

Wrocław, 12.04.2024 r.

Prof. dr hab. inż. Rafał Walczak  
Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów  
Politechniki Wrocławskiej

Recenzja  
osiągnięć naukowych dra inż. Pawła Jankowskiego  
w związku z postępowaniem o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego  
w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych  
w dyscyplinie nauki chemiczne

Recenzja została opracowana zgodnie z wymaganiami ustawy „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” określonymi w Dz. U. 2023 poz. 742 oraz na podstawie pisma Dyrektora Instytutu Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk z 31 stycznia 2024 r. informującego o powołaniu przez Radę Naukową Instytutu recenzentów w postępowaniu habilitacyjnym dra inż. Pawła Jankowskiego. Postępowanie habilitacyjne jest prowadzone w Instytucie Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk. Recenzję sporządzono na podstawie dokumentacji przedłożonej przez Habilitanta 28 września 2023 roku.

### **1. Sylwetka Kandydata do stopnia naukowego doktora habilitowanego**

Dr inż. Paweł Jankowski, który dalej nazywany będzie Habilitantem, ukończył studia magisterskie na Wydziale Chemii Politechniki Warszawskiej w 1987 roku. Jego praca magisterska pod tytułem „Synteza oraz acylowanie 1,2-dipodstawionych alkenów. Badanie mechanizmu eliminacji N-nitrozo-N-metylohydroksylamin z  $\beta$ -(N-nitrozo)-oksyaminometyloketonów” zrealizowana była pod opieką dra Stefana Kwiatkowskiego. Stopień naukowy doktora Habilitantowi został nadany przez Instytut Chemii Organicznej Polskiej Akademii Nauk w 1992 roku po przyjęciu rozprawy doktorskiej pt. „Zastosowanie epoksylianów do syntez alkoholi alilowych i pochodnych cyklopropanu” realizowanej pod opieką profesora Jerzego Wichy.

Habilitant został zatrudniony w 1994 roku w Instytucie Chemii Organicznej Polskiej Akademii Nauk na stanowisku adiunkt, gdzie pracował do 2003 roku. W latach 2003 – 2008

zatrudniony był w BioCell Inc. (Nutley, NJ. USA) jako „researcher associate”. Od roku 2009 pracuje na stanowisku adiunkta w Instytucie Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk w Warszawie.

Habilitant deklaruje odbycie dwóch staży naukowych: pierwszy w latach 1987-1989 w Instytucie Chemii Organicznej Polskiej Akademii Nauk w Warszawie i drugi podoktorski na Wydziale Chemii Uniwersytetu w Southampton (Wlk. Brytania) w 1993 roku.

## **2. Ocena osiągnięcia naukowego**

Habilitant przedstawiła cykl 11 powiązanych tematycznie publikacji [H1 – H11], które znajdują się na liście czasopism ze współczynnikiem wpływu IF oraz liście czasopism punktowanych wg wykazu obecnego Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Habilitant sformułował osiągnięcie pod tytułem „Podwójna rola reakcji chemicznych w mikrofluidyce – przystosowanie mikroukładów do różnorodnych zastosowań poprzez modyfikacje powierzchni mikrokanalów oraz konstruowanie systemów mikroprzepływowych do prowadzenia reakcji organicznych”. Tytuł osiągnięcia sformułowany jest bardzo szeroko, według opinii recenzenta zbyt ogólnie i przez to błędnie. „Podwójna rola reakcji chemicznych” jest oczywistym stwierdzeniem. W mikrofluidyce reakcje chemiczne wykorzystuje się do wytwarzania układów mikrofluidycznych (np. trawienie, przygotowanie powierzchni do łączenia podłoży), jak również właściwe reakcje chemiczne prowadzone są w mikrokanalach (inna znana z literatury przedmiotu nazwą układów mikrofluidycznych to mikrosystemy do całkowitej analizy chemicznej). Dalej Habilitant zapowiada przedstawienie „różnorodnych zastosowań” układów mikrofluidycznych oraz reguły, metodologię i wytwarzanie (rozumiane łącznie jako „konstruowanie”, a nie tylko jako gotowe „konstrukcje”) systemów mikroprzepływowych do prowadzenia reakcji organicznych. Według opinii recenzenta żadne z tych określeń nie jest w pełni uzasadnione do czego bardziej szczegółowo odniosę się w dalszej części recenzji. W ten sposób sformułowany tytuł osiągnięcia łączyć ma zagadnienia związane z naukami chemicznymi (a więc dziedziną, w której Habilitant ubiega się o nadanie stopnia doktora habilitowanego) z mikroinżynierią, w tym w szczególności projektowaniem, wytwarzaniem i badaniem układów mikrofluidycznych. W autoreferacie Habilitanta wielokrotnie pojawiają się określenia mikroprzepływ, mikrofluidyka, mikroukład itp. natomiast brak jest informacji na temat wymiarów charakterystycznych wykonanych układów mikrofluidycznych (parametr konstrukcyjny), które jednoznacznie wskazywałyby na zasadność stosowania określenia „mikro” w odniesieniu do wymiarów kanałów. Informacje te często nie znajdują się również w

artykułach stanowiących osiągnięcie, a stwierdzenie, że dany układ jest mikrofluidyczny często możliwy jest tylko na podstawie skali na fotografiach układów. Niefortunne również wydaje się stosowanie przez Habilitanta w autoreferacie określenia „fabrykacja” tam, gdzie można użyć po prostu polskiego stwierdzenia „wytwarzanie”. Warto również podkreślić, że mikrokanały wytwarzane są również w objętości podłoża (na przykład przez trawienie, frezowanie, wytłaczanie), a nie tylko na powierzchni podłoża (np. przez techniki addytywne) tak, jak Habilitant stwierdza we wstępie autoreferatu.

Omówienie cyklu publikacji rozpoczyna rozdział zatytułowany jako „Wstęp”, który, według opinii recenzenta, ma chaotyczny układ. Z zakończenia wstępu wynika, że Habilitant będzie zajmował się tylko modyfikacją powierzchni poliwęglanu (i tylko ten materiał był wykorzystywany do konstrukcji układów mikrofluidycznych, podczas gdy tak nie było) i w kolejnym rozdziale przechodzi do omówienia pierwszych publikacji. Być może celowe byłoby przeniesienie pierwszego akapitu wstępu na jego zakończenie tak, aby logicznie połączyć wstęp z resztą autoreferatu. Z niewyjaśnionych powodów nagle pojawia się również temat stabilności kropeł generowanych w układach mikrofluidycznych. We wstępie brakuje również jasnego spozycjonowania wg Habilitanta swoich prac na tle literatury przedmiotu i istotności prowadzonych badań.

Habilitant domyślnie (zgodnie z tematyką 3 rozdziałów autoreferatu) zdefiniował 3 obszary badawcze potwierdzające osiągnięcie naukowe poparte spójną i powiązaną tematycznie listą publikacji (brak jest w autoreferacie jednoznacznie określonego osiągnięcia naukowego wynikającego z prowadzonych prac). Pierwszy z obszarów dotyczy chemicznej modyfikacji właściwości kanałów w układach mikrofluidycznych [H1 – H5]. Drugi obszar związany jest z konstruowaniem układów mikrofluidycznych do prowadzenia reakcji organicznych [H6 – H10]. Ostatni trzeci obszar, opisany tylko w jednym artykule [H11] poświęcony jest badaniu transferu molekuł w systemach mikrofluidycznych.

Sposoby modyfikacji powierzchni ścian mikrokanałów (wymiar charakterystyczny poniżej 800  $\mu\text{m}$  według skali znajdującej się na fotografiach) wytworzonych w poliwęglanie tak, aby miały one właściwości hydrofobowe lub hydrofilowe przedstawiono odpowiednio w publikacjach [H1, H2] i [H3 – H5]. W pracy [H1] do chemicznej modyfikacji powierzchni poliwęglanu stosowano dodecyloaminy. W efekcie opracowanej procedury hydrofobizacji mikrokanałów całkowicie wyeliminowano nawet częściowe zwilżanie powierzchni mikrokanałów wodą i jej roztworami oraz wykazano długą stabilność w czasie przeprowadzonych modyfikacji. Zmodyfikowane układy mikrofluidyczne wykorzystano do produkcji mikrokapsulek alginianowych. Interesujące wyniki modyfikacji powierzchni

mikrokanałów opisano w pracy [H2], gdzie wykorzystano wodny roztwór amoniaku do podwyższenia charakteru hydrofobowego z jednoczesną eliminacją chropowatości mikrokanałów po procesie ich frezowania w poliwęglanowym podłożu (co jest istotne z punktu widzenia detekcji optycznej). Kolejne prace Habilitanta dotyczyły procedur hydrofilizacji powierzchni mikrokanałów [H3 – H5] tak, aby możliwe było generowanie emulsji typu woda/olej. I tak, w publikacji [H3] wykazano, że pokrycie powierzchni mikrokanałów podwójną warstwą polielektrolitów doprowadziło do uzyskania stabilnej, hydrofilowej powierzchni umożliwiającej generowanie w fazie wodnej kropli olejów. Traktowanie powierzchni mikrokanałów roztworem soli ( $\text{SnCl}_2$ ) nadało jej charakter hydrofilowy [H4], a co więcej była to metoda kompatybilna z metodą hydrofobizacji mikrokanałów opisaną wcześniej w [H1]. Jest to bardzo cenna procedura ponieważ umożliwia tworzenie mikrokanałów o odmiennym charakterze - hydrofilowym i hydrofobowym - w ramach jednej struktury układu mikrofluidycznego do generowania emulsji wielokrotnych. Natomiast w pracy [H5] opisano modyfikację, która umożliwiła wytwarzanie układów mikrofluidycznych do generowania kropli oleju w wodzie, a charakter hydrofilowy powierzchni kanałów utrzymywał się przez co najmniej 12 miesięcy bez konieczności przechowywania układu mikrofluidycznego w specjalnych warunkach.

Kolejnym obszarem badawczym Habilitanta było opracowanie metody, która pozwalała zabezpieczyć powierzchnię poliwęglanu tak, aby możliwe było opracowanie układów mikrofluidycznych do prowadzenia reakcji organicznych. Jedną z takich metod było pokrycie powierzchni mikrokanału rozgałęzioną polietylenoiminą z użyciem TTE [H6]. Mimo, iż sam układ mikrofluidyczny zyskał odporność na związki organiczne to elementy umożliwiające wprowadzenie/wyprowadzenie reagentów ulegały mechanicznemu zużyciu i były penetrowane przez organiczne rozpuszczalniki. Dlatego też Habilitant zdecydował się na zmianę materiału, z którego wykonywane były metodą frezowania układy mikrofluidyczne z poliwęglanu na PTFE [H7]. Teflon mimo swoich wielu zalet jest materiałem nieprzezroczystym co uniemożliwia wykorzystanie optycznych metod detekcji sygnałów generowanych wewnątrz układu mikrofluidycznego. Dlatego też następny zaproponowany przez Habilitanta układ mikrofluidyczny wytworzony był z polimeru typu FEP [H8]. W układzie tym (mikroreaktorze) z powodzeniem przeprowadzono dwie syntezy fotochemiczne. Obydwa rozwiązania opisane w pracach [H7] i [H8] były reaktorami mikrofluidycznymi o przepływie ciągłym. W pracy [H9] połączono dwa nurty badawcze i opisano układy mikrofluidyczne wykorzystujące krople jako mikroreaktory do badania nad optymalizacją reakcji organicznych. W kolejnym etapie badań opracowany system mikrofluidyczny (rurkowy) wykorzystano do budowy układu do badań

kinetyki reakcji chemicznych [H10]. W obydwu pracach oprócz konstrukcji układów mikrofluidycznych, do poprawnego ich działania niezbędne było opracowanie układów kontrolno-sterujących i współpracujących z nimi układów detekcji optycznych.

Trzecim wyraźnie zarysowanym w autoreferacie Habilitanta wątkiem badawczym, choć przedstawionym tylko w jednym artykule z cyklu, było badanie transferu molekuł w systemach mikrofluidycznych zawierających małowcząsteczkowe związki organiczne w fazie kropelkowej [H11]. Tym razem Habilitant sięgnął po PDMS jako materiał chipa i technologie miękkiej fotolitografii do wytworzenia układów mikrofluidycznych. Poza typowymi zagadnieniami z pogranicza chemii, mikrobiologii i mikroinżynierii, Habilitant opracował program komputerowy do analizy zdjęć zestawu mikrokropeł służący do wyznaczania stopnia zahamowania wzrostu bakterii hodowanych w mikrokroplach, a w efekcie końcowym jakie jest zagrożenie transferu antybiotyku pomiędzy kroplami.

Uzyskane przez Habilitanta wyniki badań są wartościowe i kompleksowe, czego dowodem są publikacje w renomowanych czasopismach (7 z 11 publikacji o punktacji ministerialnej powyżej 100 pkt., w tym 3 za 200 pkt.). Habilitant jest pierwszym autorem w 6 publikacjach z przedstawionego cyklu 11, a w pozostałych 5 jest drugim autorem. Wszystkie prace są wieloautorskie (od 2 do 5 autorów) co nie dziwi w obszarze badań interdyscyplinarnych i o wykazanym stopniu zaawansowania. Jednakże w artykułach, w których Habilitant jest drugim autorem utrudnia to precyzyjne określenie (zweryfikowanie) wkładu osobistego w powstanie artykułu. Wydaje się, że pomocny byłby tutaj jednoautorski artykuł naukowy (przeglądowy), który jednoznacznie pozycjonowałby prace Habilitanta w dyscyplinie jak i w zespole. Tym bardziej, że analizując dorobek naukowy Habilitanta brak jest np. wystąpień konferencyjnych na znaczących, rozpoznawalnych i prestiżowych w środowisku w zakresie układów mikrofluidycznych konferencjach krajowych lub międzynarodowych.

Wszystkie prace z cyklu powstały po 2009 roku, a więc w okresie zatrudnienia Habilitanta w Instytucie Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk. Wydaje się zatem, że po okresie wieloletniej pracy zawodowej Habilitant znalazł obszar aktywności badawczej (w zespole prof. P. Garsteckiego).

Prace ujęte w cyklu cytowane były wg. Web of Science na dzień 25.09.2023 r. od 4 do 45 razy (poza pracą [H11] z 2023 roku). Najwyżej cytowane prace ([H1] – 45 razy, publikacja z 2011 roku, [H4] – 25 razy, publikacja z 2013 roku) dotyczą badań związanych z modyfikacją powierzchni [H1] i w konsekwencji generacji emulsji w układach mikrofluidycznych [H4].

Habilitant w tytule osiągnięcia naukowego zasygnalizował dwa podobszary, które mają stanowić znaczący wkład w istniejący stan wiedzy.

Pierwszy z nich to „przystosowanie mikroukładów do różnorodnych zastosowań poprzez modyfikację powierzchni mikrokanalów” i obejmuje on publikacje [H1 – H6]. Wszystkie te publikacje związane są z modyfikacją powierzchni poliwęglanu, dążąc do wytworzenia mikrokanalów o właściwościach hydrofobowych i hydrofilowych, tak aby możliwe było generowanie układów wielofazowych (kropelek) w systemach określanych w literaturze przedmiotu jako „droplet microfluidics” lub „droplet-on-demand”. Tematyka ta jest rozwijana w zespołach na całym świecie, jest ona również nadal aktualna o czym świadczy chociażby artykuł przeglądowy z 2023 roku opublikowany w Nature Review Methods Primers pt. „Droplet-based microfluidics”. Określenie „różnorodne zastosowania” w analizowanych publikacjach sprawdzają się tak naprawdę do generowania emulsji olej/woda lub woda/olej/woda i hipotetycznie mogą być zastosowane w wielu aplikacjach typu „droplet microfluidics”, których jednak nie wykazano w tych publikacjach.

W czterech z tych sześciu publikacji z omawianego obszaru, Habilitant jest pierwszym autorem i wg. jego deklaracji autorem koncepcji badawczej [H1, H4, H5 i H6]. Są to publikacje odpowiednio z 2011, 2013, 2016 i 2012 roku, opublikowane w czasopismach z IF (5 – letni) 6,9, 2,7, 7, i 6,9, a prace te były cytowane 45, 25, 12 i 23 razy. Liczba cytowań nie jest zatem imponująca (w świetle zainteresowania tematyką układów kropelkowych nawet niska), a poza pracą [H4] znacznie poniżej średniej wartości cytowań szacowanej wg. wartości IF i liczby lat od chwili publikacji do przygotowania dokumentacji habilitacyjnej. W opinii recenzenta może świadczyć to o słabej rozpoznawalności Habilitanta w środowisku lub/i braku znaczącego wkładu w rozwój dyscypliny nauki chemiczne.

Drugie zagadnienie wymienione w tytule osiągnięcia to „konstruowanie systemów mikroprzepływowych do prowadzenia reakcji organicznych”, obejmujący prace [H7 – H11]. W pracach tych Habilitant wykorzystywał już inne materiały niż poliwęglan (tzn. Teflon, FEP, PDMS), a w przypadku PDMS również inną niż frezowanie technikę wytwarzania układu mikrofluidycznego. Odnosząc się do cytowanego wyżej fragmentu tytułu osiągnięcia, w artykułach tych brak jest nowatorskiego, a przynajmniej Habilitant nie wskazał go wyraźnie w autoreferacie, aspektu związanego z innowacyjnym podejściem do „konstruowania” układów i systemów mikrofluidycznych, np. nowa metodologia projektowania, technologia, geometria. Recenzent odnosi wręcz wrażenia, że zaproponowany przez Habilitanta układ rurek o średnicy wewnętrznej wynoszącej 0,8 mm pozycjonowany w rowkach frezowanych w podłożu z

poliwęglanu jest wręcz regresja technologiczną. Habilitant przedstawił zatem „konstrukcje” a nie proces „konstruowania” układów mikrofluidycznych.

W tym fragmencie cyklu publikacji Habilitant jest pierwszym autorem w tylko dwóch z pięciu artykułów (głównym autorem koncepcji badawczej) w czasopismach o niskiej punktacji ministerialnej (70 i 40 pkt) i wartości IF (2,6 i 2,4) [H9, H10]. Liczba cytowań prac z tego fragmentu osiągnięcia jest również niska, a tym samym trudno określić tą część dorobku Habilitanta jako znaczny wkład w rozwój dyscypliny nauki chemiczne.

Po głębokiej i wnikliwej analizie przedstawionego cyklu publikacji stwierdzam, że tytuł osiągnięcia jest nie do końca adekwatny do merytorycznej zawartości cyklu publikacji. Według opinii recenzenta trafniejsze byłoby jednoznaczne wskazanie mikrofluidyki kropelkowej jako tematu wiodącego, nawet jeśli związane byłoby to z mniejszą liczbą publikacji tworzących cykl. Ponownie podkreślam również, że Habilitant w autoreferacie nie wskazał jednoznacznie jaki problem naukowy został przez niego w sposób oryginalny rozwiązany wnosząc jednocześnie znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny. Według opinii recenzenta autoreferat nie powinien być tylko przewodnikiem/skrótem publikacji stanowiących osiągnięcie (a tak jest w tym przypadku).

Podsumowując, osiągnięcia naukowe Habilitanta przedstawione w monotematycznym cyklu 11 artykułów są oryginalne i wartościowe, ale nie stanowią one znaczącego wkładu w rozwój dyscypliny nauki chemiczne. Uważam, że monotematyczny cykl 11 artykułów przedstawiony przez Habilitanta nie spełnia minimalnych warunków nadania Habilitantowi stopnia doktora habilitowanego.

### **3. Ocena aktywności naukowej realizowanej w więcej niż jednej uczelni lub instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej**

Habilitant w latach 1994-2003 prowadził działalność naukową jako adiunkt w Instytucie Chemii Organicznej Polskiej Akademii Nauk (w chwili obecnej zatrudniony jest w Instytucie Chemii Fizycznej PAN). W okresie tym Habilitant był autorem/współautorem 10 artykułów naukowych (w 7 z nich jest pierwszym autorem) [P6 – P15]. W 1993 roku Habilitant zadeklarował, że odbył staż podoktorski na Wydziale Chemii Uniwersytetu w Southampton (Wlk. Brytania). Do dokumentacji wniosku nie dołączono formalnego potwierdzenia tego stażu, ale jego wynikiem był opublikowany w 1995 roku jeden artykuł naukowy [P16]. Habilitant w latach 2003-2008 prowadził badania w firmie farmaceutycznej BioXell InC., a wyniki tych badań opublikowano w 5 artykułach naukowych [P17-P21]. Był to okres zapewne

ważny dla rozwoju naukowego Habilitanta, ale nie można uznać go jednoznacznie jako aktywność w instytucji naukowej.

W świetle powyższego uznaję, że w zakresie istotnej aktywności naukowej realizowanej w jednej lub więcej uczelni lub instytucji naukowej Habilitant spełniła w stopniu minimalnym ustawowy warunek nadania stopnia doktora habilitowanego.

#### **4. Ocena pozostałej aktywności naukowej**

Habilitant po obronie doktoratu i poza pracami [H1 - H11] jest współautorem 23 publikacji w czasopiśmie z IF (łącznie 34 publikacje po uzyskaniu stopnia doktora). Sumaryczny IF publikacji to 145, a liczba cytowani (bez autocytowań) to 749 wg bazy Web of Science. Jest to dorobek przeciętny jak dla pracownika badawczego na aktualnym etapie jego rozwoju. Habilitant brała udział w 15 konferencjach naukowych (międzynarodowych i krajowych), w tym 8 z nich dotyczyło bezpośrednio tematyki cyklu publikacji (lata 2010 -2022). Brak jest w dorobku konferencyjnym Habilitanta wystąpień (ustnych lub plakatowych) na wiodących konferencjach o tematyce „mikrofluidycznej” lub w sesjach poświęconych tej tematyce, choć tematyka jego pracy badawczej wpisuje się bardzo dobrze w wiele takich konferencji. Habilitant nie przedstawiał również wykładów zaproszonych lub plenarnych. Był on recenzentem zaledwie dwóch artykułów zgłoszonych do publikacji, co po raz kolejny świadczy o słabej rozpoznawalności w środowisku. Nie pełnił również roli promotora pomocniczego w postępowaniach doktorskich.

Habilitant był kierownikiem jednego projektu (KBN w latach 1998 - 2000), głównym wykonawcą jednego projektu (w ramach programu Dialog) i wykonawcą 6 projektów. Jego samodzielność w pozyskiwaniu projektów badawczych jest zatem znikoma, raczej jest członkiem zespołu badawczego. Warty podkreślenia jest natomiast dorobek patentowy Habilitanta obejmujący 7 patentów międzynarodowych i 8 krajowych oraz wynikające z tego międzynarodowe i polskie wyróżnienia. Był on też autorem jednej ekspertyzy.

#### **5. Wniosek końcowy**

Na podstawie szczegółowej analizy dorobku naukowego dra inż. Pawła Jankowskiego mogę stwierdzić, że przedłożony do oceny cykl 11 publikacji dotyczący osiągnięcia naukowego pt. „Podwójna rola reakcji chemicznych w mikrofluidyce – przystosowanie mikroukładów do różnorodnych zastosowań poprzez modyfikacje powierzchni mikrokanalów oraz



konstruowanie systemów mikroprzepływowych do prowadzenia reakcji organicznych” nie jest merytorycznie spójny. Wyniki przedstawionych prac nie stanowią znaczącego wkładu dra inż. Pawła Jankowskiego do dyscypliny nauki chemiczne.

Wyrażam negatywną opinię na temat przedstawionego dorobku naukowego i nie popieram wniosku o nadanie drowi inż. Pawłowi Jankowskiemu stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki chemiczne.

