str. 141), 6 wiersz od dołu (zamiast „250-400 °C” powinno być „250-400°C”).
- Rozdział 7.2 - Potencjał optymalizacyjny i aplikacyjny technologii plazmy mikrofalowej w oczyszczaniu syngazu:** (str. 143), 9, 10 i 20 wiersz od góry (zamiast „230 °C”, „700 °C” i „2000 °C” powinno być odpowiednio „230°C”, „700°C” i „2000°C”).
- Rozdział 7.2 - Potencjał optymalizacyjny i aplikacyjny technologii plazmy mikrofalowej w oczyszczaniu syngazu:** str. 143, 15 i 21 wiersz od góry (zamiast „wydają się” powinno być „wydaje się”).
- Rozdział 7.2 - Potencjał optymalizacyjny i aplikacyjny technologii plazmy mikrofalowej w oczyszczaniu syngazu:** str. 144, 1 wiersz od góry (brakuje „z” przed „powstawaniem”).
- Rozdział 7.3 – Dalsze prace:** str. 144, 19 wiersz od dołu (zamiast „prace” powinno być „pracę”).
- Rozdział 7.3 – Dalsze prace:** str. 145, 8 wiersz od góry (niedokończone zdanie na końcu „Zagadnienie...”).
- Załącznik A –** str. 172, 2 wiersz od dołu (zamiast „właściwością” powinno być „właściwościami”).
- Załącznik C –** W podpisach tabel od 2C do 10C, str. 168-191 (zamiast „azoty” powinno być „azotu”).

Załącznik C – str. 185, 1 wiersz od dołu (zamiast „wartość średnią z i pomiarów” powinno być „wartość średnią z N pomiarów”).

Załącznik D – W podpisach rysunków od 1D do 11D, str. 197-202 (zamiast „Widmo eksperymentalne i rzeczywiste” powinno być „Widmo eksperymentalne i symulowane” lub „Widmo rzeczywiste i symulowane”).

Powyższe uwagi nie umniejszają wartości merytorycznej recenzowanej rozprawy doktorskiej. Pod względem merytorycznym nie budzi żadnych zastrzeżeń. Autor rozprawy sumiennie wykonał zaplanowane doświadczenia, wykazał się umiejętnością wykonywania badań eksperymentalnych i to zarówno w terenie jak i w laboratorium. Recenzowaną rozprawę doktorską mgra inż. Mateusza Wnukowskiego oceniam wysoko pod względem naukowym i praktycznym.

Wniosek końcowy

Uważam, że pan mgr inż. Mateusz Wnukowski wykazał się wiedzą i umiejętnościami samodzielnego planowania i prowadzenia badań naukowych o charakterze interdyscyplinarnym, a osiągnięte przez niego rezultaty są oryginalne i stanowią istotny wkład w rozwój technologii energetycznych wspomaganych plazmowo. Doktorant wykazał umiejętność prowadzenia pracy badawczej na wysokim poziomie. Potrafi dokonać krytycznej analizy wyników i sformułować rzetelne wnioski.

W związku z powyższym uważam, że rozprawa doktorska spełnia wymagania „Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” i wnioskuję o dopuszczenie pana mgr inż. Mateusza Wnukowskiego do publicznej obrony. Ze względu na trudny interdyscyplinarny charakter rozprawy, na uzyskane wartościowe wyniki i bardzo wysoką jakość opublikowanych artykułów w czasopismach międzynarodowych (publikacje z IF ~ 4) wnioskuję o jej wyróżnienie.



Mariusz Jasiński