



Poznań, 27.11.2025 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr Kamili Jankowskiej

zatytułowanej

„Nowe materiały oparte na perylenodiimidzie do zastosowań fotowoltaicznych”

opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

(pismo L. dz. WCH/189/AK/2025 z dnia 16.09.2025 r.)

Informacje ogólne i ocena tematyki rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska mgr Kamili Jankowskiej została zrealizowana w Zakładzie Chemii i Technologii Związków Krzemu Wydziału Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, pod kierunkiem prof. dr. hab. Ireneusza Kownackiego – uznanego specjalisty w zakresie syntezy związków krzemoorganicznych, materiałów o właściwościach optoelektronicznych czy katalizy metaloorganicznej.

Tematyka rozprawy, w ogólnym ujęciu, skoncentrowana została na projektowaniu i preparatyce nowej grupy materiałów organicznych jako potencjalnych komponentów ogniw fotowoltaicznych. Ogniwa, o których mowa, to systemy zdolne do przetwarzania energii świetlnej w elektryczną, które w dobie kryzysu energetycznego, rosnącego zanieczyszczenia środowiska będącego następstwem stosowania paliw kopalnych, stają się coraz bardziej popularne. Wyzwaniem w dziedzinie fotowoltaiki jest otrzymanie „idealnego ogniwa” spełniającego oczekiwania producentów oraz konsumentów, przede wszystkim w zakresie wydajności konwersji energii oraz długoterminowej stabilności parametrów pracy. Komercyjnie dostępnych jest wiele rodzajów ogniw – od krzemowych przez perowskitowe czy barwnikowe po organiczne, z których każde ma swoje zalety i wady, obejmujące m.in. koszt wytworzenia, rodzaj użytych komponentów, degradację czy zróżnicowaną wydajność pracy. Konfrontując ich podstawowe przeznaczenie z założeniami zrównoważonego rozwoju oraz aspektami ekologicznymi, tym bardziej zasadnym wydaje się poszukiwanie nowych rozwiązań usprawniających działanie ogniw. Szczególną rolę w tym aspekcie odgrywają ogniwa organiczne, które ze względu na swoją konstrukcję oraz wykorzystywane do ich budowy komponenty stają się realną alternatywą dla powszechnie stosowanych technologii. Mają one duże znaczenie ze względu na swoją elastyczność, niską masę i możliwość produkcji z użyciem tanich podłoży. Choć ich sprawność i trwałość są obecnie niższe niż w przypadku tradycyjnych ogniw krzemowych czy perowskitowych, dynamiczny rozwój technologii materiałów organicznych stwarza unikalne możliwości „dostrajania” tych parametrów. Specyfiką tego typu ogniw słonecznych jest ich wielowarstwowa budowa, której złożoność wynika z funkcji jakie pełnią poszczególne elementy. Stąd udoskonalanie tego typu rozwiązań wiąże się bardzo często z poszukiwaniem wydajnych, funkcjonalnych komponentów, odpornych na wymagające warunki pracy ogniwa. Pomimo, że opublikowano wiele doniesień literaturowych w tym zakresie, wciąż dąży się do propozycji nowych rozwiązań w technologii materiałów,

jako że odgrywają one kluczową rolę w projektowaniu odnawialnych źródeł energii. W ten nurt wpisują się zagadnienia poruszone w ocenianej rozprawie doktorskiej. W ramach zrealizowanych prac badawczych, Pani mgr Kamila Jankowska zaprojektowała i zsyntezowała szeroką gamę związków organicznych, które kolejno zweryfikowała w charakterze materiału międzywarstwy katodowej w organicznych ogniwach fotowoltaicznych. Prace ukierunkowane zostały na poszukiwanie takich komponentów ogniw, które pozwolą przezwyciężyć pewne ich ograniczenia, w tym w szczególności niską sprawność fotokonwersji czy stabilność pracy urządzenia. To właśnie ten aspekt rozwoju technologii fotowoltaicznych stał się inspiracją dla wielu naukowców i przyczynił się do zintensyfikowania prac badawczych w kierunku poszukiwania bardziej wydajnych, ekonomicznych i przyjaznych środowisku rozwiązań. Był również motywacją dla Doktorantki do podjęcia badań w tym nurcie i zweryfikowania zalet nowo syntezowanych materiałów, które z założenia miały polepszyć parametry użytkowe ogniw organicznych. Tym samym tematyka ocenianej rozprawy doktorskiej jest bardzo aktualna i istotna z naukowego oraz z praktycznego punktu widzenia. Doktorantka skutecznie łączy zagadnienia syntezy organicznej, ukierunkowanej na pozyskiwanie szerokiej gamy pochodnych perylenodiimidowych, ocenę jej skuteczności wraz z charakterystyką otrzymanych materiałów, na weryfikacji ich potencjału użytkowego kończąc. Za kluczowy uznać należy etap prac badawczych skoncentrowany na opracowaniu protokołów syntezy wspomnianych pochodnych, którego założeniem było uzyskanie związków o „uwypuklonych” właściwościach elektronowych i fotofizycznych, predysponujących do ich użycia jako komponentów projektowanych ogniw. Pani mgr Kamila Jankowska zaproponowała wielokierunkowe podejście do syntezy pochodnych perylenodiimidowych uwzględniające m.in. analizę polarność wprowadzanych grup funkcyjnych, długość łącznika pomiędzy ugrupowaniem polarnym a imidowym atomem azotu czy pomiędzy przeciwjonami w układach sulfobetainowych. Założeniem tak zaplanowanego ciągu prac eksperymentalnych było znalezienie korelacji pomiędzy strukturą molekularną syntezowanych cząsteczek, a wykazywaną przez nie funkcjonalnością, a to sprzyjać powinno definiowaniu optymalnych warunków syntezy wspomnianych związków organicznych wykazujących właściwości istotne pod kątem zastosowania w technologiach fotowoltaicznych, elektronicznych czy pokrewnych. Tym samym zaproponowane przez Doktorantkę podejście należy ocenić jako ambitne, wieloaspektowe i interdyscyplinarne. Na uwagę zasługuje spektrum otrzymanych związków, liczba przeprowadzonych wariantów syntezy, a także wnikliwa analiza wpływu zmiennych warunków reakcji na jej skuteczność i właściwości użytkowe materiałów. Warto dodać, że zaprezentowane w rozprawie rozwiązania są uniwersalne, jako że wskazują na nieograniczone możliwości projektowania komponentów ogniw, będące następstwem szerokiej gamy związków organicznych, które można wykorzystać do tego celu, a także licznych wariantów ich syntezy. Takie podejście sprzyja projektowaniu innowacyjnych rozwiązań dla technologii fotowoltaicznych, a dodatkowo niesie ze sobą wymierne korzyści ekonomiczne czy środowiskowe – tak istotne z punktu widzenia założeń zrównoważonej gospodarki. Dodatkowo, stanowi swego rodzaju platformę do dalszych prac w kierunku udoskonalania i praktycznego wykorzystania tego typu urządzeń – należy to uznać za użyteczny aspekt prezentowanych zagadnień. Nie podlega wątpliwości, że zaprezentowane zależności eksperymentalne stanowią istotne uzupełnienie obecnego stanu wiedzy, zwłaszcza o protokoły syntezy nowej grupy funkcjonalnych pochodnych perylenodiimidowych i ich praktycznego wykorzystania. W mojej ocenie jest to jednoznaczne potwierdzenie znaczenia i nowatorskiego charakteru tematyki badawczej, której poświęcona została rozprawa doktorska, a także zasadności prowadzenia badań w tym kierunku.

Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Oceniana rozprawa doktorska została przygotowana w języku polskim i przedstawiona na 161 stronach maszynopisu. Układ dysertacji jest klasyczny. Warto podkreślić, że została zredagowana bardzo poprawnie i zawiera nieliczne błędy edytorskie czy stylistyczne. Pierwszy element pracy stanowią *Wykaz stosowanych skrótów i symboli*, *Spis treści* oraz *Wprowadzenie*. Kolejno, Doktorantka prezentuje *Część literaturową*, która dobrze wprowadza czytającego w tematykę prezentowanych zagadnień badawczych. W pierwszej kolejności Autorka koncentruje uwagę na rodzajach powszechnie stosowanych ogniw fotowoltaicznych, w tym m.in. ogniw słonecznych I i II generacji, organicznych, barwnikowych i perowskitowych ogniw fotowoltaicznych czy kropek kwantowych. Ze względu na tematykę ocenianej rozprawy doktorskiej, główną część wprowadzenia literaturowego poświęcono fotowoltaicznym ogniom organicznym, opisując zasadę ich działania oraz budowę, zwracając uwagę na podstawowe materiały stosowane w ich konstrukcji. Poruszone zostają zagadnienia dotyczące ogniw jedno- i dwuwarstwowych, tandemowych czy heterozłączy objętościowych. Szczególną uwagę tej części pracy Autorka koncentruje na charakterystyce materiałów stosowanych w warstwie aktywnej heterozłączy objętościowych oraz komponentów międzywarstwy katodowej – pełniącej kluczową rolę w determinowaniu sprawności ogniwa. Doktorantka opisuje materiały stosowane w tej międzywarstwie, zwracając uwagę na ich istotne znaczenie w tworzeniu „bariery” ochronnej pomiędzy fazami donorowymi i akceptorowymi a elektrodami czy w „dostrajaniu” ich poziomów energetycznych. Część literaturową wieńczy rozdział opisujący podstawowe parametry stosowane do charakterystyki pracy ogniw, takie jak sprawność konwersji energii, gęstość prądu zwarcia, napięcie obwodu otwartego czy współczynnik wypełnienia. Warto podkreślić, że zaprezentowany przegląd literatury dowodzi dokładnej analizy zagadnienia, co z jednej strony potwierdza świetne przygotowanie Doktorantki, a z drugiej, wskazuje na elementy nowości naukowej zrealizowanych prac eksperymentalnych.

Kolejnym elementem rozprawy jest *Cel pracy* – w mojej opinii cel badań został dobrze zdefiniowany i wskazuje na wielowątkowe podejście Doktorantki do rozwiązania postawionego problemu badawczego. Co więcej, w samym celu zaprezentowano swego rodzaju resumé części teoretycznej, uzasadniając i potwierdzając dodatkowo nowatorski charakter głównych założeń prac eksperymentalnych. Doktorantka wyszczególniła kilka głównych etapów prac badawczych, a nadrzędnym założeniem było zaprojektowanie i otrzymanie nowej grupy materiałów organicznych usprawniających konwersję energii słonecznej w elektryczną i poprawiających stabilność pracy ogniw organicznych konstruowanych z ich udziałem. Zaplanowane prace uwzględniały m.in.:

- ✓ opracowanie protokołów syntezy *N*-funkcyjnych, *N*-tlenkowych oraz sulfobetainowych pochodnych diimidu perylenowego, jako potencjalnych komponentów międzywarstwy katodowej w heterozłączach objętościowych;
- ✓ opracowanie protokołów syntezy nowej grupy związków o trójwymiarowej strukturze, zawierających rdzenie diimidu perylenowego, dedykowane do użycia jako składnika warstwy aktywnej o charakterze akceptorowym w heterozłączach objętościowych;
- ✓ analizę wydajności reakcji wspartą charakterystyką spektroskopową uzyskanych materiałów;
- ✓ weryfikację użytkową zsyntezowanych materiałów jako komponentów międzywarstwy katodowej w heterozłączach objętościowych, wsparte ich charakterystyką prądowo-napięciową, oceną sprawności konwersji energii czy topografii powierzchni.

Do zrealizowania założonego celu naukowego mgr Kamila Jankowska zastosowała niezbędne metody i techniki badawcze.

W *Części eksperymentalnej*, Doktorantka zaprezentowała opis stosowanych w badaniach odczynników i sposób ich przygotowania do reakcji, a także wykorzystane metody analityczne (spektroskopia NMR, IR i UV-Vis, wysokorozdzielcza spektrometria masowa z elektrozpyleniem – ESI-HRMS, chromatografia gazowa sprzężona ze spektrometrią mas – GC-MS, termogravimetria, woltamperometria cykliczna) – zabrakło jednak szczegółowej informacji odnośnie mikroskopii sił atomowych (AFM), wykorzystanej do oceny topografii powierzchni uzyskanych warstw. Za kluczowe w tej części rozprawy uznać należy Rozdziały 4.4 oraz 4.5, w których Autorka szczegółowo opisuje przebieg prac eksperymentalnych i procedury w zakresie syntezy i izolacji pochodnych diimidu perylenowego, etapów przygotowania urządzeń fotowoltaicznych i ich charakterystyki. Kolejnym elementem są *Wyniki badań oraz ich omówienie*, gdzie Doktorantka charakteryzuje związki uzyskane na poszczególnych etapach prac eksperymentalnych, zwracając uwagę na wydajność syntezy, analizując jednocześnie wpływ polarności wprowadzanych grup funkcyjnych, długości łącznika pomiędzy ugrupowaniem polarnym, a imidowym atomem azotu czy pomiędzy przeciwionami w układach sulfobetainowych. Kluczową jest także dyskusja nad strukturą i właściwościami użytkowymi otrzymywanych pochodnych w aspekcie ich testów jako komponentów organicznych ogniw fotowoltaicznych. Ostatnim elementem tej części pracy jest opis zależności eksperymentalnych uzyskanych podczas testów aplikacyjnych ogniw wytworzonych z udziałem zsyntezowanych materiałów organicznych. Uzupełnieniem opisu wyników jest Rozdział 7 – Informacje uzupełniające, w którym syntetycznie zestawiono widma IR i ^1H NMR zsyntezowanych związków, wykresy woltamperometrii cyklicznej i krzywe prądowo-napięciowe zaprojektowanych ogniw, a także obrazy mikroskopii AFM. Całość wyników zobrazowano na 33 stronach, a ich opis pozostawia pewien niedosyt – sporo jest odniesień do literatury (co jest dowodem na wnikliwą analizę doniesień literaturowych i „świadomą” realizację poszczególnych etapów prac badawczych), a mniej wnikliwej interpretacji uzyskanych zależności eksperymentalnych, w tym tych zamieszczonych we wspomnianym już Rozdziale 7. Przeprowadzona analiza zgromadzonych danych pozwoliła jednak na sformułowanie wniosków o istotnym znaczeniu teoretycznym i praktycznym, które zaprezentowano w Rozdziale 6 – Podsumowanie i wnioski.

Całość pracy wieńczą *Osiągnięcia naukowe* Doktorantki oraz *Literatura* obejmująca 148 aktualnych pozycji publikacyjnych i monograficznych, z których większość to doniesienia z ostatnich 10-15 lat. Zabrakło jednak *Streszczenia w języku polski i angielskim* oraz *Spisu rysunków i tabel* (oceniana rozprawa zawiera 6 schematów, 38 rysunków, 4 wykresy oraz 3 tabele) – sugerowałbym ujednolicenie podpisów pod grafikami – w zdecydowany sposób ułatwiłoby to lekturę pracy.

Ocena osiągnięć Doktorantki

Analizując tok postępowania oraz osiągnięcia poszczególnych etapów prac doświadczalnych, nie podlega wątpliwości, że mgr Kamila Jankowska podjęła się rozwiązania ambitnego i oryginalnego problemu badawczego, o istotnym znaczeniu poznawczym i praktycznym. Uzyskane zależności eksperymentalne zostały zaprezentowane w sposób syntetyczny i właściwie podsumowane, a ich chronologia w zdecydowany sposób ułatwia poruszanie się po dość obszernym materiale eksperymentalnym. Na uwagę zasługuje wieloaspektowa analiza przebiegu syntezy pochodnych diimidu perylenowego, z uwzględnieniem oceny wpływu rodzaju użytych reagentów czy zmiennych warunków syntezy – takie podejście sprzyjać powinno definiowaniu nowych protokołów syntezy tej grupy związków dla szeroko rozumianych technologii fotowoltaicznych. Autorka wskazała zalety i wady proponowanych ścieżek syntezy, nie ukrywając i rzetelnie

odnotowując niepowodzenia prac eksperymentalnych, które nie zniechęciły Doktorantki do dalszych działań. Tym samym, zaprezentowane rozważania nad udoskonalaniem wydajności fotokonwersji i stabilności pracy ogniw fotowoltaicznych, poparte precyzyjną i kontrolowaną syntezą ich organicznych komponentów, a także oceną ich przydatności, mają użytkowe znaczenie i stanowią platformę do dalszych prac nad projektowaniem materiałów fotoenergetycznych, nie tylko w zakresie ogniw fotowoltaicznych. Co więcej, układy tego typu mogą stanowić alternatywę dla powszechnie stosowanych systemów konwersji energii słonecznej na elektryczną. W mojej ocenie, oryginalność i nowatorski charakter przedstawionych prac eksperymentalnych jest bezdyskusyjny. Podsumowując ostatecznie tę część dysertacji stwierdzam, że cele postawione przez Doktorantkę zostały osiągnięte, a do najważniejszych zaliczyć należy:

- ✓ opracowanie wydajnych/ekonomicznych protokołów syntezy *N*-funkcyjnych pochodnych diimidu perylenowego, na drodze kondensacji dibezwodnika kwasu peryleno-3,4,9,10-tetrakarboksylowego z wybranymi diaminami, a w efekcie uzyskanie związków z polarnymi podstawnikami neutralnymi;
- ✓ opracowanie wydajnych/ekonomicznych protokołów syntezy *N*-tlenkowych pochodnych diimidu perylenowego, na drodze utleniania wcześniej zsyntezowanych związków aminofunkcyjnych;
- ✓ opracowanie wydajnych/ekonomicznych protokołów syntezy sulfobetainowych pochodnych diimidu perylenowego z użyciem *N*-tlenkowych pochodnych, prowadząc reakcję nukleofilowego otwarcia pierścienia w sultonach w układzie mikrofalowym;
- ✓ zaprojektowanie oraz syntezę monoimidowej pochodnej perylenu wykorzystanej kolejno do otrzymania związków o trójwymiarowej strukturze, jako potencjalnych komponentów warstw aktywnych o charakterze akceptorowym w heterozłączach objętościowych;
- ✓ przeprowadzenie wnikliwej charakterystyki zsyntezowanych pochodnych i zdefiniowanie najkorzystniejszych warunków konstruowania wydajnych systemów fotowoltaicznych typu heterozłącza objętościowych;
- ✓ wykazanie istotnego potencjału użytkowego pochodnych zawierających ugrupowania pirolidynowe w roli materiału międzywarstwy katodowej w organicznych ogniwach fotowoltaicznych, poparte charakterystyką prądowo-napięciową i oceną zewnętrznej wydajności kwantowej;
- ✓ rzucenie nowego światła na mechanizm działania międzywarstwy katodowej utworzonej z użyciem zsyntezowanych pochodnych.

Warto w tym miejscu wspomnieć o wynikach badań niezaprezentowanych w ocenianej dysertacji, które zostały już opublikowane w formie artykułu naukowego w czasopiśmie *Small*. Obejmowały one weryfikację potencjału użytkowego pochodnych sulfobetainowych w charakterze materiału międzywarstwy katodowej w ogniwach perowskitowych. Warto podkreślić, że są one komplementarnym uzupełnieniem informacji zawartych w rozprawie doktorskiej i dodatkowo potwierdzają wielokierunkowe podejście Doktorantki do analizowanego zagadnienia.

Oceniając zamieszczony w pracy dorobek Doktorantki, trudno nie ocenić jej aktywności naukowej jako bardzo dobrej. Osiągnięcia Pani mgr Kamili Jankowskiej zostały zaprezentowane w 4 wieloautorskich, oryginalnych pracach naukowych, opublikowanych w czasopiśmie indeksowanych przez *Thomson Reuters Journal Citation Reports*. Ponadto, Doktorantka legitymuje się znaczącym udziałem w konferencjach krajowych i międzynarodowych, podczas których prezentowała swoje osiągnięcia naukowe. Wartym odnotowania jest również udział Pani mgr Kamili Jankowskiej, w 6 projektach badawczych, w charakterze głównego wykonawcy (Preludium Bis),

wykonawcy (Lider, OPUS 19), praktyki studenckiej (Sonata Bis 8, OPUS 6) oraz jako kierownika w Minigrancie doktoranckim (IDUB-UAM). Co ważniejsze, Doktorantka legitymuje się istotną mobilnością – odbyła kilka wizyt naukowych (łącznie 6 miesięcy w Ming Chi University of Technology, Tajpei, Tajwan; łącznie 8 miesięcy w Katedrze Fizyki Molekularnej Politechniki Łódzkiej) – należy to uznać jako dowód ambicji i zaangażowania Pani mgr Kamili Jankowskiej w zdobywaniu doświadczenia międzynarodowego, tak istotnego z punktu widzenia dalszego rozwoju Jej kariery naukowej.

Biorąc pod uwagę powyższe, należy podkreślić istotny wkład Pani mgr Kamili Jankowskiej w rozwój reprezentowanej dyscypliny naukowej i dziedzin pokrewnych. Sposób zaplanowania eksperymentów, spektrum zsyntezowanych związków, znaczenie, oryginalność i aspekt praktyczny uzyskanych zależności, oraz osiągnięcia publikacyjne, świadczą o wysokich kompetencjach naukowo-badawczych Autorki rozprawy i są niepodważalnym dowodem Jej przygotowania do prowadzenia dalszych badań naukowych.

Ocena rozprawy doktorskiej i kwestie dyskusyjne

W tej części opinii powinienem wskazać zidentyfikowane w pracy „niedociągnięcia” i kwestie dyskusyjne. Nie będzie to łatwe w związku z tym, że praca została przygotowana bardzo starannie. Pomimo szczerych chęci znalazłem wyłącznie 2 błędy stylistyczne, o których nie będę wspominał – świadczy to o naprawdę rzetelnym przygotowaniu rozprawy. Może drobnym uchybieniem są zróżnicowane podpisy pod grafikami (schematy, rysunki, wykresy).

Natomiast poniżej pozwolę sobie zaprezentować kwestie do omówienia podczas publicznej obrony. Nadmienię, że mają one charakter dyskusyjny i wynikają głównie z mojego zainteresowania prezentowaną tematyką badawczą lub z braku stosownych wyjaśnień w treści pracy – nie pomniejszają one jednak wartości merytorycznej ocenianej pracy i mojej bardzo pozytywnej oceny.

- które ze zsyntezowanych pochodnych uważa Pani za najbardziej perspektywiczne i dlaczego?
- zarówno w aspekcie syntezy jak i wykorzystania pochodnych perylenodiimidowych ważny jest aspekt ekonomiczny – na ile uzasadniona jest synteza tego typu związków i ich praktyczne wykorzystanie w konstrukcji wybranych ogniw fotowoltaicznych?
- zrozumiałym jest, że w typowej monografii nie powinny być prezentowane wyniki badań już opublikowane (tak jak w przypadku cytowanej publikacji w czasopiśmie *Small* i zawartych w niej zależności), natomiast w treści pracy wspomina Pani o rozszerzonej charakterystyce ogniw przygotowanych z użyciem pochodnych z ugrupowaniami pirolidynowymi, uwzględniającej m.in. ocenę prądowo-napięciową w ciemności czy przy zmiennym natężeniu światła, analizę przewodności międzywarstw i badania technikami TPV, TPC oraz GIWAXS – wyniki tych prac nie zostały jeszcze opublikowane, więc dlaczego nie zdecydowała się Pani na ich umieszczenie w rozprawie?
- zaskakujący jest także brak charakterystyki ogniw typu heterozłączy objętościowych, w których jako komponenty warstw aktywnych o charakterze akceptorowym wykorzystano zsyntezowane pochodne perylenodiimidowe o strukturze trójwymiarowej – stwierdzenie na temat pionierskiego charakteru tych badań wzbudziło moje zainteresowanie i z pewnością byłoby komplementarnym uzupełnieniem całości zaprezentowanych zależności eksperymentalnych.

Podsumowanie i ocena końcowa

Oceniając przedłożoną do recenzji rozprawę doktorską autorstwa Pani mgr Kamili Jankowskiej, zatytułowaną „*Nowe materiały oparte na perylenodiimidzie do zastosowań fotowoltaicznych*”, z jednej strony należy podkreślić, że prezentuje ona ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w zakresie nauk chemicznych i dziedzin pokrewnych, z drugiej, wskazuje praktyczne rozwiązania problemów związanych z opracowywaniem wydajnych i ekonomicznie uzasadnionych protokołów syntezy pochodnych perylenodiimidowych dedykowanych do wykorzystania jako komponentów nowatorskich systemów konwersji energii słonecznej w elektryczną. Nie podlega wątpliwości, że zaprezentowane zależności eksperymentalne stanowią istotne uzupełnienie obecnego stanu wiedzy, są wartościowe, a co ważniejsze perspektywiczne, i w niedalekiej przyszłości mogą przynieść wymierne korzyści, jako potencjalne rozwiązania udoskonalające technologie pozyskiwania/magazynowania energii.

W podsumowaniu jednoznacznie stwierdzam, że recenzowana rozprawa prezentuje oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i spełnia wszystkie wymogi ustawowe i zwyczajowe stawiane rozprawom doktorskim. Wniosuję do Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Chemiczne Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, o przyjęcie rozprawy i przeprowadzenie dalszych etapów postępowania doktorskiego.