



UNIwersytet  
JAGIELLOŃSKI  
W KRAKOWIE

Recenzja osiągnięcia naukowego zatytułowanego  
**„Nanostrukturalne mono- i bimetaliczne katalizatory o niskiej  
zawartości metali Ni i Cu – właściwości strukturalne  
i aktywność katalityczna”** w postępowaniu w sprawie nadania  
stopnia doktora habilitowanego  
**dr inż. Izabeli Stefanowicz-Pięty** prowadzonym przez  
Instytut Chemii Fizycznej PAN w Warszawie

### Wstęp

Dr inż. Izabela Stefanowicz-Pięta jest pracownikiem naukowym Instytutu Chemii Fizycznej PAN w Warszawie na stanowisku adiunkta od 2015 roku. Stopień doktora nauk chemicznych uzyskała w Uniwersytecie w Maladze UMA w Hiszpanii w 2011 roku. W latach 2011 – 2012 dr Stefanowicz-Pięta odbyła staż podoktorski w Uniwersytecie w Waterloo w Kanadzie (grupa profesora Williama Eplinga), a następnie była zatrudniona w latach 2012 – 2015 w Instytucie Energetyki PIB (ówcześnie przy Ministerstwie Gospodarki) w ramach projektu SENERES na stanowisku adiunkta. Aktywność naukowa Habilitantki rozpoczęła się jeszcze w okresie przed doktoratem (pierwsza publikacja ukazała się w 2007 r.), a okres pracy poświęcony akumulacji dorobku habilitacyjnego przypada na lata zatrudnienia w IChF PAN. Dorobek Habilitantki ma charakter interdyscyplinarny, łączący zagadnienia chemii podstawowej i inżynierii chemicznej. Jej badania wyraźnie wpisują się w światowe trendy zrównoważonego rozwoju i procesów istotnych z punktu widzenia energetyki (neutralna węglowo transformacja energetyczna). Zainteresowania naukowe Habilitantki związane są z chemią katalityczną procesów reformingu węglowodorów, uwodornienia, usuwania NO<sub>x</sub>, elektrokatalitycznym utlenianiem, a także pozakatalitycznymi zagadnieniami związanymi z badaniami membran biologicznych i matryc polimerowych. W swoich badaniach Habilitantka stosuje zarówno techniki fizykochemiczne, spektroskopowe, mikroskopowe, syntezę nieorganiczną, a przede wszystkim pomiary aktywności katalitycznej w tym badania *in situ*.

### 1. Ocena osiągnięcia habilitacyjnego

Osiągnięciem naukowym jest cykl 10 (H1 – H10) powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych ujętych w stosownym wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami, zebranych pod wspólnym tytułem „*Nanostrukturalne mono- i*

Wydział Chemii

Dr hab. Piotr Pietrzyk, prof. UJ

tel. +48(12) 686 2508

piotr.pietrzyk@uj.edu.pl

ul. Gronostajowa 2

PL 30-387 Kraków

tel. +48(12) 686 2770

fax +48(12) 686 2750

sekretar@chemia.uj.edu.pl

www.chemia.uj.edu.pl

***bimetaliczne katalizatory o niskiej zawartości metali Ni i Cu – właściwości strukturalne i aktywność katalityczna***". Wszystkie prace mają charakter wieloautorski i zostały opublikowane w czasopiśmie o obiegu międzynarodowym o średnich i bardzo wysokich wartościach współczynnika oddziaływania (IF). Są to takie czasopisma jak *Catalysis Today*, *International Journal of Hydrogen Energy*, *Chemical Engineering Journal*, *Catalysts*, *ACS Industrial and Engineering Chemistry Research*, *Applied Catalysis B – Environmental*, *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, *Advanced Materials Interfaces*. Średnia wartość IF dla tych czasopism wynosi 8,671 (na podstawie wartości IF z 2021 roku podanych w Załączniku 4 Wykaz osiągnięć), co należy uznać za wynik bardzo dobry. Liczba cytowań tych prac równa jest 404 (marzec 2024), przy czym jedna z prac (**H8**) cytowana była aż 220 razy (publikacja z 2019 roku). Wartości takie świadczą o rozpoznawalności tych prac w świecie nauki. Należy podkreślić, że we wszystkich publikacjach **H1 – H10** Habilitantka jest autorem korespondującym, dodatkowo w 8 jest pierwszym lub ostatnim autorem. We wszystkich przypadkach są to prace wieloautorskie (pomiędzy 6 a 13 autorów). Oświadczenia Habilitantki i współautorów wskazują na główną rolę Habilitantki w powstawaniu cyklu publikacji składających się na osiągnięcie naukowe (prace koncepcyjne, zdobywanie finansowania, syntezy katalizatorów oraz pomiary aktywności katalitycznej). Analizy i pomiary technikami spektroskopowymi i innymi technikami fizykochemicznymi w większości były wykonywane przez licznych współautorów. Sam Autoreferat, w którym opisano badania i uzyskane wyniki, przygotowany został w sposób czytelny i dostatecznie staranny. Także angielska wersja tego dokumentu nie pozostawia wątpliwości, że Habilitantka posiada odpowiednie kompetencje lingwistyczne.

Z recenzenckiego obowiązku zwracam uwagę, że w tytule osiągnięcia wspomniane są układy katalityczne „o niskiej zawartości metali Ni i Cu”, podczas gdy katalizator zawierający miedź opisany jest tylko w publikacjach **H6**, **H8** i **H10**, natomiast domieszkowanie wanadem badane jest w publikacjach **H1 – H5**. W takiej sytuacji tytuł osiągnięcia powinien bardziej symetrycznie odzwierciedlać udział tych metali w przedstawionych wynikach badań.

Celem badań, których rezultatem jest cykl habilitacyjny **H1 – H10**, było ustalenie struktury katalizatorów wieloskładnikowych (główne metale wchodzące w skład faz aktywnych to Ni, V, Cu), optymalizacja ich składu oraz pokazanie związków struktura-morfologia-skład z aktywnością katalityczną w reakcjach ważnych z punktu widzenia transformacji energetycznej. Szczegółowym celem było uzyskanie aktywnych faz z obniżoną zawartością metali, które są sklasyfikowane jako metale krytyczne, a w przypadku niklu także jako toksyczne, przy zachowaniu wysokiej aktywności katalitycznej i selektywności badanych układów. Wszystkie badane katalizatory były układami nośnikowymi, opartymi na tlenku glinu (odmiany alfa i gamma), azotku węgla (forma grafitowa) lub cyjanograficie, które pozwalały na stabilizację faz aktywnych w postaci zarówno nanocząstek metalicznych, tlenkowych jak i centrów jednoatomowych.

Badania katalizatorów i reakcji katalitycznych prowadzone były w niezwykle ważnym kontekście produkcji biopaliw oraz transformacji biopaliw w energię lub nośniki energii

i wykorzystania ich w ogniwach paliwowych. Przedmiotem zainteresowań były reakcje realizowane w trybie termokatalitycznym lub elektrokatalitycznym. Reakcje termokatalityczne obejmowały syntezę paliw i nośników energii (wodór, gaz syntezowy, metan) oraz dodatków do paliw (metanol, etanol, eter dimetylowy). Badania te są przedmiotem publikacji od H1 do H7. W pracach H1 – H3 opisane są wyniki badań nad reakcją reformingu parowego do otrzymywania wodoru i gazu syntezowego, prace H4 – H7 poświęcone są procesowi uwodorniania ditlenku węgla do metanu. Trzy kolejne publikacje cyklu habilitacyjnego (H8 – H10) poświęcone są elektrokatalitycznemu procesowi utleniania metanolu i etanolu oraz redukcji ditlenku węgla.

Koncepcja prowadzonych prac oparta była na idei otrzymania nowych katalizatorów o obniżonej zawartości metali w stosunku do komercyjnych rozwiązań przy zachowaniu wysokich parametrów aktywności katalitycznej. Możliwe to było dzięki zbadaniu i zrozumieniu relacji struktury powierzchni katalizatora, wpływu otoczenia centrów aktywnych katalizatora z uwzględnieniem oddziaływań krótko- i długodystansowych, restrukturyzacji powierzchni i centrum aktywnego pod wpływem przebiegającej reakcji powierzchniowej, a wreszcie optymalizację oddziaływania nośnik-faza aktywna i zastosowanie nośników warstwowych opartych na modyfikowanych materiałach węglowych (grafitowy azotek węgla i cyjanografen).

Publikacje H1 – H3 poświęcone są promowanym wanadem katalizatorom niklowym do reformingu parowego metanu (H1) i eteru dimetylowego (H2, H3). Katalizatory poddano standardowej charakterystyce strukturalnej (XRD, TEM) oraz skupiono się na specyficznych cechach redukowalności (XPS, H<sub>2</sub>-TPR), specjacji związanej z występowaniem metali na różnych stopniach utlenienia, identyfikacji i roli centrów kwasowych Lewisa (pomiaru IR adsorpcji NH<sub>3</sub>). W pracy H3 wykorzystano badania DRIFT *in situ* przebiegu reakcji adsorpcji i hydrolizy DME. Mierzona aktywność katalityczna była porównywana do wartości uzyskiwanych dla komercyjnych katalizatorów niklowych. Uzyskane katalizatory wykazywały większą aktywność przy wyraźnie obniżonej zawartości metali. Promowanie wanadem okazało się skuteczną strategią poprawy aktywności katalizatorów niklowych. Pozwoliło to na generowanie zarówno centrów kwasowych jak i metalicznych, a w konsekwencji na sterowanie selektywnością bardziej złożonego, wieloetapowego procesu reformingu DME. Pomiaru *in situ* pozwoliły na wniknięcie w naturę składowych reakcji chemicznych procesu reformingu i prześledzenie ich zmian ze zmianą temperatury procesu.

Publikacje H4 – H6 poświęcone są badaniom reakcji uwodornienia CO<sub>2</sub> do metanu. Prace w tym zakresie nakierowane były na optymalizację składu katalizatorów, mającą na celu uniknięcie zidentyfikowanych problemów związanych z pracą skomercjalizowanych układów: słaba stabilność i aktywność w niskich temperaturach, tworzenie depozytu węglowego. Przyjęta strategia w tym zakresie to włączenie składnika typu *oxygen storage capacity* (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) (H4, H5) oraz tworzenie odpowiednio małych nanokryształów niklu i zapewnienie ich wysokiej stabilności na specjalnych nośnikach katalitycznych. Katalizatory opisane w publikacji H5 zostały przygotowane we współpracy z Instytutem Nowych Syntezy Chemicznych zarówno w formie proszkowej, jak i ustrukturyzowanej (kulki o średnicach 4 – 6 mm). Dotowanie

zarówno wanadem jak i wapniem pozwoliło na uzyskanie katalizatorów o wydajności tworzenia  $\text{CH}_4$  do 97% (100% selektywności do metanu), co jest wyraźnym sukcesem. Oprócz analizy struktury wykorzystano pomiary XPS,  $\text{H}_2$ -TPR, IR, badania składu EDX, pomiary Ramana (w tym mapowanie spektralne) oraz badania *in situ* DRIFT przebiegu reakcji. Jednym z otrzymanych katalizatorów niklowych był otrzymany na bazie hydrotalkitu (7% wag. NiO), który charakteryzował się występowaniem niklu w warstwie brucytowej. Katalizator ten przewyższał pozostałe układy, w tym analogi komercyjnych układów, w aktywności (konwersja równowagowa osiągnięta w 350 °C), trwałości fazy aktywnej i selektywności. Charakteryzował się zwiększoną powierzchnią właściwą oraz występowaniem cząstek niklu o wielkości rzędu 6 nm. Próby stabilizacji jeszcze mniejszych cząstek zostały podjęte z wykorzystaniem nieklasycznego nośnika, grafitowego azotku węgla  $g\text{-C}_3\text{N}_4$ . W pracy **H6** wykorzystano racjonalne przesłanki wynikające ze struktury nośnika do stabilizacji nanocząstek w obrębie wnęk heparynowych, wykorzystanie par elektronowych do stabilizacji nanocząstek metali o najmniejszych rozmiarach. Wpływa to na uzyskanie powierzchniowych, 2D struktur o poprawionym (bardziej jednorodnym) rozkładzie wielkości cząstek metalicznych. Katalizatory te, przy drastycznym zmniejszeniu zawartości metalu (o 90% względem układów komercyjnych), zachowały podobne parametry aktywności katalitycznej. Nowością w tej pracy (**H6**) były badania związane z toksycznością otrzymanego hybrydowego katalizatora. Badania biologiczne pokazały, że czysty nośnik jest nieszkodliwy dla linii komórkowych keratynocytów ludzkiej skóry, a katalizator niklowy w stężeniu do ok. 6  $\mu\text{g}/\text{ml}$  był nietoksyczny.

Publikacja **H7** dotyczy reakcji sprzęgania etanolu do eteru dietylowego (DEE) na katalizatorach niklowych, otrzymanych na bazie hydrotalkitu (ten sam katalizator użyty został w publikacji **H4**). Katalizatory te charakteryzowały się obecnością znacznej liczby składników pochodzenia metali d (Cr, Mn, Zr) oraz Ca i Mg. Były to wyraźnie najslabiej zdefiniowane układy ze wszystkich badanych w ramach cyklu prac. Charakteryzowały się występowaniem różnych par redoks, a przez to znacznym zdefektowaniem podsięci tlenkowej. Zaletą ich było jednak ograniczenie powstawania wielowęglowych łańcuchów i ograniczenia tworzenia koksu w procesie sprzęgania. W badaniach wykorzystano narzędzia do badania struktury i składu, obserwacje mikroskopowe SEM i TEM, badania IR, Raman (przed reakcją i *post mortem*). Wyniki badań doprowadziły do zaproponowania mechanizmu reakcji sprzęgania i reakcji pobocznych. Nie jest to jednak mechanizm oryginalny, oparty o własne badania mechanistyczne, lecz mechanizm adoptowany na podstawie licznej literatury. Ostatecznie zaproponowano dwie równoległe ścieżki mechanistyczne – reakcja Guerbeta (poprzez kondensację aldolową) oraz bezpośredniej kondensacji.

W pracach **H8 – H10** opisano wyniki elektrochemicznego utleniania wybranych alkoholi na katalizatorach zawierających Ni, Cu lub binarny układ Ni-Cu na nieklasycznych nośnikach  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  (**H8**, **H9**) i cyjanografen G-CN (**H10**). Układy oparte na azotku węgla badano pod kątem ich aktywności w elektrokatalitycznym utlenianiu metanolu (**H8**) i etanolu (**H9**) w zasadowych warunkach jako chemiczne źródła energii. Otrzymane katalizatory, (Ni, Ni-Cu, Cu)/ $g\text{-C}_3\text{N}_4$  gruntownie przebadano standardowymi technikami spektroskopowymi, mikroskopowymi

oraz elektrochemicznie. Ustalono specjację fazy aktywnej identyfikując nanokryształy NiO jako formy aktywne w procesie elektrodowym. W przypadku tych katalizatorów, w reakcji utleniania metanolu (H8), dodatek miedzi niekorzystnie wpływał na parametry prądowe, obniżając aktywność elektrokatalityczną. Przeciwna obserwacja dotyczyła wykorzystania promieniowania elektromagnetycznego z zakresu widzialnego (nie podano jednak charakterystyki tego promieniowania ani jego źródła), które prowadziło do wyraźnego wzrostu aktywności materiałów, a tym samym mierzonych prądów. Efekt ten został wyjaśniony za pomocą klasycznego diagramu energetycznego z naniesionymi wartościami krawędzi pasm i potencjałów reakcji elektrochemicznych. Dane to są zaczerpnięte z literatury, postulowane jest występowanie form rodnikowych w trakcie elektroutleniania, jednak wyniki badań potwierdzające zakładany mechanizm nie są prezentowane. W związku z tym wyjaśnienie obserwowanej aktywności jest oparte na postulatach i danych literaturowych, i ma częściowo charakter spekulatywny. Analogiczna metodologia została przyjęta w pracy H9 (katalizator niklowy na nośniku g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>). W obu przypadkach wykazano większe aktywności elektrokatalityczne (większe wartości mierzonych prądów), a tym samym wyższość zaproponowanych katalizatorów nad klasycznymi nośnikowymi (grafen, tlenek grafenu, grafit) układami albo metalicznymi nanocząstkami niklu (Tabela 1, H9). Zachowano przy tym lepszą ekonomikę metalu w procesie syntezy.

Katalizatory miedziowe, tzw. *single atom catalysts*, opisane w pracy H10 nie są nowe, zostały otrzymane i scharakteryzowane w 2019 roku przez współpracowników Habilitantki (referencja 12 w pracy H10). W pracy H10 zaprezentowano zatem znane już materiały, wykorzystane w kontekście cyklu publikacji Habilitantki. Praca opisuje głównie uzyskane wyniki elektrokatalityczne, brak jest badań o charakterze mechanistycznym, a proponowane wyjaśnienia obserwowanej aktywności oparte są na danych literaturowych. Obecność centrów w postaci pojedynczych atomów i/lub kationów miedzi została wykazana za pomocą technik absorpcji promieniowania X (publikacja 12 z listy referencji) i mikroskopii TEM/STEM. Na podstawie pomiarów STEM wykluczono obecność nanokrystalicznych cząstek tlenkowych bądź metalicznych. Ustalono ponadto, że miedź na przewodzącej powierzchni cyjanografenu (G-CN) występuje w formie kationów o mieszanej wartościowości (30% Cu(II) i 70% Cu(I)). Taki katalizator, w porównaniu z grafitowym katalizatorem g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> oraz katalizatorami komercyjnymi, został wykorzystany w pomiarach elektrokatalitycznego utleniania metanolu i redukcji CO<sub>2</sub>. Obecność dobrze zdefiniowanych, monoatomowych centrów miedziowych na przewodzącym nośniku pozwoliła na wygenerowanie sprzężonych par redoksowych, koniecznych do efektywnego moderowania elektro-redukcji(utleniania) metanolu i CO<sub>2</sub> z zachowaniem stałego stosunku centrów Cu zredukowanych do utlenionych. W efekcie otrzymano elektrokatalizatory o bardzo dobrych parametrach pracy i wydajności katalitycznej.

Moja krytyczna uwaga dotycząca przedstawionych wyników badań w pracach H1 – H10 związana jest z jakościowym charakterem zaproponowanych mechanizmów reakcji. Najczęściej opierają się one na zidentyfikowanych produktach reakcji (dystrybucji tych produktów); rzadko podejmowane są próby uchwycenia etapów przejściowych

(np. produktów rodnikowych), czy wyznaczenia parametrów kinetycznych. Brak jest typowego podejścia kinetycznego – postulowania mechanizmu poprzez równania kinetyczne, wyznaczanie parametrów kinetycznych. Wymagałoby to zastosowania bardziej wyrafinowanych metod spektroskopowych, detekcji technikami szybkimi z rozdzielczością czasową, stosowania reagentów znakowanych izotopowo, wykorzystania pomiarów *operando*, nie tylko prostszych pomiarów *in situ*. Tego typu badania są obecnie podstawą najnowszych światowych trendów w rozwoju katalizy charakteryzując awangardowe laboratoria i zdobywane tam osiągnięcia.

Niemniej jednak należy podkreślić, że część otrzymanych układów katalitycznych zostało przeskalowanych w celu uzyskania przemysłowej formy nośnikowych katalizatorów, a ich aktywność została przetestowana nie tylko w warunkach laboratoryjnych, ale także w warunkach pilotowych instalacji półprzemysłowych (współpraca z Instytutem Nowych Syntezy Chemicznych w Puławach, publikacja H1). Analogiczna informacja podana w autoreferacie dotyczy katalizatorów stosowanych w badaniach uwodornienia CO<sub>2</sub> (publikacje H4 i H5), choć nie jest to opisane, a wyniki nie są dyskutowane w tych publikacjach.

Dodatkowym osiągnięciem Habilitantki było zaprojektowanie i realizacja dedykowanego układu do pomiaru aktywności katalitycznej opartej na technice *operando*, łączącej spektroskopię DFRIFT i analizę metodą spektrometrii masowej. Wyniki pomiarów spektroskopowych *in situ* w trakcie reformingu parowego eteru dimetylowego (DME) zaprezentowano w pracy H3. Nie pokazano jednak wyników pomiarów *operando*.

Analiza publikacji przedstawionych jako osiągnięcie publikacyjne H1 – H10 pozwala w mojej ocenie wskazać znaczący, zakumulowany wkład w rozwój dyscypliny nauki chemicznej. W szczególności dotyczy to chemii katalitycznej reformingu parowego, uwodornienia CO<sub>2</sub> oraz elektrokatalitycznego utleniania alkoholi w kontekście wykorzystania tych substancji i reakcji jako źródła i wektory odnawianej energii. Poniżej wskazuję najważniejsze w mojej opinii osiągnięcia związane z przedstawionym cyklem publikacji.

1. Opracowanie serii katalizatorów aktywnych w procesach reformingu metanu i DME o aktywności katalitycznej przekraczającej aktywność referencyjnych układów komercyjnych lecz zawierających wyraźnie niższą (ponad 30%) zawartość metalu (niklu). Dodatkowo wykazanie w jaki sposób aktywność ta może być poprawiana (poprzez wpływ na redukowalność fazy aktywnej) za pomocą dotowania wanadem i otrzymanie binarnych katalizatorów Ni-V na nośniku Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Powierzchniowe centra aktywne takich katalizatorów wykazują właściwości utleniające w redukującej atmosferze reakcji reformingu (pełnią rolę „magazynu tlenu”), poprawiając aktywność i selektywność reakcji. Uzyskane katalizatory charakteryzowały się także poprawioną stabilnością termiczną oraz odpornością na tworzenie depozytu węglowego. Należy podkreślić, że aktywność tych katalizatorów została zbadana z wykorzystaniem pomiarów *in situ* za pomocą techniki DRIFT. Pozwoliło to na ustalenie zakresów termicznych występowania i sekwencji składowych reakcji całego procesu (hydroliza, reforming, rozkładu termicznego, utleniającego reformingu).

2. Opracowanie analogicznych jak powyżej (Ni-V) binarnych katalizatorów aktywnych w procesie uwodorniania CO<sub>2</sub> charakteryzujących się obniżoną zawartością niklu w porównaniu z układami komercyjnymi. Katalizatory te charakteryzują się poprawioną dyspersją fazy aktywnej na Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, a także wykorzystaniem nośnika w postaci grafitowego azotku węgla (g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>). Dla układów opartych na Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> uzyskano poprawioną aktywność zwłaszcza w zakresie niskotemperaturowym. Optymalizacja składu Ni-V wyraźnie poprawiła aktywność i selektywność do CH<sub>4</sub>, z minimalizacją produkcji CO. Zastosowanie nośnika g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> pozwoliło na ponad 90% zmniejszenie zawartości Ni (w porównaniu z katalizatorami komercyjnymi) przy zachowaniu wysokiej aktywności katalitycznej, a przede wszystkim wyraźnie zmniejszyła się toksyczność otrzymanych katalizatorów dla środowiska (mierzonych *in vitro* względem wybranych linii komórkowych ludzkiej skóry).

3. Opracowanie mono- (Cu, Ni) i bimetalicznych (Cu-Ni) nośnikowych katalizatorów na g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> i cyjanografenie do celów elektrochemicznego utleniania alkoholi jako chemicznego źródła energii elektrycznej. Układy (Cu,Ni)@g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> pozwalają na chemiczne dostrajanie aktywności (foto)katalitycznej poprzez modyfikację stechiometrii metali przejściowych, a także składu chemicznego i morfologii powierzchni w celu regulacji gęstości prądu i fotoprądu. Zważywszy na łatwość wytwarzania tych materiałów i niski koszt zarówno układów nośnikowych, jak i elektrod stosowanych w reakcji elektrochemicznego utleniania alkoholi, uzyskane materiały są obiecującą klasą wysoce wydajnych (foto)elektrokatalizatorów do utleniania małych cząsteczek organicznych w alkoholowych ogniwach paliwowych. Prace te doprowadziły do uzyskania katalizatora, w którym faza aktywna nanokrystaliczna została zastąpiona pojedynczymi atomami metalu (Cu). Takie materiały zostały otrzymane dzięki wykorzystaniu cyjanografenu, którego grupy powierzchniowe pozwoliły na stabilizację izolowanych atomów miedzi, zdolnych do oscylacyjnych zmian stanu walencyjnego. Wykazały one znakomitą aktywność elektrokatalityczną w reakcjach utleniania metanolu i redukcji CO<sub>2</sub>.

W podsumowaniu stwierdzam, że zważywszy na zawartość merytoryczną załączonych publikacji, oryginalność uzyskanych wyników, ich znaczenie poznawcze i potencjalne aspekty aplikacyjne stąd wynikające oraz wysoką rangę czasopism, w których prace H1 – H10 zostały opublikowane, cykl tych publikacji stanowi znaczący wkład w rozwój dyscypliny nauki chemiczne.

## 2. Ogólna ocena dorobku naukowego

Na całkowity dorobek publikacyjny Pani dr inż. Izabeli Stefanowicz-Pięty składa się 51 publikacji (baza *Web of Science*), z czego po doktoracie ukazało się 40 publikacji. Sumaryczne wskaźniki bibliometryczne są na bardzo dobrym poziomie. Aktywność publikacyjna Habilitantki mierzona na przestrzeni lat 2007 – 2024 charakteryzuje się wartością indeksu Hirscha  $h = 19$  i całkowitą liczbą cytowań równą 1550 (wartość aktualna, baza *Web of Science*). Wartość sumaryczna współczynnika IF przekroczyła 300. Dodatkowo dr inż. Stefanowicz-Pięta jest współautorką 5 rozdziałów w monografiach specjalistycznych. Wyniki swoich badań

Habilitantka prezentowała na międzynarodowych konferencjach naukowych, w tym po uzyskaniu stopnia doktora w formie 12 komunikatów ustnych i referatów (6 wystąpień jako prelegentka).

Powyższe dane wskazują na bardzo dużą aktywność naukową Habilitantki, która już teraz przełożyła się na rozpoznawalność w środowisku katalitycznym. Elementem wymagającym intensyfikacji w tym względzie jest stała obecność na ważnych, międzynarodowych konferencjach katalitycznych.

### **3. Pozostałe aspekty działalności naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej**

Na podkreślenie zasługuje aktywność Habilitantki w realizacji projektów badawczych i w pozyskiwaniu środków na badania naukowe. Uczestniczyła ona w realizacji 6 projektów badawczych, przy czym w 4 z nich była kierowniczką (NCN Sonata w 2013 roku, FNP Powroty w 2016 roku, Ambasada Francji w 2020 roku, NAWA Program M. Bekkera w 2021 roku).

Istotne osiągnięcia związane są także z 5 udzielonymi w Polsce patentami, których dr inż. Stefanowicz-Pięta jest współautorką. Obraz dopełnia informacja o licznych stażach i wyjazdach naukowych (w tym staż podoktorski w Uniwersytecie w Waterloo w Kanadzie, a także Uniwersytety Sorbona w Paryżu, Maladze w Hiszpanii, Genui we Włoszech, Politechnika w Mediolanie we Włoszech). Ważne jest, że staże i wyjazdy zagraniczne zaowocowały wspólnymi publikacjami (w tym wchodzącymi w skład cyklu habilitacyjnego **H1 – H3, H6, H8, H10**) i projektami z partnerami z zagranicy.

Habilitantka jest także aktywną recenzentką na rzecz czasopism o obiegu międzynarodowym, projektów w agencjach NAWA i FNP, a także projektów europejskich w ramach programu H2020. Będąc na wyjazdach w Hiszpanii pełniła rolę recenzenta zewnętrznego pracy doktorskiej oraz członka komisji obrony doktoratu.

Dr inż. Izabela Stefanowicz-Pięta wykonywała szereg prac na rzecz i we współpracy z partnerami z otoczenia gospodarczego zarówno w ramach wyjazdów zagranicznych (FORD, SASOL, General Motors, ViveNano) jak i w Polsce (Polska Grupa Energetyczna, Chemeko-System, Infra Ekoserwis).

Prace i osiągnięcia dr inż. Izabeli Stefanowicz-Pięty były nagradzane i dostrzeżone przez środowisko naukowe i zawodowe. Nagroda za pracę magisterską pozwoliła na 10-miesięczny staż w dziale badawczym Forda w Aachen. Habilitantka jest laureatką konkursu „Młody Naukowiec 2021 roku” organizowanego przez IChF PAN, konkursu „Superwoman in Science” organizowanego przez FNP oraz nagród AIE oraz REGI za mikrostrukturalny reformer do waloryzacji paliwa drugiej generacji.

Ze względu na charakter pracy w IChF PAN i faktu, iż jednostka ta nie prowadzi studiów I ani II stopnia, dorobek dydaktyczny Habilitantki jest bardzo ograniczony. Tym niemniej, dzięki związkom z Uniwersytetem w Maladze, dr inż. Stefanowicz-Pięta była promotorem rozprawy



doktorskiej obronionej w 2023 roku. Jest także współpromotorem pracy doktorskiej realizowanej w IChF PAN. Ponadto Habilitantka sprawowała opiekę nad 4 pracami magisterskimi (3 z nich na Uniwersytecie w Maladze). Prowadziła wykłady w ramach trzech kursów akademickich – 2 na Uniwersytecie Warszawskim (2016 – 2018) i 1 na Uniwersytecie w Maladze.

#### 4. Wniosek końcowy

Na podstawie szczegółowej analizy cyklu publikacji (cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych) zatytułowanego „**Nanostrukturalne mono- i bimetaliczne katalizatory o niskiej zawartości metali Ni i Cu – właściwości strukturalne i aktywność katalityczna**”, będącego podstawą wniosku w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego dr inż. Izabeli Stefanowicz-Pięcie stwierdzam, iż cykl ten stanowi osiągnięcie naukowe w rozumieniu ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Wskazane osiągnięcie naukowe stanowi w mojej opinii znaczący wkład w rozwój dyscypliny nauki chemiczne zgodnie z treścią zawartą w punkcie 1. tej recenzji. W związku z powyższym zwracam się do Komisji Habilitacyjnej z wnioskiem o podjęcie uchwały, w której rekomenduje ona Radzie Naukowej Instytutu Chemii Fizycznej PAN w Warszawie nadanie dr inż. Izabeli Stefanowicz-Pięcie stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk chemicznych.

Kraków, dnia 14 marca 2024 r.



Dr hab. Piotr Pietrzyk, prof. UJ

