

Dr hab. inż. Joanna Pawłat
Zemborzyce Podleśne 123A
20-515 Lublin
Tel.: 514907373
E-mail: j.pawlat@pollub.pl

Lublin, 18.09.2023 r.

RECENZJA

w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora mgr Robertowi Miotkowi

Tytuł rozprawy doktorskiej:

**„Badania produkcji wodoru z substancji ciekłych
w plazmie wyładowania mikrofalowego”**

Niniejszą recenzję wykonałam na prośbę Zastępcy Dyrektora ds. naukowych w Instytucie Maszyn Przepływowych im. Roberta Szewalskiego Polskiej Akademii Nauk Pana dr hab. inż. Grzegorza Żywicy, profesora IMP PAN.

Recenzję sporządziłam na podstawie przepisów dotyczących postępowania w przewodzie doktorskim, a w szczególności art. 179 ust. 1 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. przepisów wprowadzających ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. u. 2018 poz. 1669 z późn. zm.) a co za tym idzie art. 13 z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789. z późn. zm.).

Do zrecenzowania przedstawiono mi rozprawę doktorską Pana mgr Roberta Miotka pt. „Badania produkcji wodoru z substancji ciekłych w plazmie wyładowania mikrofalowego”. Promotorem pracy jest Pan prof. dr hab. inż. Jerzy Mizeraczyk, zaś Promotorem pomocniczym jest Pan dr hab. inż. Mariusz Jasiński, profesor Instytutu.

.

1 . Ocena rozprawy doktorskiej

Podczas swej pracy naukowej Kandydat podjął tematykę związaną z potencjalnym zastosowaniem plazmy wyładowania mikrofalowego do produkcji wodoru jako paliwa alternatywnego. Tematyka badawcza jest istotna w świetle rosnącego zapotrzebowania na czystą energię i dotyczącej tego problemu grupy tematów obejmujących wykorzystanie

alternatywnych substratów paliw, możliwości scentralizowanej i rozproszonej generacji oraz sposoby magazynowania energii, których elementem spajającym jest wodór. Poruszana problematyka stanowi aktualne i obszerne pole badawcze.

Rozprawa doktorska pt. „Badania produkcji wodoru z substancji ciekłych w plazmie wyładowania mikrofalowego” została przygotowana w języku polskim, zawiera 132 strony wraz ze spisem oznaczeń, skrótów i literatury. Na kolejnych stronach podano dorobek publikacyjny Kandydata. Praca zawiera bogaty spis cytowanej literatury złożony ze 161 pozycji.

Rozdział 1 (6 stron) stanowi wstęp, w którym Doktorant dokonał analizy sposobów wytwarzania energii oraz opisał wady technologii opartych na spalaniu paliw kopalnych. Omówił on warianty alternatywne, perspektywy rozwoju energetyki wodorowej i wskazał niszę dla wykorzystania technologii opartych na plazmie w rozproszonej produkcji wodoru.

W Rozdziale 2 (4 strony) postawiono cel jakim było empiryczne przebadanie efektywności obróbki wybranych ciekłych substratów do produkcji wodoru w plazmotronach mikrofalowych o częstotliwości odpowiednio 2,45 GHz oraz 915 MHz wraz z oceną wpływu warunków generowania wyładowania mikrofalowego na powyższą efektywność z uwzględnieniem możliwości optymalizacji charakterystyki elektrodynamicznej przy użyciu elementu strojącego (zwieraka). Autor podjął się oceny wpływu parametrów samego plazmotronu takich jak częstotliwość mikrofal i wartość mocy fali mikrofalowej absorbowanej; a także rodzaju i natężenia przepływu gazu nośnego, ilości, rodzaju i sposobu dawkowania substratów w fazie ciekłej. Podczas powyższych badań jednocześnie prowadzono diagnostykę plazmy.

Rozdział 3 (22 strony) stanowi wprowadzenie teoretyczne w realizowaną tematykę i obejmuje istniejący stan wiedzy, w tym konwencjonalne sposoby produkcji wodoru oraz metody z wykorzystaniem plazmy generowanej w różnego rodzaju wyładowaniach elektrycznych. Szczególną uwagę poświęcono plazmie mikrofalowej dokonując klasyfikacji konstrukcji plazmotronów. W sposób syntetyczny omówiono uzyskane dotychczas wyniki w zakresie wytwarzania wodoru przy zastosowaniu mikrofalowych źródeł plazmy z substratów gazowych i ciekłych.

Rozdział 4 (75 stron), w którym opisano metodykę przeprowadzonych eksperymentów oraz wyniki badań własnych stanowi najwartościowszą część pracy. Kandydat zaprezentował

opis stanowisk z bez-dyszowymi mikrofalowymi źródłami plazmy o konstrukcji pozwalającej na wprowadzenie par ciekłych nośników wodoru do wyładowania w sposób osiowy lub wirowy:

- trójsekcyjne o strukturze cylindrycznej z dwoma klinami, zasilane mikrofalami o częstotliwości 2,45 GHz z magnetronowego generatora mikrofal o mocy maksymalnej do 6 kW;

- trójsekcyjne o strukturze cylindrycznej z klinem i płaską sekcją środkową, zasilane mikrofalami o częstotliwości 915 MHz (co jest rozwiązaniem nietypowym) z magnetronowego generatora mikrofal o mocy maksymalnej do 20 kW.

Kandydat wykorzystał adekwatne metody diagnostyczne: emisyjną spektroskopie optyczną do określenia temperatury oscylacyjnej i rotacyjnej oraz do identyfikacji cząstek wzbudzonych w plazmie mikrofalowej; chromatografię gazową z detektorem płomieniowo-jonizacyjnym i katarometrem a także spektroskopię podczerwieni do określenia składu gazu procesowego po obróbce plazmowej.

Pomierzył on charakterystyki elektrodynamiczne mikrofalowych źródeł plazmy dla wybranych warunków oraz par etanolu i azotu jako gazu nośnego. Wykonał również działania optymalizacyjne charakterystyk elektrodynamicznych by osiągnąć jak najlepszy transfer energii mikrofal ze źródła do generowanej plazmy wykorzystując w obliczeniach numerycznych metodę elementów skończonych, program COMSOL Multiphysics oraz metodę wcześniej opracowaną przez zespół IMP (Nowakowska et al. 2008-2011). Doktorant dokonał dopasowania charakterystyk wynikających z obliczeń do pomierzonych eksperymentalnie. Dużą zaletą prowadzonych działań była możliwość przeprowadzenia symulacji unormowanego rozkładu modułu natężenia pola elektromagnetycznego wewnątrz mikrofalowego źródła plazmy, co pozwoliło na właściwe usytuowanie zwieraka falowodowego, warunkujące osiągnięcie najefektywniejszego transferu energii ze źródła mikrofal do plazmy.

Mgr Robert Miotk prowadził również badania produkcji wodoru z par etanolu wytworzonych w wytwornicy pary z gazem nośnym (azot, dwutlenek węgla lub argon) dla dwóch natężeń przepływu gazu: 2700 NL/h oraz 3900 NL/h oraz mocy fali mikrofalowej absorbowanej przez plazmę od 2 do 6 kW. Kandydat zastosował różne natężenia przepływu par etanolu warunkowane stabilną pracą plazmotronów, wykorzystał 3 metody wprowadzenia

par: przy użyciu płuczki Dreschla, wirowo oraz osiowo. Porównał szybkość produkcji wodoru, wydajność energetyczną produkcji wodoru a także selektywność konwersji dla rozkładu termicznego, reformingu suchego oraz parowego. W każdym z analizowanych przypadków wzrost mocy P_A powodował wzrost szybkości produkcji wodoru jednak wydajność energetyczna malała.

Parowy reforming par etanolu przy stosunku mieszaniny etanolu do wody 1:1 v/v i wprowadzaniu osiowym pozwalał na uzyskanie do 100 % selektywności konwersji mieszaniny etanolu i wody w wodór dla źródła plazmy mikrofalowej o częstotliwości 915 MHz oraz do 26,9 g(H₂)/kWh.

W swej dysertacji Doktorant przedstawił również wyniki badań dotyczących produkcji wodoru stosując suchy reforming par izopropanolu oraz par nafty w plazmotronie mikrofalowym o częstotliwości 915 MHz, jednak ze względu na duże ilości sadzy uzyskane wyniki były niższe niż w przypadku etanolu.

Podsumowanie prowadzonych badań oraz wnioski końcowe zawarto w Rozdziale 5 (3 strony). Mgr Robert Miotk w mojej ocenie z sukcesem zrealizował cele badawcze postawione na początku prezentowanej pracy.

Uwagi:

Kompozycja pracy jest przejrzysta zaś język zrozumiały. Kandydat nie ustrzegł się drobnych błędów językowych i edytorskich, jednak są one nieliczne i nie wpływają na jakość naukową pracy.

Rozprawę doktorską mgr Roberta Miotka oceniam bardzo dobrze. Praca ma pożądany charakter interdyscyplinarny, nie budzi zastrzeżeń merytorycznych i **ma wkład w rozwój nauki rozszerzając istniejącą wiedzę w zakresie wykorzystania plazmy mikrofalowej generowanej pod ciśnieniem atmosferycznym w produkcji wodoru z nośników wodoru w fazie ciekłej**. Osiągnięty stan wiedzy pozwala na identyfikację kolejnych interesujących zagadnień badawczych, zasługujących w mojej opinii na rozwinięcie w dalszej perspektywie czasowej.

Pragnę zadać Kandydatowi następujące pytania:

1. Czy Doktorant mógłby przedstawić syntetyczne zestawienie parametryczne dla najbardziej korzystnych warunków otrzymywania wodoru z par etanolu?

2. Czy podjęto próbę ustalenia jakie inne produkty (oprócz np. wodoru, tlenku węgla, acetyleny, metanu i sadzy) powstały w procesie konwersji etanolu przy zastosowanych mikrofalowych źródłach plazmy?
3. Czy Kandydat ma propozycje dotyczące ograniczenia procesu powstawania sadzy lub jej usuwania w trakcie pracy ciągłej plazmotronu? Czy planowane są dalsze próby mające na celu zapewnienie stabilnej pracy źródła plazmy mikrofalowej o częstotliwości 915 MHz przy zwiększeniu ilości wprowadzanych par etanolu (powyżej 0,4 kg/h)?

2. Charakterystyka ogólna i osiągnięcia naukowo-badawcze Kandydata

Mgr Robert Miotk przedstawił bogaty spis współautorskich publikacji w tym 15 publikacji z listy filadelfijskiej (w 8 Kandydat jest pierwszym autorem); 17 publikacji w czasopismach spoza listy filadelfijskiej oraz 3 publikacje w czasopismach ciągłych.

W bazach Web of Science i Scopus znajdują się odpowiednio 21 i 23 publikacje autorstwa mgr Roberta Miotka, z 224 (WoS) oraz 217 (Scopus) cytowaniami (bez autocytowań), zaś jego h-index w obu bazach wynosi 8.

Na szczególną uwagę zasługują publikacje w uznanych czasopismach naukowych o międzynarodowym zasięgu, w których Kandydat jest pierwszym autorem, w tym:

- "Liquid fuel reforming using microwave plasma at atmospheric pressure", Plasma Sources Science and Technology, 25, 035022, 2016, IF: 3,591; 140 pkt.;
- "Improvement of energy transfer in a cavity-type 915-MHz microwave plasma source", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 66 (2), 711-716, 2018, IF: 2,897; 140 pkt.;
- "Electromagnetic optimisation of a 2.45 GHz microwave plasma source operated at atmospheric pressure designed for hydrogen production", Plasma Sources Sci. Technol., 27, 035011, 2018, IF: 3,304; 140 pkt.;
- "An improved conversion of the microwave energy into plasma in an optimized microwave plasma sheet source at 2.45 GHz designed for surface treatment", Plasma Sources Sci. Technol., 30, 055006, 2021, IF: 3,193; 140 pkt.

Doktorant jest współautorem 1 przyznanego patentu nr 240707 „Izolator elektryczny z gwintem oraz sposób jego czyszczenia.

Kandydat brał udział w 18 międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych (w 13 przypadkach był pierwszym autorem referatu).

Dorobek publikacyjny mgr Roberta Miotka jest satysfakcjonujący i nie budzi żadnych zastrzeżeń.

Uwagi:

Zabrakło mi biografii Kandydata, tematyki i roku ukończenia studiów inżynierskich i magisterskich oraz zestawienia innych osiągnięć, np.: organizacyjnych lub zestawienia udziału w projektach badawczo-rozwojowych czy stażach badawczych.

3. Wnioski końcowe

Przedstawiona rozprawa doktorska Kandydata pt. „Badania produkcji wodoru z substancji ciekłych w plazmie wyładowania mikrofalowego przygotowana pod opieką promotorów Pana prof. dr hab. inż. Jerzego Mizeraczyka oraz dr hab. inż. Mariusza Jasińskiego, profesora Instytutu **całkowicie spełnia warunki określone w przytoczonych na początku niniejszej recenzji przepisach dotyczących postępowania w przewodzie doktorskim.**

Przedstawiona w formie zwartej, naukowej rozprawy pisemnej praca doktorska potwierdza ogólną wiedzę teoretyczną Roberta Miotka w dyscyplinie naukowej Inżynieria Mechaniczna; jest dowodem jego dojrzałości i posiadania odpowiednich kompetencji umożliwiających samodzielne prowadzenie pracy naukowej.

Rozprawa prezentuje oryginalne rozwiązanie problemu naukowego dotyczącego użycia plazmy mikrofal jako metody produkcji wodoru z substratów w fazie ciekłej, zaś wyniki przeprowadzonych badań są istotnym wkładem w rozwój nauki.

Podsumowując, w mojej ocenie Kandydat spełnia wymagania, jakie zgodnie z przepisami zacytowanymi na początku niniejszej recenzji muszą spełniać kandydaci do stopnia doktora.

Doktorant wykazał się sumiennością i ogólny poziom naukowy prezentowanej rozprawy jest w mojej ocenie wysoki dlatego proponuję **wyróżnienie** pracy.

A handwritten signature in blue ink, reading "Joanna Pawłat", with a stylized flourish at the end.

/Dr hab. inż. Joanna Pawłat, prof. uczelni/