

Prof. dr hab. Grzegorz Sulka
Zakład Chemii Fizycznej i Elektrochemii
Zespół Elektrochemii
ul. Gronostajowa 2
30-387 Kraków



**Uniwersytet Jagielloński
w Krakowie**

Kraków, 24.07.2025 r.

OCENA

osiągnięcia naukowego zatytułowanego „Metody otrzymywania, modyfikacji oraz wykorzystania materiałów do konwersji i magazynowania energii” oraz aktywności naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej dr. inż. Mariusza Szkody w związku z postępowaniem o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego

Informacje ogólne

Pan dr inż. Mariusz Szkoda uzyskał tytuł zawodowy inżyniera oraz magistra na Wydziale Chemicznym Politechniki Gdańskiej. Studia magisterskie ukończył w 2014 roku, broniąc pracę pt. „*Właściwości fotoelektrochemiczne związków tlenkowych z grupy $BiMeVO_x$ w kontakcie z elektrolitami ciekłymi*”, wykonaną pod opieką prof. dr hab. Anny Lisowskiej-Oleksiak. W tym samym roku rozpoczął studia doktoranckie w macierzystej jednostce, realizując – pod kierunkiem prof. Lisowskiej-Oleksiak – badania do rozprawy doktorskiej zatytułowanej „*Warstwy tlenkowe TiO_2 oraz MoO_3 jako fotoanody aktywne w świetle widzialnym*”. Stopień doktora nauk chemicznych uzyskał w 2018 roku. Jeszcze przed obroną rozprawy doktorskiej, w 2017 roku, Pan dr inż. Mariusz Szkoda został zatrudniony na stanowisku asystenta w Katedrze Chemii i Technologii Materiałów Funkcjonalnych na Wydziale Chemicznym Politechniki Gdańskiej. W 2019 roku awansował na stanowisko adiunkta badawczego.

Od początku kariery naukowej Pan dr inż. Mariusz Szkoda zajmuje się otrzymywaniem materiałów funkcjonalnych, w tym m.in. heterozłączy opartych na tlenkach metali oraz polimerach przewodzących, które mogą znaleźć zastosowanie w ogniwach fotoelektrochemicznych lub w procesach fotokatalitycznych. W szczególności, w okresie poprzedzającym uzyskanie stopnia doktora koncentrował się na syntezie i charakterystyce materiałów fotoaktywnych, takich jak:

BiMeVO_x, modyfikowane nanorurki TiO₂ oraz MoO₃. Głównym celem tych prac było opracowanie materiałów wykazujących zwiększoną czułość w zakresie światła widzialnego. W tym okresie zdobył również doświadczenie w charakterystyce otrzymywanych materiałów, m.in. pod kątem ich właściwości fotointerkalacyjnych oraz aktywności fotokatalitycznej w procesie rozkładu modelowych barwników organicznych. Po uzyskaniu stopnia doktora jego zainteresowania badawcze nie uległy zasadniczej zmianie, lecz zostały poszerzone o tematykę hybrydowych materiałów, w szczególności takich, które mogą znaleźć zastosowanie jako elektrody w superkondensatorach oraz jako elektrokatalizatory w reakcji wydzielania wodoru.

Ocena osiągnięcia naukowego

Cykl oryginalnych publikacji przedstawionych przez dr. inż. Mariusza Szkodę jako osiągnięcie naukowe w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego obejmuje 14 prac (oznaczonych jako H1–H14), opublikowanych w latach 2020–2024 w czasopismach indeksowanych na liście Journal Citation Reports (JCR). Artykuły te ukazały się w uznanych czasopismach naukowych, takich jak Materials (4 prace), Scientific Reports (3 prace) oraz pojedyncze publikacje w Applied Catalysis B: Environmental, Applied Surface Science, Electrocatalysis, Electrochimica Acta, International Journal of Hydrogen Energy, Journal of Alloys and Compounds oraz Materials Chemistry and Physics. Wskaźniki wpływu (Impact Factor, IF) czasopism, w których ukazały się publikacje wchodzące w skład cyklu habilitacyjnego, mieszczą się w przedziale od 2,7 do 20,2 (zgodnie z wartościami obowiązującymi w roku publikacji). Sumaryczny IF całego cyklu wynosi 76,7, co daje średnią wartość 5,48 na artykuł – wynik bardzo dobry z uwzględnieniem statystyki bibliometrycznej. Należy jednak zauważyć, że większość prac została opublikowana w czasopismach o IF nieprzekraczającym 3,8. W 13 publikacjach cyklu Habilitant występuje jako autor korespondencyjny i jednocześnie pierwszy autor, natomiast w jednej pracy (H12) jako autor ostatni. Dołączone opisy udziału autorskiego oraz oświadczenia współautorów wskazują, że Habilitant był inicjatorem przedstawionych tematów badawczych i pełnił wiodącą rolę w opracowaniu wyników oraz ich przygotowaniu do publikacji w formie bardzo dobrych lub dobrych artykułów naukowych.

Prace wchodzące w skład cyklu habilitacyjnego, moim zdaniem, zostały dobrane w sposób niefortunny. Cykl składa się z 14 publikacji o szerokim i tematycznie niespójnym zakresie, obejmującym zagadnienia od syntezy i charakterystyki materiałów do fotokatalizy oraz fotoelektrochemicznego rozkładu wody, przez materiały elektrokatalityczne do reakcji wydzielania wodoru, aż po materiały elektrodowe przeznaczone do superkondensatorów i baterii. Trudno zatem wskazać jednoznaczny wspólny mianownik pod względem typów badanych materiałów – jedynym elementem łączącym jest ich potencjalne zastosowanie w procesach magazynowania i konwersji energii. Pierwsze cztery prace cyklu habilitacyjnego (H1–H4) koncentrują się na zjawiskach interkalacji i eksfoliacji materiałów warstwowych, ze szczególnym uwzględnieniem mechanizmów tych procesów oraz ich potencjalnych zastosowań, co stanowi kontynuację badań prowadzonych przez Habilitanta w trakcie realizacji rozprawy doktorskiej. Kolejne publikacje (H5–H8) dotyczą syntezy i charakterystyki materiałów do zastosowań w fotokatalizie oraz fotoelektrochemicznym rozkładzie wody. Trzy następne prace (H9–H11) skupiają się na opracowaniu elektrokatalizatorów

do reakcji wydzielania wodoru (HER). Ostatnie trzy poświęcone są materiałom do potencjalnych zastosowań w superkondensatorach. Poniżej przedstawiam zwięzłą charakterystykę i dyskusję na temat publikacji wchodzących w skład cyklu habilitacyjnego.

W pracy H1 Habilitant skoncentrował się na analizie przyczyn niskiej fotoaktywności warstwowego trójtlenku molibdenu (MoO_3), otrzymanego poprzez wygrzewanie termiczne cienkich warstw molibdenu osadzonych na podłożu FTO, w kontekście jego zastosowania w procesie fotoelektrochemicznego utleniania wody. Wykazał, że pomimo korzystnego położenia pasma walencyjnego, fotogenerowane elektrony w elektrodzie FTO/ MoO_3 są zużywane w procesie fotointerkalacji jonów potasu, co uniemożliwia ich udział w reakcji utleniania wody i prowadzi do niskich wartości generowanego fotoprądu. Zidentyfikował konkurencyjny proces fotointerkalacji jako główną przyczynę ograniczonej efektywności konwersji energii promieniowania. Proces ten zachodzi w zakresie potencjałów typowym dla aktywności fotoanody, a towarzyszące mu zjawisko fotochromowe – związane z redukcją jonów Mo^{6+} i formowaniem brązu molibdenowego – skutecznie uniemożliwia przepływ ładunku do przeciwelektrody. Habilitant wykazał tym samym, że mimo korzystnej struktury pasmowej, badany materiał nie może pełnić funkcji wydajnej fotoanody, co stanowi istotny i interesujący wniosek o dużym znaczeniu poznawczym.

Kontynuację wątku fotointerkalacji można odnaleźć w pracy H2, w której Habilitant podjął się określenia wpływu interkalacji kationów metali alkalicznych (Li^+ , Na^+ , K^+ , Cs^+) na fotoaktywność krystalicznego i eksfoliowanego WO_3 . Zbadał mechanizm fotointerkalacji oraz jego wpływ na właściwości fotoelektrochemiczne i fotokatalityczne obu form tlenku wolframu(VI). Eksfoliacja WO_3 prowadziła do powstania nanopłytek o zwiększonej powierzchni aktywnej i korzystniejszych właściwościach optycznych, w tym zwiększonej absorpcji światła widzialnego. W eksperymentach fotokatalitycznych wykazał, że w przypadku warstwowego WO_3 obecność mniejszych kationów (Li^+ , Na^+ , K^+) poprawiała skuteczność fotodegradacji błękitu metylenowego dzięki ich zdolności do interkalacji i wychwytywania elektronów, podczas gdy większe jony, takie jak Cs^+ , nie wywierały istotnego wpływu. Natomiast w przypadku eksfoliowanego WO_3 nie zaobserwowano różnic w aktywności w zależności od rodzaju kationu, co przypisano braku szczelin van der Waalsa umożliwiających interkalację. Badania fotoelektrochemiczne potwierdziły, że warstwowy WO_3 ulegał degradacji aktywności w wyniku fotointerkalacji, szczególnie w obecności Li^+ i K^+ , natomiast eksfoliowany materiał wykazywał większą stabilność i brak cech charakterystycznych dla interkalacji. Zjawisko to Autor tłumaczył równowagą pomiędzy interkalacją fotoindukowaną a deinterkalacją anodową, która w przypadku materiałów bez struktury warstwowej nie może zachodzić. Praca potwierdza bardzo ciekawą obserwację, że eksfoliacja WO_3 eliminuje efekt fotointerkalacji, zwiększając tym samym trwałość i użyteczność materiału w zastosowaniach fotoelektrochemicznych.

Niestety, w pracy H2 zidentyfikowałem istotny błąd merytoryczny, który jest często spotykany w literaturze naukowej – mianowicie, nieprawidłowe wyznaczenie wartości przerwy wzbronionej na podstawie wykresów Tauca (rys. 2b w pracy H2 oraz rys. 4b w autoreferacie). W przypadku widm UV-Vis materiałów charakteryzujących się znaczną absorbancją fotonów o energiach niższych niż rzeczywista przerwa wzbroniona, klasyczna metoda ekstrapolacji może prowadzić do znacznych błędów. W takich sytuacjach zalecane jest określenie

przerwy wzbronionej na podstawie przecięcia stycznych poprowadzonych do dwóch fragmentów krzywej absorbancji, zgodnie z podejściem opisanym przez P. Makulę, M. Pacię i W. Macyka w pracy *How to correctly determine the band gap energy of modified semiconductor photocatalysts based on UV-Vis spectra* (J. Phys. Chem. Lett., 9 (2018) 6814–6817). Zastosowanie tej metody w odniesieniu do zaprezentowanych widm pozwala oszacować rzeczywiste wartości przerwy energetycznej dla krystalicznego i eksfoliowanego WO_3 odpowiednio na około 2,62 eV i 3,25 eV. Podobne błędy w wyznaczeniu optycznych przerw wzbronionych znalazłem także w publikacjach H5 (rys. S1) oraz H7 (rys. 4b i 4c).

Kolejna z prac cyklu (H3) dotyczyła zastosowania eksfoliowanego WO_{3-x} jako materiału elektrodowego w urządzeniach do magazynowania energii, takich jak superkondensatory i baterie litowo-jonowe. Eksfoliacja tlenku wolframu(VI) umożliwiła zwiększenie powierzchni aktywnej, co przełożyło się na siedmiokrotny wzrost pojemności elektrycznej względem krystalicznego WO_3 oraz wysoką stabilność cyklicznej pracy (ponad 92% retencji po 1000 cyklach). W superkondensatorze symetrycznym materiał ten wykazał retencję pojemności na poziomie 84% po 10 000 cykli oraz gęstość energii sięgającą 60 Wh/kg przy 803 W/kg mocy. W zastosowaniu do baterii litowo-jonowych eksfoliowany, niekrystaliczny WO_{3-x} wykazywał jednak istotnie gorszą pojemność niż jego krystaliczna forma, ze względu na brak uporządkowanej struktury umożliwiającej skuteczną interkalację jonów litu. Habilitant wykazał, że eksfoliowany WO_{3-x} jest bardzo obiecującym materiałem dla superkondensatorów, lecz jego użyteczność w akumulatorach litowo-jonowych pozostaje ograniczona.

W kolejnym etapie badań Habilitant zaproponował elektrochemiczną metodę osadzania kompozytu PANI/ WO_3 na podłożu FTO (praca H4), wykorzystując eksfoliowany tlenek wolframu jako ujemnie naładowane jony, które wbudowywały się w warstwę PANI podczas jej elektropolimeryzacji. Uzyskane materiały kompozytowe badano pod kątem zastosowania w superkondensatorach oraz jako fotokatalizatory w procesach degradacji zanieczyszczeń organicznych. Kompozyt PANI/ WO_3 wykazał wyraźnie lepsze właściwości elektrochemiczne (215 mF/cm² po 2500 cyklach i 74% retencji pojemności po 4000 cyklach) oraz znakomitą stabilność w porównaniu do PANI zawierającej jony Cl^- jako przeciwjony. Dodatkowo, materiał ten skutecznie degradował barwniki organiczne, osiągając wydajność ponad 84% po 2 godzinach naświetlania, co Autor przypisał synergii wynikającej z utworzenia złącza *p-n* oraz efektywnej separacji nośników ładunku.

W publikacji H5 dr inż. Mariusz Szkoda badał wpływ temperatury kalcynacji na strukturę i właściwości fotokatalityczne warstw MoO_3 otrzymanych metodą anodowego utleniania molibdenu. Wykazał, że wzrost temperatury kalcynacji prowadzi do krystalizacji amorficznych warstw, przy czym struktury ortorombowe MoO_3 formują się w temperaturze 500–600°C. Najwyższą aktywność fotokatalityczną, ocenianą na podstawie degradacji błękitu metylenowego, osiągnęły warstwy kalcynowane w temperaturze 600°C, co wynikało z optymalnej krystaliczności, obecności fazy $\alpha\text{-MoO}_3$ oraz ekspozycji aktywnej płaszczyzny krystalograficznej (110). Kalcynacja w tej temperaturze sprzyjała również częściowej redukcji Mo(VI) do Mo(IV), co prowadziło do powstania pułapek elektronowych i zwiększonej absorpcji światła widzialnego. Autor stwierdził, że obecność defektów tlenu i centrów Mo(IV) ograniczała rekombinację par elektron-dziura, zwiększając

efektywność degradacji zanieczyszczeń. Zastanawiające jest, że w autoreferacie, omawiając publikację H5, Habilitant stwierdza, iż niższa fotoaktywność próbek kalcynowanych w temperaturze 700 °C wynika z większych rozmiarów krystalitów oraz mniejszej powierzchni aktywnej. Tymczasem w analizowanej pracy źródłowej nie przedstawiono danych dotyczących wyznaczenia rozmiarów krystalitów ani pomiarów powierzchni właściwej, co sprawia, że te stwierdzenia należy traktować jako niepotwierdzone hipotezy. Choć analiza zdjęć SEM wykazuje obecność większych kryształów w próbce kalcynowanej w wyższej temperaturze, warto zaznaczyć istotną różnicę pomiędzy pojęciami „kryształ” a „krystalit”, które nie powinny być stosowane zamiennie. Wzrost aktywności fotokatalitycznej próbek kalcynowanych w 600 °C tłumaczono częściową redukcją jonów Mo(VI) do Mo(IV), co potwierdzono na podstawie analizy XPS, choć nie sprawdzono spektroskopią EPR (potwierdzenie obecności Mo(V)). Zaskakujące jest również to, że redukcja ta miała miejsce podczas wygrzewania w atmosferze powietrza (bogatej w tlen), a nie została zaobserwowana w próbkach kalcynowanych w niższej lub wyższej temperaturze. Ponadto nie odnotowano obecności jonów Mo(V), które często pojawiają się w niestechiometrycznym MoO₃. W mojej ocenie zagadnienia te nie zostały wystarczająco szczegółowo przeanalizowane w publikacji H5.

W ramach dalszych badań nad opracowaniem nowych fotokatalizatorów (praca H6), Habilitant przedstawił syntezę kompozytu MoS₂/SnO₂ metodą hydrotermalną oraz jego zastosowanie w procesach fotokatalitycznej degradacji błękitu metylenowego (MB) i redukcji jonów Cr(VI) w roztworach wodnych. Dzięki utworzeniu heterozłącza pomiędzy MoS₂ a SnO₂, uzyskano skuteczniejszą separację nośników ładunku, co istotnie zwiększyło aktywność fotokatalityczną materiału. Zastosowanie kompozytu pozwoliło osiągnąć 99,5% degradacji MB już po 5 minutach naświetlania, podczas gdy dla czystego MoS₂ taki sam efekt otrzymano dopiero po 25 minutach. W badaniach fotoredukcji jonów Cr(VI) kompozyt MoS₂/SnO₂ umożliwił redukcję 95% jonów w ciągu 60 minut, wykazując znacznie wyższą skuteczność niż sam MoS₂. Habilitant zaproponował mechanizm działania oparty na efektywnym transferze fotogenerowanych elektronów i dziur pomiędzy składnikami kompozytu, co sprzyja generacji reaktywnych form odpowiedzialnych za rozkład zanieczyszczeń organicznych i redukcję toksycznych jonów metali.

W pracy H7 Habilitant przeanalizował wpływ rodzaju podłoża na właściwości fotoelektrochemiczne kompozytu Ti-Fe₂O₃/In₂O₃, osadzanego metodą hydrotermalną na czterech różnych podłożach: nanorurkach TiO₂ na tytanie, folii tytanowej, szkłe FTO oraz warstwie TiO₂ P25 naniesionej metodą „doctor blade” na FTO. Otrzymane materiały zostały następnie wykorzystane jako fotoanody do utleniania wody pod wpływem promieniowania słonecznego. Najwyższą aktywność fotoelektrochemiczną wykazała elektroda oparta na nanorurkach TiO₂ (Ti/TiO₂/Ti-Fe₂O₃/In₂O₃), osiągając gęstość fotoprądu 725 µA/cm² przy 1,0 V względem RHE – blisko siedmiokrotnie wyższą niż w przypadku niemodyfikowanych nanorurek TiO₂. Szczegółowa analiza poszczególnych składowych elektrody potwierdziła istnienie efektu synergicznego wynikającego z modyfikacji powierzchniowej warstwą Fe₂O₃ i In₂O₃, prowadzącego do istotnej poprawy fotoaktywności kompozytu. Analizując dane przedstawione w autoreferacie oraz w publikacji H7, zauważyłem istotne rozbieżności, które budzą wątpliwości co do rzetelności przedstawionych wyników. W autoreferacie na rysunku 21b wartości prądu rejestrowane dla poszczególnych elektrod podczas naświetlania nie korelują z tymi przedstawionymi na rysunku 21a. Co więcej, w publikacji H7 na rys. 3 przedstawiono zupełnie inne dane, mimo że dotyczą tych samych warunków

pomiarowych. Powstaje zatem uzasadnione pytanie o wiarygodność danych pomiarowych i ich powtarzalność. Dodatkowo, w podpisie rysunku 21 w autoreferacie pojawiają się odniesienia do rysunków 21c i 21d, których jednak Autor nie zamieścił w dokumencie. Brakuje ich również w publikacji H7.

Kolejna publikacja z cyklu (H8), dotycząca anodowego utleniania tytanu, wykazuje jedynie ograniczoną spójność tematyczną z pozostałymi pracami wchodzącymi w skład osiągnięcia habilitacyjnego. W tej pracy Habilitant przeanalizował wpływ skalowania procesu syntezy anodowych nanorurek TiO_2 na ich morfologię oraz właściwości fotoelektrochemiczne. Badaniom poddał próbki o powierzchni od 4 do 64 cm^2 , wykazując, że wraz ze zwiększeniem obszaru anodowanego tytanu dochodzi do skrócenia długości nanorurek oraz zwiększenia odległości pomiędzy nimi. Wprawdzie Habilitant przedstawił wymiary charakteryzujące nanorurki TiO_2 – takie jak grubość ścianek, średnicę zewnętrzną oraz długość – uzyskane na anodach o różnych rozmiarach, jednak nie podał błędów pomiarowych towarzyszących tym wartościom, ani w autoreferacie, ani w pracy H8. Jest to istotne, ponieważ niektóre z podanych parametrów nie wykazują istotnych różnic w zależności od rozmiaru anody, a brak informacji o niepewności pomiarowej uniemożliwia ocenę, czy zaobserwowane zmiany są statystycznie istotne. Habilitant stwierdził, że zmiany w morfologii nanorurek prowadzą do spadku generowanego fotoprądu, szczególnie w przypadku większych elektrod. Największe zróżnicowanie morfologii i aktywności zaobserwował na obrzeżach dużych próbek, co przypisał nierównomiernemu rozkładowi gęstości prądu podczas anodyzacji. Z kolei centralne obszary elektrod charakteryzowały się porównywalną aktywnością niezależnie od wielkości próbki. Co ciekawe, uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują, że skala procesu anodowania ma istotny wpływ na strukturę i właściwości funkcjonalne nanorurek TiO_2 , co należy uwzględnić przy projektowaniu zastosowań praktycznych i przemysłowych.

Celem publikacji H9 było opracowanie tanich i wydajnych materiałów elektrokatalitycznych do elektrolizy wody w środowisku kwasowym jako alternatywę dla katalizatorów opartych na platynie. Habilitant zmodyfikował nanorurki TiO_2 poprzez hydrotermalne osadzenie molibdenianu kobaltu, molibdenianu strontu oraz tlenku grafenu, co miało zwiększyć ich powierzchnię aktywną, przewodnictwo i stabilność. Najlepsze właściwości wykazał katalizator $\text{TiO}_2/\text{SrMoO}_4/\text{CoMoO}_4/\text{GO}$, osiągając wysoką aktywność przy stosunkowo niskim nadpotencjale. Dodatkowo, próbki zawierające tlenek grafenu cechowały się wyższą stabilnością w czasie długotrwałej pracy. W przypadku tej pracy nasuwa się jednak pytanie o zasadność wyboru właśnie takiego, a nie innego podłoża do syntezy hydrotermalnej. Wiadomo bowiem, że nanorurki TiO_2 nie wykazują wysokiej aktywności elektrokatalitycznej w reakcji wydzielania wodoru, a dodatkowo są półprzewodnikami. Dlaczego zatem zdecydowano się na zastosowanie podłoża, które wymaga dodatkowych etapów syntezy i charakteryzuje się gorszym przewodnictwem elektrycznym w porównaniu do powszechnie dostępnych, komercyjnych podłoży, takich jak pianka niklowa, papier węglowy czy grafit? Zresztą to samo dotyczy podłoża zastosowanego w publikacjach H11 i H14.

Kolejną pracą poświęconą syntezie i charakterystyce materiałów elektrokatalitycznych jest publikacja H10. Habilitant zaprezentował w niej zastosowanie związków z grupy BiMeVO_x (gdzie $\text{Me} = \text{Co}, \text{Mo}, \text{Ce}, \text{Zr}$), osadzanych na podłożach FTO lub z węgla szklanego, jako katalizatorów reakcji

elektrochemicznego wydzielania wodoru (HER) i tlenu (OER), a także jako fotoanod do potencjalnego zastosowania w procesie fotoelektrochemicznego rozkładu wody. Najwyższą aktywność w reakcji HER wykazały materiały BiMoVO_x i BiCoVO_x , osiągając niskie wartości nadpotencjału oraz korzystne nachylenia Tafela, co świadczy o ich dobrej efektywności katalitycznej. Jednym z bardziej znaczących rezultatów była obserwacja, iż BiCoVO_x charakteryzował się bardzo dobrą aktywnością w reakcji OER, przewyższającą nawet komercyjny katalizator IrO_2 , co czyni go obiecującym bifunkcyjnym katalizatorem do rozkładu wody. W przypadku fotoelektrochemicznego rozkładu wody, najwyższą skuteczność jako fotoanoda wykazała również próbka BiCoVO_x .

W publikacji H11 Habilitant przedstawił syntezę oraz charakterystykę hybrydowych materiałów katalitycznych opartych na siarczku molibdenu (MoS_2), modyfikowanych nanocząstkami niklu lub platyny w celu zwiększenia ich aktywności w reakcji wydzielania wodoru (HER). Warstwy MoS_2 osadzano metodą hydrotermalną na powierzchni nanorurek tlenku tytanu, a następnie metale szlachetne nanoszono za pomocą napyłania magnetronowego, co umożliwiło istotne zwiększenie powierzchni aktywnej i poprawę trwałości działania katalizatora. Przeprowadzone badania wykazały, że obecność nanocząstek Ni i Pt prowadzi do istotnego obniżenia nadpotencjału oraz poprawy kinetyki reakcji HER (co raczej było spodziewanym wnioskiem), przy jednoczesnym zwiększeniu stabilności elektrod. Uzyskane rezultaty przypisano efektowi synergii między nanocząstkami metali a strukturą MoS_2 , który skutkuje wzrostem liczby aktywnych centrów reakcyjnych i usprawnieniem transferu ładunku.

W pracy H12 dr inż. Mariusz Szkoda przedstawił kompozytowy materiał elektrodowy oparty na warstwie polianiliny (PANI) elektropolimeryzowanej na folii grafitowej, pokrytej cienką warstwą przewodzącego polimeru PEDOT. Celem tego podejścia było zwiększenie stabilności cyklicznej oraz poprawa pojemności elektrochemicznej PANI w zastosowaniach superkondensatorowych. Ze względu na znaną tendencję PANI do degradacji podczas wielokrotnych cykli ładowania i rozładowania, warstwa PEDOT pełniła funkcję ochronną, ograniczającą degradację materiału i jednocześnie rozszerzającą zakres jego aktywności elektrochemicznej. Otrzymany materiał wykazywał wysoką pojemność właściwą ($159,8 \text{ F/g}$), dobrą retencję pojemności (67% po 10 000 cyklach) oraz elastyczność mechaniczną, potwierdzoną w testach zginania. Superkondensator oparty na tym materiale osiągnął ponadto bardzo wysoką gęstość mocy ($18\,043 \text{ W/kg}$) przy zachowanej gęstości energii, co czyni go obiecującym kandydatem do zastosowań w zaawansowanych systemach magazynowania energii, m.in. w pojazdach elektrycznych.

W pracy H13 przedstawiono kompozytowe materiały elektrodowe oparte na siarczku molibdenu (MoS_2) i węglu, zaprojektowane z myślą o zastosowaniach w superkondensatorach oraz bateriach jonowych (Li^+ , Na^+ , K^+). Celem badań była poprawa właściwości elektrochemicznych, takich jak pojemność właściwa, przewodność oraz stabilność cykliczna, poprzez wykorzystanie taniego i powszechnie dostępnego prekursora węglowego – glukozy – oraz opracowanie dwóch typów hybrydowych struktur: MoS_2/G (eksfoliacja i piroliza) oraz $\text{MoS}_2/\text{G-H}$ (eksfoliacja, obróbka hydrotermalna i piroliza). Wyniki wykazały, że materiał $\text{MoS}_2/\text{G-H}$ osiągał najwyższą pojemność właściwą w zastosowaniach superkondensatorowych, natomiast MoS_2/G wyróżniał się jako uniwersalny materiał anodowy do baterii jonowych, oferując wysoką wydajność i dobrą retencję

pojemności w różnych typach elektrolitów. Przeprowadzone badania jednoznacznie potwierdziły przewagę materiałów kompozytowych nad czystym MoS₂, zarówno pod względem wydajności, jak i trwałości. W szczególności kompozyt MoS₂/G wykazał dużą wszechstronność, czyniąc go obiecującym kandydatem do nowoczesnych systemów magazynowania energii.

W ostatniej publikacji z cyklu habilitacyjnego (H14) dr inż. Mariusz Szkoda przedstawił kompozyt Ti/TiO₂/MoSe₂ otrzymany metodą hydrotermalną, opracowany z myślą o zastosowaniach w superkondensatorach. Modyfikacja powierzchni nanorurek TiO₂ poprzez osadzenie MoSe₂ doprowadziła do istotnej poprawy właściwości elektrochemicznych materiału – pojemność elektrochemiczna wzrosła nawet dziesięciokrotnie względem czystego TiO₂. Otrzymany kompozyt charakteryzował się nie tylko wysoką pojemnością powierzchniową (do 184 mF/cm²), ale również bardzo dobrą stabilnością cykliczną, a w początkowych etapach użytkowania obserwowano wzrost pojemności. Przeprowadzone testy w układzie dwuelektrodowym potwierdziły trwałość materiału oraz jego wysoką wydajność przy różnych gęstościach prądu. Habilitant stwierdził, że uzyskane wyniki wskazują na duży potencjał kompozytu Ti/TiO₂/MoSe₂ jako materiału elektrodowego w nowoczesnych systemach magazynowania energii.

Podsumowując tę część recenzji, należy stwierdzić, że wyniki przedstawione w zbiorze publikacji składających się na osiągnięcie habilitacyjne stanowią istotny wkład Habilitanta w rozwój elektrochemii, ze szczególnym uwzględnieniem opracowania nowych materiałów do potencjalnych zastosowań w systemach konwersji i magazynowania energii. Pomijając wskazane uprzednio uchybienia merytoryczne, przedstawione badania są interesujące, wartościowe i cechuje je dobrym poziom naukowy. Pewne zastrzeżenia budzi sposób opracowania osiągnięcia habilitacyjnego przez Autora. Przygotowany autoreferat nie spełnia w pełni roli syntetycznego i przejrzystego podsumowania kluczowych aspektów prowadzonych badań – jego forma przypomina rozbudowany raport eksperymentalny. Można odnieść wrażenie, że Habilitant napotyka trudności w zakresie uogólnienia przedstawionych treści, wyeksponowania najważniejszych wniosków oraz ich zwięzłej i logicznie uporządkowanej prezentacji. Dodatkowo, brak wyraźnej struktury tematycznej cyklu publikacji utrudnia identyfikację przewodniego motywu badawczego, co wpływa na spójność i odbiór całości dorobku habilitacyjnego. Należy również odnotować liczne błędy językowe i edytorskie oraz niefortunne sformułowania obecne w autoreferacie, których jednak nie zamierzam szczegółowo przytaczać i omawiać.

Ocena całości działalności naukowej

Tematyka badawcza podejmowana przez dr. inż. Mariusza Szkodę w publikacjach spoza cyklu zgłoszonego jako osiągnięcie habilitacyjne koncentruje się przede wszystkim na otrzymywaniu i charakterystyce domieszkowanych nanorurek TiO₂, różnych typach półprzewodników, materiałach hybrydowych typu półprzewodnik–polimer przewodzący, heterozłączach typu półprzewodnik–półprzewodnik, materiałach węglowych oraz ich modyfikacjach. Badania te znajdują zastosowanie m.in. w fotokatalizie, fotoelektrochemicznym rozkładzie wody, superkondensatorach, bateriach litowo-jonowych oraz elektrokatalizie reakcji wydzielania wodoru. Całkowity dorobek naukowy dr. inż. Mariusza Szkozy obejmuje 2 krajowe patenty oraz 72

publikacje znajdujące się w bazie JCR. Od momentu uzyskania stopnia doktora Habilitant opublikował 42 prace w uznanych czasopismach międzynarodowych, co świadczy o jego wysokiej aktywności naukowej. Łączny współczynnik wpływu (Impact Factor) wszystkich publikacji wynosi 340,3, co przekłada się na średni IF na poziomie 4,73, potwierdzając publikację wyników badań w co najmniej dobrych czasopismach naukowych. O międzynarodowym znaczeniu badań prowadzonych przez Habilitanta świadczy również liczba cytowań jego prac – 1082 ogółem, w tym 907 bez autocytowań (wg danych z bazy Web of Science, przedstawionych we wniosku habilitacyjnym) oraz indeks Hirscha równy 19. Przytoczone wskaźniki bibliometryczne dowodzą, że dorobek naukowy dr. inż. Mariusza Szkody należy ocenić jako bardzo dobry, zarówno pod względem liczby publikacji, jak i ich zasięgu oddziaływania w środowisku naukowym.

Wyniki badań naukowych prowadzonych przez Habilitanta były prezentowane łącznie na 65 konferencjach krajowych i międzynarodowych. Po uzyskaniu stopnia doktora Habilitant zaprezentował swoje osiągnięcia na 28 konferencjach – w tym na 14 krajowych i 14 międzynarodowych – w formie 21 wystąpień ustnych (z czego 7 zostało wygłoszonych osobiście) oraz 7 prezentacji posterowych. Chociaż Habilitant nie był dotychczas zapraszany do wygłoszenia wykładów lub referatów na zaproszenie, jego aktywność konferencyjna zasługuje na uwagę. Regularne prezentowanie wyników badań oraz ich poddawanie ocenie w środowisku naukowym – zarówno krajowym, jak i międzynarodowym – stanowi istotny element rozwoju przyszłego samodzielnego pracownika naukowego i świadczy o zaangażowaniu w upowszechnianie wyników badań.

Na szczególne podkreślenie zasługuje zaangażowanie dr. inż. Mariusza Szkody w realizację projektów badawczych finansowanych ze środków krajowych, takich jak Narodowe Centrum Nauki (NCN) oraz Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR). Habilitant uczestniczył jako wykonawca w pięciu projektach, a jako kierownik w dwóch finansowanych przez NCN (m.in. w ramach konkursów Preludium i Sonata) oraz jednym projekcie NCBR w programie Lider. Był także kierownikiem kilku projektów badawczych finansowanych ze środków macierzystej uczelni. Aktywność ta świadczy o bardzo dobrej umiejętności skutecznego pozyskiwania środków na badania. Jest to kompetencja niezwykle cenna z perspektywy budowania i prowadzenia własnej grupy badawczej w przyszłości, a także potwierdzenie zaangażowania Habilitanta w rozwój kariery naukowej oraz realizację ambitnych celów badawczych.

W moim przekonaniu pan dr inż. Mariusz Szkoda, wykazał się aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej instytucji naukowej w minimalnym stopniu. Od 2020 roku Habilitant prowadził współpracę naukową z dr hab. Anną Ilnicką z Katedry Chemii Materiałów, Adsorpcji i Katalizy Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. W ramach tej współpracy odbył w lipcu 2023 roku miesięczny staż naukowy w zespole badawczym kierowanym przez dr hab. Ilnicką. Choć inicjatywa ta zasługuje na uznanie, należy zauważyć, że ogólna skala współpracy z ośrodkami krajowymi i zagranicznymi jest ograniczona. W dalszym rozwoju naukowym Habilitanta wskazane byłoby zintensyfikowanie działań zmierzających do nawiązywania i rozwijania szerszej współpracy badawczej, zwłaszcza o zasięgu międzynarodowym. Tego rodzaju aktywność sprzyja zarówno podnoszeniu jakości prowadzonych badań, jak i zwiększa rozpoznawalność naukową w środowisku międzynarodowym.

Dr inż. Mariusz Szkoda aktywnie uczestniczy w życiu naukowym także jako recenzent artykułów naukowych przesyłanych do renomowanych czasopism międzynarodowych, takich jak np. *ACS Applied Nano Materials*, *ACS Omega*, *Advanced Materials*, *Electrochimica Acta* czy *Scientific Reports*. Należy jednak zauważyć, że w dokumentacji habilitacyjnej nie podano liczby wykonanych recenzji, co utrudnia pełną ocenę skali jego zaangażowania w tym obszarze.

Aktywność naukowo-badawcza Habilitanta została wielokrotnie dostrzeżona i doceniona przez różne gremia naukowe. Otrzymał szereg nagród i wyróżnień, zarówno za osiągnięcia naukowe, jak i za prezentacje konferencyjne. Wśród nich warto wymienić m.in.: kilkukrotną Nagrodę Rektora Politechniki Gdańskiej, Stypendium Ministra Edukacji i Nauki, Nagrodę Prezesa Rady Ministrów za wyróżnioną rozprawę doktorską, Nagrodę Miasta Gdańska dla Młodych Naukowców im. Jana Uphagena, a także Stypendium Ministra dla doktorantów za wybitne osiągnięcia. Dr inż. Mariusz Szkoda był również laureatem prestiżowego konkursu START Fundacji na rzecz Nauki Polskiej w 2018 roku.

Ocena działalności dydaktycznej i organizacyjnej

Dr inż. Mariusz Szkoda prowadził regularną działalność dydaktyczną na Wydziale Chemicznym Politechniki Gdańskiej, realizując zajęcia laboratoryjne z zakresu m.in. chemii, metod elektrochemicznych, przewodzących materiałów organicznych, przemysłowej syntezy związków organicznych oraz materiałów biogodnych i specjalnego przeznaczenia. Zajęcia te były adresowane do studentów wielu kierunków, w tym między innymi: Chemia, Inżynieria Materiałowa, Energetyka, Technologia Chemiczna, Inżynieria Biomedyczna, Zielone Technologie, Nanotechnologia oraz Green Technologies and Monitoring. Należy jednak zaznaczyć, że w dokumentacji nie podano szczegółowego wymiaru godzinowego prowadzonych przez Habilitanta zajęć. W ramach wsparcia procesu dydaktycznego opracował także kilka skryptów do ćwiczeń laboratoryjnych. Aktywnie angażował się w opiekę nad studentami – był promotorem 11 prac inżynierskich i 5 prac magisterskich oraz recenzentem sześciu prac dyplomowych (inżynierskich i magisterskich). Warto podkreślić, że studenci prowadzący badania pod jego opieką byli wielokrotnie nagradzani na konferencjach naukowych, a ich prace dyplomowe zdobywały prestiżowe wyróżnienia, m.in. Nagrodę Polskiego Towarzystwa Chemicznego za najlepszą pracę magisterską oraz nagrody I i III stopnia w XXX edycji konkursu im. prof. Jerzego I. Skowrońskiego, organizowanego przez Polski Komitet Materiałów Elektrotechnicznych Stowarzyszenia Elektryków Polskich. Dr inż. Mariusz Szkoda dwukrotnie pełnił również funkcję opiekuna roku na kierunku Technologia Chemiczna. W 2021 roku został uhonorowany Nagrodą SOWA dla najlepszego nauczyciela akademickiego, przyznawaną przez Wydziałową Radę Studencką oraz Nagrodą Rektora Politechniki Gdańskiej III stopnia za działalność dydaktyczną. Obecnie pełni funkcję promotora pomocniczego w opiece nad dwójką doktorantów realizujących swoje prace doktorskie.

Dr inż. Mariusz Szkoda aktywnie angażował się w działania popularyzujące naukę, podejmując liczne inicjatywy skierowane do młodzieży szkolnej oraz społeczności lokalnej. W latach 2016–2024 regularnie organizował i prowadził zajęcia w ramach Bałtyckiego Festiwalu Nauki, adresowane do uczniów szkół podstawowych i liceów. W latach 2018–2023 prowadził również

cykliczne zajęcia dla uczniów I Liceum Ogólnokształcącego im. Marii Skłodowskiej-Curie w Tczewie. Ponadto w 2024 roku był organizatorem pokazów naukowych podczas Dni Otwartych Politechniki Gdańskiej. Działania te świadczą o jego zaangażowaniu w upowszechnianie wiedzy oraz promowanie nauki wśród młodszych pokoleń.

W zakresie działalności organizacyjnej dr inż. Mariusz Szkoda aktywnie wspierał funkcjonowanie macierzystej jednostki – Wydziału Chemicznego Politechniki Gdańskiej. Pełnił funkcję członka komisji oceniającej projekty w ramach programu Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza (IDUB), członka Zespołu ds. Promocji Wydziału Chemicznego (2019–2024), członka Dziekańskiej Komisji ds. Ewaluacji Dyscypliny Nauki Chemiczne (2021–2024), a także członka Komisji Rekrutacyjnej (w latach 2019/2020 oraz 2023/2024). Od 2024 roku zasiada również w Radzie Wydziału Chemicznego.

Wniosek końcowy

Oceniając przedstawiony do recenzji cykl publikacji, stanowiący podstawę postępowania habilitacyjnego dr. inż. Mariusza Szkoły, stwierdzam, że wnosi on istotny i oryginalny wkład w rozwój nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki chemiczne. Habilitant potwierdził swoje kompetencje badawcze, publikując wyniki prowadzonych badań w czasopismach o międzynarodowym zasięgu i uznanym dorobku naukowym. Należy jednak zauważyć, że cykl habilitacyjny cechuje ograniczona spójność tematyczna – głównym elementem łączącym zgłoszone publikacje jest ich potencjalne zastosowanie w obszarze konwersji i magazynowania energii. Pomimo tej słabości, należy podkreślić dobrą jakość merytoryczną poszczególnych prac oraz znaczenie przedstawionych wyników w kontekście aktualnych kierunków rozwoju chemii materiałów funkcjonalnych. Na uznanie zasługuje również szeroki dorobek naukowy Habilitanta (spoza cyklu habilitacyjnego) oraz jego wyraźne zaangażowanie w działalność projektową, czego dowodem jest skuteczne pozyskiwanie środków finansowych na badania w ramach projektów finansowanych przez NCN i NCBR.

Biorąc pod uwagę całokształt dorobku naukowego, spełnienie kryteriów formalnych oraz merytorycznych, stwierdzam, że Habilitant wypełnił warunki określone w art. 219 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2021 r., poz. 478 z późn. zm.), wymagane do nadania stopnia naukowego doktora habilitowanego. W związku z powyższym **wnioskuję** do Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Wydziału Chemicznego Politechniki Gdańskiej o **nadanie dr. inż. Mariuszowi Szkodzie stopnia doktora habilitowanego** w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki chemiczne.