

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

Lublin, 15.09.2023 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Dariusza Czyłkowskiego

Tytuł rozprawy doktorskiej:

**„Eksperymentalne badania mikrofalowych źródeł plazmy
do konwersji gazów pod ciśnieniem atmosferycznym”**

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 mgr inż. Dariusza Czyłkowskiego pt. „Eksperymentalne badania mikrofalowych źródeł plazmy do konwersji gazów pod ciśnieniem atmosferycznym”. Promotorem pracy jest Pan dr hab. inż. Mariusz Jasiński, profesor Instytutu; zaś Promotorem pomocniczym jest Pani dr hab. inż. Helena Nowakowska.

1 . Ocena rozprawy doktorskiej

Podczas swej pracy naukowej Kandydat podjął tematykę związaną z zastosowaniem mikrofalowych reaktorów plazmowych pracujących pod ciśnieniem atmosferycznym do konwersji gazów i par substancji ciekłych o relatywnie dużych natężeniach przepływu. W perspektywie konieczności dywersyfikacji źródeł energii i wzrostu

zainteresowania technologiami wodorowymi na świecie jest to temat aktualny, niezwykle istotny i o wysokim potencjale aplikacyjnym.

Podstawą rozprawy jest 7 artykułów naukowych indeksowanych w JCR o łącznym IF w roku opublikowania wynoszącym 16,391. Łączna liczba punktów ministerialnych tego cyklu wynosi 900 pkt. W związku z tym, że artykuły są wieloautorskie, komplementarną częścią pracy są oświadczenia członków zespołu o wkładzie pracy wraz z udziałami procentowymi, gdzie widoczny jest istotny, większościowy wkład mgr inż. Dariusza Czyłkowskiego: od 50% w pięciu przypadkach (przy czym w dwóch to 70%) oraz odpowiednio 40 i 45%.

W przedstawionej rozprawie mgr inż. Dariusz Czyłkowski po dokonaniu krótkiego wstępu dotyczącego technologii plazmowych, źródeł plazmy mikrofalowej oraz problematyki związanej z konwersją gazów nakreślił cel i zakres prowadzonych prac badawczych.

Głównym celem były badania eksperymentalne plazmotronów mikrofalowych przeznaczonych do przemysłowej konwersji gazów pracujących pod ciśnieniem atmosferycznym w warunkach dużych natężeń przepływu gazu procesowego, koncentrujące się głównie na dwu tego typu urządzeniach o różnej geometrii: plazmotronach surfaguide oraz TIAGO zasilanych przez standardowy falowód prostokątny mikrofalami o mocy ciągłej i częstotliwościach odpowiednio 2,45 GHz oraz 915 MHz.

Kandydat podjął się badań dotyczących optymalizacji warunków pracy reaktorów plazmowych oraz wpływu wybranych warunków wyładowania i zasilania na charakterystyki strojenia plazmotronów. Na szczególną uwagę zasługuje oryginalna część pracy obejmująca analizę wpływu chłodzenia rury wyładowczej oraz cylindra ekranującego na powyższe charakterystyki. Wpływ powyższych czynników nie był bowiem dotąd szerzej analizowany przez inne grupy badaczy. Kolejnym krokiem było zbadanie wpływu ekranowania na warunki pracy plazmotronu mikrofalowego na przykładzie źródła TIAGO. Doktorant podjął w rozprawie tematykę produkcji wodoru w wyładowaniu mikrofalowym z wykorzystaniem metanu i par substancji ciekłych takich jak etanol, izopropanol i nafta oraz przyczynił się do zaprojektowania plazmotronów pracujących przy relatywnie dużych natężeniach przepływu (do 9000 NL/h w przypadku gazów oraz do 2,4 kg/h dla substancji ciekłych).

Najcenniejszą częścią pracy oprócz przedmiotowych artykułów jest omówienie w języku polskim wyników badań własnych (42 strony), przedstawiające w sposób

syntetyczny wyniki prowadzonych eksperymentów oraz odnoszące się do zamieszczonego w rozprawie cyklu powiązanych tematycznie publikacji (P1-P7), które stanowią trzon rozprawy doktorskiej. Doktorant dla każdej z omawianych publikacji nakreślił obraz istniejącego stanu wiedzy, główne założenia przeprowadzonych badań eksperymentalnych oraz zaprezentował uzyskane wyniki i płynące z nich wnioski. Omówienie opatrzone spisem literatury złożonym ze 112 pozycji.

W publikacji nr 1 w Przeglądzie Elektrotechnicznym (70 pkt., $IF_{2011}=0,244$; udział Doktoranta 70%) mgr inż. Dariusz Czyłkowski badał wpływ warunków wyładowania i zasilania takich jak wysokość sekcji środkowej, moc fali padającej, średnica otworu sprzęgającego, natężenie przepływu gazu roboczego, obecność metalowego cylindra ekranującego oraz chłodzenia rury wyładowczej cieczą na charakterystyki strojenia (ze szczególnym uwzględnieniem współczynnika odbicia mocy, położenia minimum współczynnika odbicia mocy na osi l_s/λ_g oraz szerokości połówkowej charakterystyki strojenia przypadającej na wysokości współczynnika odbicia mocy równego 0,5) plazmotronu mikrofalowego typu surfaguide z argonem o przepływie do 4 NL/min jako gazem roboczym. Ekranowanie i chłodzenie były modyfikacjami zaproponowanymi przez Doktoranta i zbadanie ich wpływu na charakterystyki strojenia jest wyjątkowo cenne, zwłaszcza, że wpływ obecności metalowego cylindra ekranującego okazał się istotny.

Publikacja nr 2 w Plasma Sources, Science and Technology, (140 pkt., $IF=4,124$; udział Doktoranta 55%) podejmuje problematykę dotyczącą jakościowego i ilościowego oszacowania mocy wypromieniowanej do otoczenia z mikrofalowego źródła plazmy TIAGO. Jest to problematyka relatywnie nowa i o dużym znaczeniu aplikacyjnym ponieważ duża wartość wypromieniowanej mocy oprócz zmniejszenia efektywności procesu generowania plazmy może mieć szkodliwy wpływ na organizmy żywe oraz urządzenia znajdujące się w pobliżu reaktora mikrofalowego.

Publikacje nr 3 w International Journal of Hydrogen Energy (140 pkt., $IF=2,93$; udział Doktoranta 40%) oraz nr 4 w Energy (200 pkt., $IF=4,52$; udział Doktoranta 60%) przedstawiają wyniki dotyczące produkcji wodoru z metanu (odpowiednio pirolizę wraz z suchym reformingiem oraz oryginalne rozwiązanie w postaci kombinowanego reformingu parowego z dodatkiem pary wodnej i dwutlenku węgla). W pracach wykorzystano przepływowy plazmotron mikrofalowy typu surfaguide. Badania były prowadzone w ramach projektu rozwojowego NCBiR pt. "Moduł mikrofalowego urządzenia plazmowego

z separatorem gazów odlotowych do produkcji wodoru z węglowodorów", w którym Kandydat brał udział i prowadził prace optymalizacyjne konstrukcji reaktora. Jako gazy substratowe i nośne wykorzystano odpowiednio metan oraz azot lub dwutlenek węgla. Do zalet proponowanych rozwiązań zaliczyć można brak katalizatora oraz relatywnie duże natężenia przepływu. Maksymalna osiągnięta wydajność produkcji wodoru wyniosła 192 g/h, zaś wydajność energetyczna produkcji wodoru w tym przypadku to 42,9 g(H₂)/kWh przy 22% stopniu konwersji metanu co jest zgodne z wynikami uzyskanymi przez inne grupy badawcze metodami z użyciem plazmy mikrofalowej bez katalizatora.

Kolejne publikacje nr 5 w International Journal of Hydrogen Energy (140 pkt., IF=3,205; udział Doktoranta 45%), nr 6 w Nukleonice (70 pkt., IF=0,76; udział Doktoranta 70%) oraz w Fuel (140 pkt., IF=5,128; udział Doktoranta 50%) dotyczą otrzymywania wodoru z substancji ciekłych. Zreferowano w nich wyniki prac prowadzonych w ramach projektu NCN pt. "Badania produkcji wodoru z substancji ciekłych za pomocą wyładowania mikrofalowego", w których uczestniczył mgr inż. Dariusz Czyłkowski. Do konwersji par etanolu, izopropanolu i nafty generowanych za pomocą wytwornicy pary zastosowano plazmotron typu surfaguide zasilany mikrofalami o częstotliwości 2,45 GHz oraz 915 MHz. Gazami nośnymi były azot i dwutlenek węgla. Najwyższą wydajność energetyczną produkcji wodoru wynoszącą 22 gH₂/kWh otrzymano dla par etanolu oraz dwutlenku węgla z parą wodną przy częstotliwości mikrofal 2,45 GHz.

Rozprawę doktorską mgr inż. Dariusza Czyłkowskiego oceniam bardzo dobrze. Praca nie budzi zastrzeżeń merytorycznych i **ma wkład w rozwój nauki rozszerzając istniejącą wiedzę w zakresie wykorzystania mikrofalowych reaktorów plazmowych pracujących pod ciśnieniem atmosferycznym w konwersji gazów.**

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.

Pragnę zadać Kandydatowi następujące pytania:

1. Czy Kandydat podjął lub zamierza podjąć dalsze badania dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej stosowanych przez niego mikrofalowych źródeł plazmy?
2. Czy i jakie podjęto próby w zakresie minimalizacji procesu osadzania się sadzy?
3. Czy Kandydat zamierza prowadzić dalsze badania w tym obszarze z wykorzystaniem reaktora plazmowego innego typu?

2. Osiągnięcia naukowo-badawcze Kandydata

Dorobek publikacyjny Kandydata jest imponujący. W przedstawionym przez niego zestawieniu zawarto 37 pozycji. W bazach Web of Science oraz Scopus znajduje się odpowiednio 36 i 35 publikacji autorstwa mgr inż. Dariusza Czyłkowskiego, jego h-index wynosi 14 (dla WoS) oraz 12 (dla Scopus) z odpowiednio dla poszczególnych baz: 440 cytowaniami oraz 419 cytowaniami (bez autocytowań).

Na szczególną uwagę zasługują wieloautorskie publikacje w uznanych czasopismach naukowych o międzynarodowym zasięgu np.: w Energy (200 pkt. ministerialnych), International Journal of Hydrogen Energy, Fuel, Materials, Surface and Coatings Technology, etc., w których Kandydat jest pierwszym autorem.

Są to wysokopunktowane publikacje o interdyscyplinarnym charakterze i znacznych walorach poznawczych. Dobitnie świadczą one o rozwoju naukowym i dużych postępach w zakresie pozyskania odpowiednich kompetencji w zakresie warsztatu badacza.

Pan Dariusz Czyłkowski jest też współautorem artykułów, które ukazały się w czasopismach bardzo cenionych wśród grupy badaczy zajmujących się technologią plazmową np. Plasma Sources Science and Technology, IEEE Transactions on Plasma Science, European Physical Journal: Applied Physics, Applied Surface Science, Scientific Reports oraz o wysokiej renomie krajowej np. w Przeglądzie Elektrotechnicznym, Nukleonice oraz w Acta Physica Polonica A.

Rezultaty jego prac były referowane na 46 konferencjach międzynarodowych, przy czym w 18 przypadkach był on pierwszym autorem wystąpienia.

3. Wnioski końcowe

Przedstawiona rozprawa doktorska Kandydata pt. „Eksperymentalne badania mikrofalowych źródeł plazmy do konwersji gazów pod ciśnieniem atmosferycznym” przygotowana pod opieką Promotora dr hab. inż. Mariusza Jasińskiego oraz Promotora pomocniczego dr hab. inż. Heleny Nowakowskiej **odpowiada warunkom określonym w przytoczonych na początku niniejszej recenzji przepisach dotyczących postępowania w przewodzie doktorskim.**

Przedstawiona w formie zbioru siedmiu opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych w wysokopunktowych czasopismach praca doktorska stanowi potwierdzenie wiedzy Kandydata w dyscyplinie naukowej Inżynieria Mechaniczna jak i jego umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Warsztat naukowy Kandydata oceniam bardzo dobrze.

Rozprawa doktorska prezentuje oryginalne rozwiązanie problemu naukowego dotyczącego zastosowania plazmotronów mikrofalowych pracujących pod ciśnieniem atmosferycznym w konwersji gazów. Wyniki prowadzonych badań mają potencjał wdrożeniowy i stanowią istotny wkład w rozwój nauki.

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

Nie do przecenienia jest ogromny wkład pracy mgr inż. Dariusza Czyłkowskiego i wysoki poziom naukowy prezentowanych materiałów. Kandydat wykazuje się istotną aktywnością naukową i uważam, że **zasługuje na wyróżnienie.**



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