

Wrocław, 30. 11. 2019

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA  
Wydział Chemiczny  
Zakład Chemii i Technologii Paliw  
Prof. dr hab. inż. Jerzy Walendziewski  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław  
jerzy.walendziewski @pwr.edu.pl  
tel. (071) 320 3551

|                                                                               |                    |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| POLITECHNIKA GDAŃSKA<br>WYDZIAŁ FIZYKI TECHNICZNEJ<br>I MATEMATYKI STOSOWANEJ |                    |
| Wpłynęło dnia                                                                 | 13.12.2019         |
| L. dz.                                                                        | 801/WFT;MS/SN/2019 |
| Zał.                                                                          | —                  |

Recenzja rozprawy habilitacyjnej dr. inż. Jakuba Karczewskiego  
„Nanostruktury w tlenkowych ogniwach paliwowych i elektrolizerach”

### 1. Sylwetka habilitanta

Dr inż. Jakub Karczewski jest absolwentem Wydziału Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej, kierunek Fizyka Techniczna. Pracę magisterską zatytułowaną: „Badanie właściwości elektrycznych tlenków ołowiu domieszkowanego srebrem” pod opieką profesora Bogusława Kusza wykonał i obronił w 2006 roku. W tym samym roku rozpoczął studia doktoranckie w środowiskowym Studium Doktoranckim Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej zakończone w 2011 roku obroną rozprawy doktorskiej „Badanie modyfikowanych struktur  $\text{SrTiO}_3$  pod względem możliwości wykorzystania jako anody w tlenkowych ogniwach paliwowych” także pod opieką promotorską profesora Bogusława Kusza uzyskując stopień doktora nauk fizycznych. Jeszcze przed obroną rozprawy doktorskiej w 2008 roku został zatrudniony na stanowisku asystenta, Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej. Po uzyskaniu stopnia doktora w 2011 roku awansował na stanowisko adiunkta na tym samym Wydziale gdzie pracuje do chwili obecnej. W trakcie swojej pracy naukowej współpracował z Technical University of Denmark w zakresie korozji i jej zapobiegania w interkonektorach stosowanych w stosach ogniw paliwowych. Współpraca ta pozwoliła na uzyskanie wspólnego i obecnie realizowanego projektu w zakresie tej tematyki z Technical University of Denmark. Od 2015 roku Habilitant współpracuje z National Taipei University of Technology na Tajwanie realizując dwa projekty badawcze. Uzyskanie możliwości finansowania badań przez te i inne projekty badawcze pozwoliło Habilitantowi na utworzenie własnej grupy badawczej realizującej badania w ramach większego zespołu zajmującego się ogniwami paliwowymi w Politechnice Gdańskiej.

### 2. Ocena formalna wniosku habilitacyjnego

Na rozprawę habilitacyjną dr. inż. Jakuba Karczewskiego składa się zbiór 12 publikacji z czasopism katalogowanych w tzw. Liście Filadelfijskiej. Trzy prace (pozycje 1, 5 i 9) w zestawieniu zostały opublikowane w czasopiśmie Solid State Ionics, IF od 2,112 do 2,751). Dwukrotnie prace Habilitanta i zespołu opublikowano w czasopiśmie Electrochimica Acta, pozycje 3 i 6 w zestawieniu o IF od 4,798 do 5,116. Pozostałe wyniki badań opublikowano w różnych czasopismach po jednej pracy w każdym:  
Journal of Solid State Electrochemistry, pozycja 2, IF -2,327.  
Solid State Sciences, pozycja 4, IF = 1,811.

Surface & Coating Technology, pozycja 7, IF = 2,906.

Journal of the European Ceramic Society, pozycja 8, IF = 3,794.

Material Chemistry and Physics, pozycja 10, IF = 2,210.

Journal of Electroceramics, pozycja 11, IF = 1,238, oraz SSN Applied Sciences, pozycja 12, bez IF, nowe czasopismo.

Wszystkie publikacje są wieloautorskie, w jednym przypadku publikacja jest dwuautorska ale większość z nich jest 4-ro lub 5-cio autorska. Autorami dwu publikacji jest siedmiu współautorów. Udział Habilitanta w jednym przypadku osiągnął maksymalnie 50 %, w pięciu po 40 % a w pozostałych od 25 do 35 %. Tylko w przypadku dwu publikacji (9 i 12) Habilitant był autorem korespondencyjnym. Sumaryczny Impact Factor publikacji tworzących osiągnięcie to 31,814 co daje dość dobrą średnią 2,651 na jedną publikację. Sumaryczny Impact Factor publikacji to 255,937 zaś dorobku nie wchodzącego do dzieła habilitacyjnego 224,123

Kolejnym parametrem podlegającym ocenie jest indeks cytowań publikacji wchodzących w skład wniosku, rozprawy. Całkowita ilość publikacji dr. J. Karczewskiego z listy JCR osiągnęła wartość 88, w tym 12 publikacji tworzących osiągnięcie naukowe. Do pozostałego dorobku należy zaliczyć materiały opublikowane w czasopismach z poza listy JCR (10) i materiały konferencyjne (8) oraz 5 patentów. Publikacje te były cytowane 597 razy (632 wg bazy Scopus) a uzyskany Indeks Hirscha 13. Brak jest informacji na temat cytowań 12 publikacji wchodzących w skład wniosku. Można uznać że przedstawione sumaryczne wyniki bibliometryczne dorobku naukowego Habilitanta w pełni zasługują na uznanie.

Zgodnie z wymaganiami Ustawy współautorzy publikacji złożyli oświadczenia o ich udziałach i wkładzie intelektualnym w realizację poszczególnych publikacji. Z załączonych do wniosku dokumentów jednoznacznie wynika, że Habilitant był osobą zarówno kreującą, często współkreującą tematykę badawczą, wykonawcą części prac eksperymentalnych jak i współpracującą wyniki badań i manuskrypty publikacji.

### **3. Ocena merytoryczna wniosku habilitacyjnego**

W przedstawionej do recenzji rozprawie Habilitant zajmuje się poprawą efektywności działania ogniw paliwowych typu SOFC/SOEC poprzez zastosowanie nowych nanostruktur w warstwach elektrodowych. Wybrany kierunek badań uzasadnia potrzebą ułatwienia komercyjnego zastosowania ogniw poprzez obniżenie temperatury ich pracy do 750-700 °C lub nawet rzędu 600 °C. Zachowanie wydajności układu ogniwa przy obniżeniu temperatury jego pracy wiąże się koniecznością zmniejszenia oporów polaryzacyjnych przez zastosowanie odpowiednich materiałów tworzących warstwę pośrednią. Prace realizowane w ramach projektów badawczych zmierzały do celu w kilku kierunkach.

W pierwszym kierunku celem badań była modyfikacja a właściwie poprawa współdziałania stałego elektrolitu i elektrody tlenowej (katody) w celu zmniejszenia oporów polaryzacyjnych. Ponieważ około połowy oporów ogniwa jest spowodowane przez elektrodę tlenową zatem podjęto próbę jej modyfikacji. W pierwszym podejściu zastosowano materiał elektrodowy LNF nanoszony na podłoże elektrolitowe CGO metodą wirową w wyniku czego otrzymano warstwę litą o dużej gęstości będącą w bezpośrednim kontakcie z elektrodą tlenową z tego samego materiału LNF ale porowatą. Pomiary wykazały zmniejszenie oporów polaryzacyjnych o około 30 %. Podobny efekt, zmniejszenie oporów polaryzacyjnych osiągnięto stosując zarówno warstwy pośrednie z LNF jak i LCSF ale tego efektu nie stwierdzono w przypadku innych warstw pośrednich, w tym. STF. Istotnym wnioskiem z badań tej serii jest stwierdzenie że dobrze działająca warstwa pośrednia zmniejsza opory



polaryzacyjne a także minimalizuje degradację katody w rezultacie zmian temperatury ogniwa. Ważne jest także stosowanie odpowiednich, tj. niezbyt wysokich temperatur spiekania warstwy pośredniej tak aby zachować jej ciągłość i nie spowodować wytworzenia ziaren o zbyt dużej średnicy i nieciągłości warstwy.

Do badań w ramach tej grupy można zaliczyć udane próby wytwarzania kompozytowej elektrody tlenowej bezpośrednio z materiału stałego elektrolitu YSZ (CGO) przez jego nasycanie (impregnację) prekursorem LSCF, roztworem azotanów metali lub materiałem polimerowym wytworzonym z azotanów metali w obecności kwasu cytrynowego i glikolu etylenowego. Wytworzona w ten sposób elektroda pozwalała na znaczne zmniejszenie oporu polaryzacyjnego ogniwa. Dodatkowym efektem zastosowania do impregnacji materiału polimerowego związków metali jest znaczne obniżenie temperatury spiekania w celu wytworzenia materiału jednofazowego.

Atrakcyjny wydaje się drugi kierunek badań w którym Habilitant wraz z zespołem zmierzają do opracowania nowych materiałów perowskitowych na bazie  $\text{STO-SrTiO}_3$  dla konstrukcji elektrody paliwowej. W efekcie zrealizowanych badań stosując metodą niskotemperaturową wytworzono tytaniany strontu dotowane itrem, żelazem i niobem o jednofazowej strukturze i kulistych ziarnach o nanorozmiarach w zakresie 15-70 nm. Wniosek z tych badań, także części innych że jest to potencjalnie dobry materiał elektrodowy wydaje się nieco przedwczesny skoro nie wykonano badań aplikacyjnych. W dalszych badaniach z tej serii w celu zwiększenia przewodnictwa perowskitów wytworzono także metodą zol – żel podwójnie dotowane perowskity  $\text{Sr}_{0.96}\text{Y}_{0.04}\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$ . Badania przewodnictwa elektrycznego wykazały istotny wpływ zawartości dopanta i atmosfery (redukcyjna-utleniająca) na przewodnictwo elektryczne. W ostatnio realizowanych badaniach obiektem badań był tytanian strontu domieszkowany prazeodymem i niklem. Materiał ten, spreparowany metodą ex-solution wykazał że część niklu w formie nanocząstek osadza się na powierzchni perowskitu a badania właściwości potwierdziły obecność niklu metalicznego i dobre przewodnictwo elektryczne. Może to być zatem potencjalnie dobry kandydat na materiał do wytworzenia elektrody paliwowej.

Część dorobku Habilitanta poświęcona jest zastosowaniu bariery dyfuzyjnej w celu ograniczenia dyfuzji strontu z elektrod do elektrolitu, tlenku cyrkonu stabilizowanego tlenkiem itrem (YSZ) i tworzenia cyrkonianu strontu. Jednym z realizowanych rozwiązań było zastosowanie warstw CGO ( $\text{Ce}_{0.8}\text{Gd}_{0.2}\text{O}_2$ ) osadzanych metodą pirolizy natryskowej. Warstwy CGO wprowadzane pomiędzy stały elektrolity YSZ a katody LSF obniżały opór polaryzacyjny przez zwiększenie reakcji redukcji tlenu i szybkości transportu ładunku tlenowego. Według wyników uzyskanych w badaniach elektrycznych warstwa o grubości 400 nm jest dostateczna do zmniejszenia oporu chociaż najniższy opór uzyskano przy grubości warstwy CGO 800 nm. Dla uzyskania warstwy pośredniej o takiej grubości konieczne było zastosowanie operacji jej nanoszenia w kilku stopniach. Efektem tej serii badań było także stwierdzenie przydatności metod pirolizy natryskowej do nanoszenia CGO.

W większości swoich prac eksperymentalnych Habilitant zajmuje się głównie zależnościami pomiędzy strukturą układu elektrody – elektrolit i jego właściwościami fizykochemicznymi. Prowadził w tym celu liczne modyfikacje elektrody tlenowej w celu zmniejszenia oporu pomiędzy elektrodą a elektrolitem, poprawy przewodnictwa elektrod poprzez zmianę ich składu lub zmniejszenia dyfuzji metali np. strontu do elektrolitu poprzez wprowadzenie funkcjonalnych warstw pośrednich. Realizacja założonych celów była możliwa głównie dlatego że członkowie zespołu badawczego w tym Habilitant opanowali złożone



metody preparatyki elektrod i elektrolitów oraz badań ich właściwości fizykochemicznych. W większości publikacji opisy preparatyki są podawane z dużą dokładnością. Charakterystykę wytworzonych materiałów realizowano wykorzystując dostępne metody fizykochemiczne, głównie badania struktury krystalicznej zsyntezowanych materiałów metodą XRD i HT-XRD, TGA, DSC, metodę mikroskopii sił atomowych (AFM) i SEM oraz badania elektrochemiczne (spektroskopia impedancji elektrochemicznej), wyznaczenie oporu właściwego (ASR).

Tylko w niektórych publikacjach można znaleźć informację na temat badań właściwości aplikacyjnych wytworzonych materiałów. W jednym przypadku do badań zastosowano ogniwo paliwowe zasilane wodorem (paliwo) i powietrze (utleniacz) w celu dokonania oceny wpływu funkcjonalnej warstwy pośredniej pomiędzy elektrodą, katodą a elektrolitem na działanie ogniwa. W innej publikacji przedstawiono wyniki zastosowania ogniwa paliwowego do badania konwersji syntetycznego biogazu do wodoru i tlenu węgla stosując zmodyfikowane materiały anodowe w tym modyfikowany perowskit YSTF. Zastosowanie węglowodorów, w tym biogazu do zasilania ogniw paliwowych wydaje się najciekawszą moim zdaniem częścią dorobku Habilitanta. Pewnym niedostatkiem dorobku, w większości publikacji, jest brak oceny praktycznej efektywności działania opracowanych materiałów w ogniwie paliwowym. Poza właściwościami elektrycznymi, zwłaszcza biorąc pod uwagę wysokie temperatury pracy ogniw paliwowych istotna jest także ich stabilność w warunkach ich pracy. Powinno to być z pewnością zaplanowane w dalszych pracach badawczych.

Bezpośredni udział Habilitanta w badaniach eksperymentalnych był stosunkowo mały, ograniczał się w pojedynczych przypadkach do preparatyki materiałów badawczych i pomiarów elektrycznych oraz we wszystkich pracach do badania ich struktury metodami mikroskopowymi. We wszystkich publikacjach udział Habilitanta ma charakter merytoryczny, opracowanie koncepcji badań, nadzorowanie i koordynacja prac eksperymentalnych, uczestnictwo w analizie i interpretacji wyników badań oraz współudział w przygotowaniu i czasami nadzorowaniu prac nad opracowaniem manuskryptu (2 publikacje). Wynika to z faktu że spora część wyników powstała w efekcie przygotowania prac dyplomowych magisterskich i rozpraw doktorskich w których Habilitant pełnił funkcję opiekuna lub promotora pomocniczego. Tylko w procesie publikowania dwu prac Habilitant był autorem korespondencyjnym. Nie zmienia to faktu, że udział merytoryczny w badaniach i opracowaniu 12 publikacji tworzących osiągnięcie jest znaczący. Wzmacnia to fakt pozyskania i uczestnictwa w realizacji licznych (11) projektów badawczych krajowych i międzynarodowych.

#### **4. Ocena dorobku naukowego i organizacyjnego**

Działalność naukowa dr. J. Karczewskiego od początku jego kariery naukowej związana jest z wytwarzaniem i badaniami materiałów o właściwościach elektrycznych do konstrukcji ogniw paliwowych. Tematyka pracy magisterskiej związana była z właściwościami elektrycznymi tlenków ołowiu domieszkowanych srebrem zaś pracy doktorskiej z wytwarzaniem i zastosowaniem modyfikowanych itrem, niobem i lantanem perowskitów  $\text{SrTiO}_3$  jako anod w ogniwach paliwowych. W obydwu przypadkach, funkcję opiekuna pracy magisterskiej i promotora rozprawy doktorskiej pełnił prof. Bogusław Kusz na Wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej.

Całkowita ilość publikacji w dorobku dr. J. Karczewskiego osiągnęła wartość ponad 100, z tego z bazy JCR według moich obliczeń 88. Cztery z nich, poświęcone zastosowaniu materiałom perowskitowym w ogniwach paliwowych zostały opracowane w oparciu o wyniki uzyskane przy

opracowaniu doktoratu. Łączny impact factor tych publikacji, IF = 6,902. Ponadto, efektem tych badań były dwa wystąpienia ustne na konferencjach i pięć posterów.

Po uzyskaniu stopnia doktora dr J. Karczewski kontynuował swoją tematykę badawczą we współpracy z profesorem Piotrem Jasińskim z Wydziału Elektroniki Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej. Między innymi dzięki tej współpracy powstały liczne opracowania, w sumie 88 publikacji z listy JCR w tym 12 tworzących osiągnięcie naukowe i 76 innych publikacji. Obiektem badań realizowanych przez Habilitanta w tym okresie były głównie materiały i tlenkowe ogniwa paliwowe SOFC/SOEC. Łączny Impact Factor 72 publikacji po doktoracie osiągnął imponującą wartość ponad 214. Jednakże udział Habilitanta w ich opracowaniu w większości (w ponad 50-ciu publikacjach) jest niewielki i nie przekracza 10 %. Udział ten polegał przeważnie na badaniach mikrostruktury materiałów metodą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) i analizy EDS lub mikroskopii sił atomowych (AFM) oraz analizie uzyskanych wyników. Habilitant podejmuje także inne tematy badawcze w tym nie związane z jego głównym nurtem badawczym, np. z opracowaniem czujnika do oznaczania glukozy, zastosowaniach mikroskopii elektronowej czy mikroskopii sił atomowych. Jest opiekunem Laboratorium Mikroskopii Elektronowej i Pracowni AFM/STM Centrum Nanotechnologii Politechniki Gdańskiej, współpracując z innymi grupami badawczymi z Politechniki i Uniwersytetu Gdańskiego.

Dr J. Karczewski był współwykonawcą w sumie 11 projektów badawczych krajowych na macierzystym wydziale i we współpracy z Wydziałem Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej oraz międzynarodowych, w tym dwa we współpracy z Tajpej University of Technology. Kierował jednym projektem badawczym.

Dr J. Karczewski wygłosił cztery referaty na zamówienie na konferencjach krajowych zagranicznych. Jest też współautorem sześciu referatów ustnych i szesnastu posterów.

## **5. Ocena dorobku dydaktycznego**

Od 2009 roku tj. od czasu zatrudnienia na stanowisku asystenta dr J. Karczewski prowadził ćwiczenia laboratoryjne, rachunkowe i wykłady głównie związane z fizyką na macierzystym i innych wydziałach Politechniki Gdańskiej. Od 2011 roku prowadzi opracowane przez siebie od podstaw laboratoria z Nanotechnologii Eksperymentalnej i Podstaw Nanotechnologii. Jest też współautorem kursu laboratoryjnego Nanotechnologia w medycynie. W ramach obowiązków dydaktycznych prowadzi także kurs dla doktorantów i kurs na anglojęzycznej specjalności „Nanostructures and computer simulations in material science.”

Pełnił obowiązki promotora pomocniczego dwu zakończonych w 2017 roku rozpraw doktorskich. Jedna z rozpraw doktorskich została wyróżniona dwiema nagrodami, w tym w dziedzinie ogniwa paliwowe i technologie wodorowe przyznana przez Polskie Stowarzyszenie Wodoru Ogniwa Paliwowych. W okresie 11 – tu lat pracy na stanowisku asystenta a później adiunkta pod jego opieką ukończyło studia 19 osób z dyplomem inżyniera i 10 osób z dyplomem magistra inżyniera. Za swoje osiągnięcia naukowe był wielokrotnie nagradzany i wyróżniany nagrodami Rektora Politechniki Gdańskiej.

## **6. Podsumowanie**

Dr inż. Jakub Karczewski jest dojrzałym i samodzielnym pracownikiem naukowym, prowadzącym badania naukowe w dziedzinie technologii materiałów o właściwościach elektrycznych i katalitycznych stosowanych w konstrukcji ogniwa paliwowych. Publikacje wchodzące w skład dzieła są wprawdzie wieloautorskie ale Jego wkład merytoryczny w ich

opracowanie jest dość duży i dobrze określony. Wnoszą one liczne elementy nowości do wiedzy z zakresu inżynierii materiałów funkcjonalnych do konstrukcji efektywnych ogniw paliwowych. Habilitant prezentuje nie tylko dojrzałość naukową ale także łatwość w nawiązywaniu współpracy co jest bardzo istotną cechą samodzielnego pracownika naukowego. Habilitant może pochwalić się znaczącym dorobkiem publikacyjnym poza ścisłą tematyką habilitacji, ma także spore osiągnięcia jako pracownik dydaktyczny.

Podsumowując wyrażam przekonanie że zaprezentowany we wniosku dorobek naukowy dr. J. Karczewskiego ma charakter nowatorski, wpisuje się dobrze w bardzo aktualną obecnie tematykę związaną z poszukiwaniem nowych, funkcjonalnych materiałów niezbędnych do konstrukcji ogniw paliwowych i spełnia kryteria stawiane rozprawom habilitacyjnym.

Przedstawiony do recenzji wniosek habilitacyjny spełnia wszelkie wymagania merytoryczne i formalne stawiane tego typu opracowaniom w odpowiedniej Ustawie o stopniach i tytule naukowym. Uwzględniając powyższe fakty, wnioskuję z przekonaniem o dopuszczeniu dr. Jakuba Karczewskiego do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.

A handwritten signature in black ink, reading "Józef Walecki". The signature is written in a cursive, flowing style with large, connected letters.