

Bydgoszcz, 05 luty 2025

dr hab. inż. Beata Jędrzejewska, prof. PBS

Recenzja

rozprawy doktorskiej Pani mgr Alicji Anny Zielińskiej
zatytułowanej „*Synteza i badanie właściwości heterocyklicznych emiterów termicznie
aktywowanej opóźnionej fluorescencji (TADF) w organicznych diodach
elektroluminescencyjnych*”

Podstawę formalną do opracowania niniejszej recenzji stanowi pismo Pani dr hab. Urszuli Kiełkowskiej, Prof. UMK, Dziekan Wydziału Chemii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu z dnia 26 listopada 2024 r. z prośbą o przyjęcie przeze mnie funkcji recenzentki wspomnianej powyżej rozprawy doktorskiej.

Podstawowe informacje o recenzowanej rozprawie doktorskiej

Przedłożona do oceny rozprawa Pani mgr Alicji Zielińskiej, stanowiąca podstawę w procedurze uzyskania stopnia doktora w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki chemiczne, jest opracowaniem, które dotyczy ważnych i interesujących problemów współczesnej fotofizyki związanych z koniecznością poprawy pożądaných właściwości organicznych emiterów światła, takich jak fotostabilność i wydajność kwantowa emisji. Od czasu opracowania pierwszej diody OLED w 1987 r. nastąpił dynamiczny rozwój organicznych materiałów półprzewodnikowych ze względu na ich obiecujące nowe zastosowania w elektronicznych i optoelektronicznych urządzeniach luminescencyjnych. Opracowano i udoskonalono szereg materiałów, by spełniały wymagania tych zastosowań. Materiały różnią się od siebie strukturą, ale także mechanizmem zaangażowanym w wytwarzaną elektroluminescencję. Wśród nich związki organiczne wskazujące elektroluminescencję dzięki termicznie aktywnej opóźnionej fluorescencji (TADF) stanowią ważną grupę nowych materiałów w aspekcie tworzenia organicznych diod elektroluminescencyjnych (ang. OLED), ale również sond bioobrazujących, czujników fluorescencyjnych i fototeranostyków. Podstawowymi zaletami tych emiterów jako trzeciej generacji organicznych materiałów elektroluminescencyjnych, są wysoka wewnętrzna wydajność kwantowa, brak domieszki metali ziem rzadkich i łatwa modyfikacja struktur chemicznych w wyniku syntezy organicznej. Trzeba jednak podkreślić, że problemy związane z czystością kolorów, stabilnością, żywotnością czy kosztami produkcji masowej, które hamują dalszą ekspansję technologii OLED na rynku konsumenckim, stanowią wyzwanie, które inspirowe do dalszych badań. W tym kontekście tematyka podjęta przez Panią mgr Alicję Zielińską dotycząca syntezy, badania właściwości fotofizycznych oraz elektrochemicznych emiterów organicznych

wykazujących termicznie aktywowaną opóźnioną fluorescencję (TADF) dla technologii OLED jest aktualna i interesująca z punktu widzenia naukowego, ale przede wszystkim praktycznego.

Recenzowana praca doktorska została wykonana pod opieką promotora Pana dr. hab. Jacka Nowaczyka, Prof. UMK z udziałem Pana dr. Mariusza Jana Bosiaka w charakterze promotora pomocniczego. Dwie główne części pracy: literaturowa i doświadczalna poprzedzone są wykazem dorobku naukowego Doktorantki. W dorobku naukowym Pani mgr Alicja Zielińska ma 2 publikacje w *Journal of Organic Chemistry* oraz 1 artykuł w *Materials Today Chemistry*, udział w 11 konferencjach naukowych organizowanych w kraju i za granicą, 1 patent, a także 3 zgłoszenia patentowe. Należy zauważyć, że Doktorantka zdobywała również doświadczenie biorąc udział w realizacji 3 projektów naukowych, a także podczas stażu w Laboratorium Biosensorów i Elektroniki Organicznej w Bionanoparku w Łodzi oraz prelekcji z ramienia firmy NOCTILUCA S.A. Ponadto część badań dotycząca *charakterystyki napięciowo-prądowej organicznych diod elektroluminescencyjnych* wykonana została na Uniwersytecie Kyung Hee w Korei Południowej (Organic Optoelectronic Device Lab (OODL), Department of Information Display), co potwierdza gotowość Doktorantki do nawiązywania współpracy naukowej w celu osiągnięcia wyznaczonych celów badawczych.

Z formalnego punktu widzenia przedłożona do oceny rozprawa doktorska jest monografią naukową z podziałem na wprowadzenie, część literaturową (35 stron), część dotyczącą badań własnych (39 stron), podsumowanie oraz wnioski (3 strony), część eksperymentalną (15 stron), bibliografię, wykaz rysunków i tabel. Rozdziały te zostały poprzedzone spisem treści, wykazem skrótów i stosowanych oznaczeń oraz streszczeniem w języku polskim i angielskim. Całość materiału dysertacji mieści się na 128 stronach maszynopisu i zawiera 58 rysunków, 17 tabel oraz 77 odnośników literaturowych. W mojej opinii taki rozmiar pracy jest wystarczający, aby przedstawić i przedyskutować uzyskane wyniki badań naukowych w sposób zwięzły i przejrzysty. Ponadto podany na początku dysertacji wykaz skrótów i stosowanych oznaczeń ułatwia czytanie pracy i zrozumienie zawartych w niej treści. Dobór źródeł literaturowych, w większości opublikowanych w ciągu ostatnich 10 lat, w mojej opinii jest trafny i odpowiada aktualnemu stanowi wiedzy z problematyki podjętej przez Doktorantkę w niniejszej pracy. Cytowane odnośniki literaturowe sformatowane są w sposób jednolity, ich numeracja jest poprawna i zgodna z treścią pracy, co wskazuje, że Autorka opanowała umiejętność cytowania literatury naukowej. Niemniej czasami brakuje odnośników do cytowanej literatury w tekście, np.: na stronach 82 i 85.

Pod względem językowym i gramatycznym rozprawa napisana jest starannie. Jej układ i struktura są prawidłowe. Zdarzają się jedynie drobne błędy edytorskie, niejasne sformułowania, skróty myślowe i literówki, np.: brak wyjaśnienia odwołania „c)” w Tabeli 3 na str. 38, na str. 66 powinno być odwołanie do Rysunku 38, a jest do Rysunku 36, analogicznie na str. 85 powinno być odwołanie do Tabeli 2, a nie do Tabeli 20, „w przypadku wyników roztworowych” (str. 97), „a domieszkowane cienkie rejestrowano” (str. 100), „przy użyciu automatyczne miernika temperatury topnienia” (str. 62), „z 1. obiegu” (str. 62), „2. lub 3. obiegu” (str. 63), litera „d” w oznaczeniu rozpuszczalnika deuterowanego jest różnie pisana, standardowo lub kursywą (str. 59), „z poprawnie wykształconych pikiem” (str. 61).

Szata graficzna jest bardzo dobra, rysunki w sposób przejrzysty przedstawiają uzyskane wyniki. Jedynie jakość skanowanych widm ^1H i ^{13}C NMR jest słaba przez co Rysunki 30, 31 i 46 są mało czytelne. Ponadto odwołanie do Tabel 9 i 10 jest na stronie 68 i 69, podczas gdy tabele te znajdują się dopiero na stronach 72 i 73. W pracy zamieszczone są 147 poprawnie narysowane wzory strukturalne związków chemicznych, co potwierdza, że Doktorantka opanowała umiejętność posługiwania się specjalistycznym

oprogramowaniem. Jedynie na Rysunku 29 dla związku 32, 123 i 124 jest błąd, gdyż podano, że $X=C(CH_2)$, a powinno być $X=C(CH_3)_2$ (str. 58).

Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Przedmiotem rozprawy doktorskiej Pani mgr Alicji Zielińskiej jest „*Synteza i badanie właściwości heterocyklicznych emiterów termicznie aktywowanej opóźnionej fluorescencji (TADF) w organicznych diodach elektroluminescencyjnych*”. Wybrany temat ma ogromne znaczenie zarówno dla badań podstawowych, jak i zastosowań praktycznych. Szczegółowe badania nad nowymi emiterami OLED, w tym synteza nowych związków wykazujących zjawisko TADF, są kluczowe dla opracowania innowacyjnych produktów, które mogą poprawić jakość życia oraz przyczynić się do ochrony środowiska. Zatem, w mojej opinii, wybór przedmiotu rozprawy doktorskiej mgr Alicji Zielińskiej uważam za właściwy i w pełni uzasadniony.

We Wprowadzeniu do pracy Autorka w sposób zwięzły przedstawia powody swego zainteresowania omawianym tematem i jego ważność dla nauki i przemysłu.

W Części literaturowej omawia postęp w badaniach dotyczący związków stosowanych w OLED-ach dokonany na przestrzeni niemal 70 lat, który umożliwił osiągnięcie obecnego poziomu zaawansowania proponowanych rozwiązań, opisuje podstawowe procesy emisyjne w oparciu o diagram Jabłońskiego z uwzględnieniem opóźnionej fluorescencji typu P (anihilacji tryplet-tryplet, TTA) oraz termicznie aktywowanej opóźnionej fluorescencji (TADF). Kolejny podrozdział w przystępny sposób wprowadza czytelnika w zagadnienia dotyczące budowy i zasady działania diod elektroluminescencyjnych ze szczególnym zwróceniem uwagi na wady i zalety czterech generacji urządzeń OLED. W dalszej części podaje przykłady związków zawierających bor jako emiterów TADF, które charakteryzują się bardzo dobrymi parametrami i mają duży potencjał aplikacyjny w urządzeniach optoelektronicznych. Doktorantka omawia sposób syntezy, właściwości fotofizyczne i elektrochemiczne opisanych w literaturze emiterów oraz metody wytwarzania urządzeń elektroluminescencyjnych różniących się składem warstwy emisyjnej. Kolejne podrozdziały dotyczą opisu właściwości oraz sposobów funkcjonalizacji emiterów na bazie donorów, zawierających jednostkę 9-fenyl-9H-fluorenylową oraz N-alkilowo podstawionego diindolokarbazolu. Ta część pracy została napisana w sposób przemyślany, a zawarte w niej treści są kluczowe dla zrozumienia zjawiska termicznie aktywowanej opóźnionej fluorescencji (TADF), wykorzystywanego w projektowaniu organicznych diod elektroluminescencyjnych (OLEDs), które stanowi podstawę badań przeprowadzonych przez Doktorantkę.

W części zasadniczej pracy, opierając się na treściach zawartych we wprowadzeniu teoretycznym, Doktorantka w logiczny i klarowny sposób formułuje cele badawcze oraz przedstawia plan badań i szczegółowy zakres pracy, dzięki którym cele zostaną osiągnięte. W dalszej części dysertacji Autorka prezentuje syntetyczny opis własnych wyników i ich dyskusję.

Główna część rozprawy podzielona jest na dwa podrozdziały w zależności od sposobu modyfikacji budowy chemicznej emiterów TADF. Pierwszą grupę zsyntezowanych i szczegółowo przebadanych związków stanowi osiem emiterów TADF na bazie czterech donorów, tj. 9,9-dimetylo-9,10-dihydroakrydyny, 9H-karbazolu, fenoksazyny i 10H-fenotiazyny podstawionych w pozycjach *para* w stosunku do atomu azotu przez grupę 9-fenyl-9H-fluorenylową. W dwuetapowej syntezie Doktorantka otrzymała najpierw mono- i dipostawione pochodne amin, a następnie w reakcji sprzęgania Buchwalda-Hartwiga emitery typu donor-akceptor elektronu (związki **130-137**). Reakcja ta została również

wykorzystana do syntezy drugiej grupy emiterów zawierających jako część elektronodonorową układ *N*-alkilodiindolokarbazolu (związki **143-146**). Cechą wspólną obu grup zsyntezowanych związków jest 2,12-di-*tert*-butylo-5,9-dioksa-13*b*-boranafto[3,2,1-*de*]antracen pełniący rolę akceptora, przy czym dla pochodnych *N*-alkilodiindolokarbazolu był on dodatkowo funkcjonalizowany poprzez wprowadzenie w pozycję 2 i 12 grup *tert*-butylowych. Dla tej grupy emiterów Doktorantka również sprawdziła wpływ efektu izotopowego na właściwości otrzymanego emitera, jak i na parametry otrzymanych urządzeń.

Biorąc pod uwagę przeznaczenie otrzymanych związków jako emiterów do zastosowań w optoelektronice ważnym aspektem podjętych przez Autorkę badań było oczyszczenie związków. W tym celu zastosowała chromatografię kolumnową, sublimację oraz przemywanie na gorąco rozpuszczalnikami organicznymi. Strukturę oraz czystość produktów syntezy oraz związków końcowych ustaliła analizując widma ^1H i $^{13}\text{C}\{^1\text{H}\}$ NMR, chromatogramy oraz wykonując analizę elementarną. Wykazała, że czystość wszystkich emiterów z wyjątkiem związku **143** była wyższa od 99%.

Następnie Doktorantka w uporządkowany i logiczny sposób przeszła do dalszego etapu badań mającego na celu określenie właściwości termicznych, fotofizycznych i elektrochemicznych zsyntezowanych związków. Zarejestrowane krzywe TGA, termogramy DSC, elektronowe widma absorpcyjne i emisyjne w roztworze i w cienkiej warstwie, woltamperogramy oraz krzywe zaniku fluorescencji pozwoliły na dokładne scharakteryzowanie kluczowych właściwości badanych emiterów w zależności od wprowadzonych modyfikacji w ich budowie chemicznej. Przykładowo Doktorantka wykazała, że większość badanych związków charakteryzowała się *wysokimi temperaturami topnienia (>255 °C) oraz wysokimi temperaturami rozkładu (>370 °C) przy czym dużo wyższą stabilnością termiczną odznaczały się związki 143-146, czyli te wytworzone w oparciu o pochodne diindolokarbazolu w części elektronodonorowej niż związki 130-137*. Następnie na podstawie widm absorpcyjnych wyznaczyła wartości przerwy energetycznej (E_g), którą wykorzystała do obliczenia energii orbitali HOMO i LUMO. W przypadku emiterów zawierającego w swojej strukturze fenotiazynę (**136** i **137**) zauważyła występowanie *dwóch pasm emisyjnych pochodzących od dwóch konformerów tych związków, z których tylko jeden wykazuje właściwości TADF*. Dla wszystkich przebadanych związków zaobserwowała występowanie dodatniego efektu solwatochromowego. Wyznaczyła także metodą bezpośrednią wydajność kwantową fotoluminescencji oraz energie poziomów S_1 i T_1 . Przykładowo wartość PLQY w cienkich warstwach w układzie gość-gospodarz dla związków **130** i **131** wyniosła odpowiednio 94,7 % i 98,4 %. Dodatkowo analiza krzywych zaniku fluorescencji w mikrosekundowej skali czasowej pozwoliła Autorce potwierdzić lub wykluczyć występowanie w badanym materiale zjawiska TADF. Ustaliła, że *tylko związki 134-135, dla których wartości ΔE_{ST} osiągnęły wartości 0,30 i 0,37, nie wykazują właściwości TADF*. Natomiast związki **130-133**, **136-137** oraz **143-146**, które podczas pomiarów czasowo-rozdzielczych wykazywały fluorescencję z czasami życia powyżej 0,5 μs , emitują promieniowanie na drodze zjawiska TADF.

Kolejnym a zarazem ostatnim problemem podjętym przez Doktorantkę w ramach rozprawy doktorskiej było zaprojektowanie i wytworzenie diod elektroluminescencyjnych oraz dokonanie ich charakterystyki napięciowo-prądowej. Na podstawie danych uzyskanych przy wykorzystaniu technik spektroskopii stacjonarnej i czasowo-rozdzielczej, analizy termicznej oraz woltamperometrii cyklicznej do badań elektroluminescencyjnych Autorka wytypowała osiem emiterów, a mianowicie związki **130-133** oraz **143-146**. Wykazała, że wydajność energetyczna urządzeń wytworzonych na bazie emiterów zawierające jednostkę 9-fenyl-9*H*-fluorenylową, które w warstwie emisyjnej posiadały host bardziej polarny, była wyższa niż dla układów z hostem mniej polarnym. Ponadto ustaliła, że dioda elektroluminescencyjna

posiadająca w warstwie emisyjnej związek **130** osiągnęła największą zewnętrzną wydajność kwantową (EQE) równą 30.1 % przy maksymalnej luminancji i domieszkowaniu 40 wt% z hostem **66**. Poza tym wykazała, że *urządzenia oparte o emiterzy 143-146 charakteryzują się zewnętrznymi wydajnościami kwantowymi większymi od 15 % oraz stosunkowo niskim spadkami wydajności przy wyższej luminancji w przypadku odpowiedniego domieszkowania w hoście*. Po przeanalizowaniu uzyskanych wyników Doktorantka zauważyła, że *„nie tylko wzajemne położenie wzbudzonych poziomów trypletowych ma znaczenie, ale również polarność hosta, wartość przerwy energetycznej czy też położenie orbitali HOMO i LUMO na diagramie energetycznym”*.

W opinii recenzentki wyniki eksperymentalne zamieszczone w rozprawie doktorskiej wskazują, że badania zostały wykonane z dużą starannością, bez istotnych uchybień, które by podważały ich wiarygodność.

Merytoryczną część rozprawy zamyka rozdział *Podsumowanie oraz wnioski*, w którym Doktorantka przedstawia kluczowe wnioski z przeprowadzonych przez siebie badań. Do najważniejszych wyników pracy doktorskiej Pani mgr Alicji Zielińskiej zaliczam:

1. Utylitarny charakter uzyskanych wyników dotyczących zarówno fotoluminescencji emiterów, jak i elektroluminescencji urządzeń, co potwierdzają trzy złożone zgłoszenia patentowe oraz nawiązaniem współpracy z firmami zajmującymi się produkcją urządzeń OLED-owych.
2. Potwierdzenie występowanie zjawiska TADF jako mechanizmu emisji promieniowania dla dwunastu związków, wytworzenie dla ośmiu z nich diod OLED oraz określenie ich właściwości elektroluminescencyjnych.
3. Opracowanie stosunkowo taniej, szybkiej i wydajnej metody syntezy emiterów o budowie typu donor-akceptor na bazie akceptora – pochodnej 5,9-dioksa-13*b*-boranafto[3,2,1-*de*]antracenu oraz modyfikowanej części elektronodonorowej zawierającej podstawnik 9-fenyl-9*H*-fluorenylowy w pozycjach *para* w stosunku do atomu azotu wyselekcjonowanych amin heterocyklicznych lub układu *N*-alkilodiindolokarbazolu.

Ostatni rozdział dysertacji zatytułowany *Część eksperymentalna* zawiera informacje dotyczące stosowanych odczynników, użytej aparatury naukowo-badawczej oraz szczegółowe opisy przeprowadzonych syntez. W ramach pracy Autorka otrzymała z zadawalającą wydajnością praktyczną 11 donorów oraz 14 związków wykazujących luminescencję. W stosunku do metodyki pomiarów wskazane byłoby podanie informacji dotyczącej programu i funkcji matematycznej użytej do dekonwolucji krzywych zaniku fluorescencji. Ponadto, błędnie podano nazwę spektrometru NMR; powinno być Bruker Avance, a nie Bruker Advance.

W odniesieniu do całości ocenianej dysertacji mogę stwierdzić, że Autorka wykazała się dojrzałością naukową, znajomością literatury dotyczącej tematu badań oraz różnych technik eksperymentalnych, a uzyskane wyniki dostarczają niewątpliwie interesujących informacji dotyczących właściwości spektroskopowych, fotofizycznych i elektrochemicznych organicznych emiterów TADF do potencjalnych zastosowań w OLED-ach. Lektura rozprawy nasunęła jednak kilka drobnych uwag i wątpliwości, które przedstawiam poniżej:

str. 23 – „w wyniku czego powstają dwa stany: podstawowy singletowy i singletowy wzbudzony, który to, powracając do stanu podstawowego, emituje kwant promieniowania.” – to nie stan powraca do stanu podstawowego i emituje promieniowanie elektromagnetyczne;

str. 64, 100 – „z widm absorpcyjnych, a dokładnie ich początków, zostały wyznaczone wartości przerwy energetycznej (E_g)” – takie wyjaśnienie może być niejasne, szczególnie dla osób, które nie zajmują się fotofizyką, wskazane byłoby uszczegółowienie opisu metody w części eksperymentalnej pracy, aby tekst był zrozumiały dla każdego czytelnika. Analogiczna uwaga dotyczy oszacowania różnicy wartości energii S_1 i T_1 (str. 68);

str. 64 – „Właściwości fotofizyczne związków **130-137** zostały przebadane w roztworze” – brak informacji o jaki roztwór chodzi;

str. 66 – dlaczego widma emisji dla związków **130-133** zarejestrowano w 2-metylotetrahydrofuranie, a dla związków **134-137** w tetrahydrofuranie. Z czego wynika zmiana rozpuszczalnika?

str. 66 – co oznacza „znormalizowana wartość polarności dla tych rozpuszczalników”?

str. 66 – Doktoranta posługuje się terminem „pozytywny efekt solwatochromowy” w moim odczuciu bardziej poprawne byłoby użycie określenia *dodatni efekt solwatochromowy* i konsekwentne stosowanie jednego terminu w całej rozprawie;

str. 67-68 – Doktorantka podaje, że widma fotoluminescencji rejestrowano w temperaturze pokojowej – czy wszystkie pomiary wykonano dokładnie w tej samej temperaturze?

str. 69 – „Biorąc pod uwagę istnienie dwóch konformerów w roztworze toluenu na widmach emisyjnych, gdzie jeden z nich nie wykazuje właściwości TADF,...” konformery nie występują w widmach, w widmach obserwujemy dwa pasma pochodzące od dwóch konformerów;

str. 72, Rysunek 41, opis osi y – w moim odczuciu bardziej poprawne byłoby użycie określenia *Liczba zliczeń fotonów* zamiast *Zliczenia fotonów*.

str. 72, Tabela 9 oraz str. 90, Tabela 15 – czy pomiary fotoluminescencji wykonano rzeczywiście w roztworze toluenu o stężeniu 10^{-5} mol/cm³, w Części eksperymentalnej pracy podane jest stężenie 10^{-5} mol/dm³. Duże stężenie związku może prowadzić do, np.: reabsorpcji promieniowania;

str. 75, Rysunek 44 – w podpisie pod rysunkiem należałoby wyjaśnić, że T_1 oznacza wartość energii pierwszego trypletowego stanu wzbudzonego zwłaszcza, że w Wykazie skrótów i oznaczeń T_1 oznacza wzbudzony stan trypletowy;

str. 88 – Czy Autorka mogłaby zaproponować wyjaśnienie, dlaczego dla związku **143** i **145** obserwuje się obniżenie wartości energii HOMO i LUMO w stosunku do wartości tych energii dla związków **144** i **146**?

str. 100 – „Roztwór 0,1 M nadchloranu tetrabutylamonowego (Bu_4NClO_4) w acetonitrylu użyto jako elektrody pomocniczej” – roztwór nadchloranu nie jest elektrodą tylko elektrolitem;

str. 12, Wykaz skrótów i oznaczeń – w moim odczuciu bardziej poprawnym rozwinięciem nazwy akronimów HOMO i LUMO jest: najwyższy obsadzony orbital molekularny (ang. *Highest Occupied Molecular Orbital*) i najniższy nieobsadzony orbital molekularny (ang. *Lowest Unoccupied Molecular Orbital*) oraz dla FWHM – całkowita szerokość pasma w połowie jego maksimum. Ponadto wymiarem szerokości połówkowej pasma są odwrotność długości fali (liczba falowa) lub odwrotność czasu (częstość),

a więc wielkości proporcjonalne do energii. W Tabeli 9, 12, 13, 15 i 17 wartości FWHM podane są w nanometrach.

Chciałabym jednak podkreślić, że te przykładowe, drobne uchybienia, poczynione z obowiązku recenzentki, w żadnym stopniu nie kwestionują wysokiej wartości poznawczej i naukowej przedstawionej do zaopiniowania rozprawy.

Wniosek końcowy

Rozprawa doktorska Pani mgr Alicji Zielińskiej wnosi wiele istotnych wartości poznawczych do aktualnej wiedzy dotyczącej materiałów wykazujących elektroluminescencję dzięki termicznie aktywnej opóźnionej fluorescencji. W pracy szczegółowo opisano syntezę związków typu donor-akceptor o właściwościach luminescencyjnych, ich właściwości fotofizyczne oraz elektrochemiczne, a także właściwości elektroluminescencyjne diod wytworzonych z opracowanych emiterów. Jest to znacząca liczba oryginalnych wyników opartych na kompleksowych pomiarach spektroskopowych (stacjonarnych i czasowo-rozdzielczych) oraz elektrochemicznych, które niezaprzeczalnie poszerzają dostępną wiedzę w tej dziedzinie. Nie mam wątpliwości, że rozprawa doktorska Pani mgr Alicji Zielińskiej stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a zawarte w niej treści potwierdzają wysoki poziom naukowy Autorki i umiejętność prowadzenia badań eksperymentalnych, co wskazuje na Jej pełne przygotowanie do dalszej, samodzielnej pracy badawczej.

Reasumując stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania ustawowe określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. 2018, poz. 1668 z poz. zm.) i wnoszę do Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Uniwersytetu Mikołaja Kopernika o dopuszczenie Pani mgr Alicji Zielińskiej do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki chemiczne.

dr hab. inż. Beata Jędrzejewska

Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej
Politechniki Bydgoskiej