

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr Dominiki Jankowskiej

pt. „*Nowe związki cynku(II) i miedzi(II), ich charakterystyka i zastosowanie do otrzymywania nowych materiałów o właściwościach fluorescencyjnych*”

Zakres i charakter przeprowadzonych badań zawartych w przekazanej mi do recenzji rozprawie doktorskiej świadczą o dużej wartości poznawczej i aplikacyjnej poruszanej tematyki, łączącej klasyczną chemię koordynacyjną i chemię organiczną z nowoczesnymi elementami inżynierii materiałowej. Obszerny zakres zagadnień nauk chemicznych, podjętych przez Autorkę rozprawy, zasługuje na szczególne podkreślenie już na wstępie niniejszej recenzji. Interdyscyplinarność oraz szerokie spektrum przeprowadzonych badań stanowi istotny atut pracy, podnosząc jej wartość merytoryczną i budząc uznanie czytającego. Przedstawione w rozprawie wyniki badań, opublikowane oraz poddane ocenie ekspertów w procesie recenzji wydawniczej, jednoznacznie potwierdzają potrzebę wykorzystania osiągnięć nauki w celach komercjalizacji, gdzie analizowane związki stanowią materiały funkcjonalne w technologii wyświetlaczy czy źródeł światła nowej generacji.

Rozprawa doktorska poświęcona została opracowaniu syntezy, jej przeprowadzeniu i wieloaspektowej charakterystyce nowych związków organicznych i koordynacyjnych, przy czym uzyskane rezultaty dodatkowo wykorzystano w praktyce dowodząc ich potencjału aplikacyjnego w nowoczesnych technologiach optoelektronicznych, ze szczególnym uwzględnieniem zastosowania w diodach OLED.

W świetle przedstawionych założeń badawczych należy podkreślić, iż podjęta w ramach rozprawy problematyka posiada istotne znaczenie zarówno w wymiarze poznawczym, jak i w kontekście zastosowań przemysłowych oraz społecznych. Decyzja o realizacji tego tematu, podjęta wspólnie przez Panią Promotor, dr hab. Magdalenę Barwiołek, prof. UMK oraz Doktorantkę, mgr Dominikę Jankowską, zasługuje na uznanie. W tym również miejscu, pragnę wyrazić swój podziw dla trafności wyboru kierunku badań, który wpisuje się w aktualne trendy rozwoju chemii eksperymentalnej i jej rosnącego wpływu na rozwiązania stosowane w naszym życiu codziennym.

OCENA SYLWETKI I DOROBKU NAUKOWEGO KANDYDATKI

Kandydatka, mgr Dominika L. Jankowska, jest absolwentką studiów licencjackich oraz magisterskich na kierunku „Chemia” i specjalności „Chemia Stosowana”, które ukończyła na Wydziale Chemii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika (UMK) w Toruniu w roku 2020. W tym samym roku, podjęła decyzję o kontynuacji swojej edukacji, jako doktorantka Szkoły Doktorskiej Nauk Ścisłych i Przyrodniczych „*Academia Scientiarum Thoruniensis*” przy Wydziale Chemii UMK w Toruniu, realizująca projekt pracy doktorskiej pod opieką Pani: dr hab. Magdaleny Barwiołek, prof. UMK w Zespole naukowym Chemii Bionieorganicznej i Koordynacyjnej stanowiącym podjednostkę strukturalną Katedry Chemii Analitycznej i Spektroskopii Stosowanej.

Dorobek publikacyjny Doktorantki stanowiący podstawę rozprawy doktorskiej obejmuje 5 artykułów naukowych opublikowanych w okresie 2021-2025, których kompletna anglojęzyczna treść wraz z pełnymi danymi z badań stanowiącymi suplementy poszczególnych publikacji zostały zamieszczone w treści ocenianej rozprawy (s. 101 - 257). Łączny współczynnik wpływu tych prac wynosi 21,3 (IF 2024), wszystkie opublikowane zostały w renomowanych czasopismach znajdujących się na liście *Journal Citation Reports*. Nawiązując do uchwały Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Wydziału Chemii UMK w Toruniu dotyczących nadawania wyróżnień rozprawom doktorskim, należy zauważyć, że w publikacjach składających się na rozprawę doktorską i ujętych w niej, Kandydatka występuje 4-krotnie jako drugi autor, natomiast w jednej z nich jako pierwszy autor, co świadczy o jej istotnym, twórczym udziale w realizacji badań i raportowaniu wyników w poszczególnych artykułach. W ramach powinności recenzenckich, dodam, że kolejne dwa artykuły, pozostające w istotnym związku tematycznym z treścią ocenianej rozprawy, Autorka zadeklarowała w pracy jako „wysłane do recenzji”, a jedna z nich (gdzie Kandydatka ponownie pełni rolę pierwszego autora) została już wydana (lipiec 2025) w renomowanym czasopiśmie *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* (343, 126604, 2025). Powyższa informacja wydaje się być istotna z uwagi na zgłaszany wniosek o wyróżnienie ocenianej rozprawy poparty merytorycznym uzasadnieniem zawartym w końcowej części tej recenzji. Aktywność naukowa mgr Dominiki Jankowskiej znajduje potwierdzenie również w przytoczonym spisie jej licznych wystąpień na konferencjach krajowych i międzynarodowych, obejmujących komunikaty ustne jak i w formie posterów, z których jeden otrzymał wyróżnienie.

Pani mgr Dominika Jankowska z sukcesem pozyskiwała granty i stypendia badawcze, m.in. w ramach programów SONATA BIS, Horizon Europe, *Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza* (IDUB). Odbyla również staże naukowe w renomowanych ośrodkach zagranicznych, m.in. w Instytucie Fizyki Atomowej

i Spektroskopii Uniwersytetu Łotewskiego w Rydze, a także uczestniczyła w szeregu specjalistycznych kursów z zakresu chemii koordynacyjnej, krystalografii, spektroskopii i metod analitycznych w celu podnoszenia swoich umiejętności, kompetencji i rozwoju zawodowego.

Kandydatka, wykazuje się również znaczną aktywnością organizacyjną jak i popularyzatorską, jako współorganizatorka licznych wydarzeń o charakterze naukowym oraz edukacyjnym (konferencje, festiwale nauki, warsztaty skierowane do młodzieży, tj. potencjalnych przyszłych kandydatów na studia). Pani mgr Dominika Jankowska jest aktywną członkinią Polskiego Towarzystwa Chemicznego oraz Zespołu ds. Promocji i Popularyzacji Nauki Wydziału Chemii UMK.

W mojej opinii, przytoczony dorobek należy uznać za zdecydowanie ponadprzeciętny, a samą Kandydatkę - za naukowczynię z bogatym portofolio naukowym (7 artykułów; h-indeks = 4; liczba cytowań = 40; dane bibliometryczne z bazy *Scopus*, *Elsevier*; z dn. 14.08.2025). Przedstawione osiągnięcia świadczą o wysokich kompetencjach merytorycznych mgr Dominiki Jankowskiej, jej znacznej aktywności badawczej, organizacyjnej oraz posiadanej istotnej umiejętności w zakresie pozyskiwania środków finansowych na realizację własnych projektów naukowych. W mojej opinii, sylwetka naukowa mgr Dominiki Jankowskiej w pełni predestynuje ją do uzyskania stopnia doktora w dyscyplinie nauki chemiczne.

OCENA ASPEKTÓW FORMALNYCH ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Rozprawa została przygotowana bardzo starannie pod względem edytorskim, tj. Autorka zastosowała logiczny podział oraz kolejność fragmentów rozprawy na poszczególne rozdziały, które uwzględniła w spisie treści. Dysertacja Kandydatki zawiera elementy strukturalne typu: polskie i angielskie streszczenie (2 strony), spis treści (1 strona), wykaz skrótów (2 strony), wprowadzenie z odpowiednio dobranymi zagadnieniami części teoretycznej (17 stron), cele pracy badawczej powiązane z listą artykułów (3 strony), wyniki wraz z dyskusją i podrozdziałami: część strukturalna i spektroskopowa, część aplikacyjna (28 stron), uwagi końcowe i wnioski (11 stron), najważniejsze osiągnięcia (1 strona), perspektywy i rozwój badań (6 stron), bibliografia (12 stron, 140 referencji), życiorys naukowy (10 stron), oryginały 5 artykułów wraz z ich suplementami, oświadczenia o współautorstwie (29 stron). Warto podkreślić, że zebrane syntetycznie główne osiągnięcia jednoznacznie dowodzą umiejętności formułowania przez Kandydatkę merytorycznych i treściwych konkluzji w oparciu o uzyskane rezultaty pracy badawczej. Autorka podjęła udaną próbę usystematyzowania najważniejszych wyników, pokazując jednoznacznie, że założona koncepcja badań została w pełni zrealizowana. Doktorantka posiada umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, posługiwania się zaawansowanymi technikami oraz prezentacji wyników

swoich badań. Warto podkreślić, że Autorka w tekście rozprawy posługuje się językiem precyzyjnym i ściśle naukowym, zachowując właściwą terminologię dla chemii supramolekularnej i materiałowej. Dodatkowo, wszystkie zaprezentowane wyniki zostały poparte udokumentowanymi danymi przedstawionymi w formie zbiorczych rysunków, tabel, co znacząco ułatwiło analizę danych recenzentce, pomimo omawiania bogatej gamy (13) związków, dla których dokonano porównań i szczegółowych analiz pod kątem wykazywanych właściwości odnosząc się do różnic np. w ich strukturze.

W zakresie powinności recenzenckich jest wykazanie ewentualnych fragmentów do skorygowania, których w ocenianej rozprawie jest naprawdę niewiele, a które poniżej przedstawiam w formie scalonej tematycznie:

- (i) w tekście części teoretycznej można napotkać powtórzenia sformułowań (np. paragraf „*Właściwości fluorescencyjne makrocyclicznych ligandów [2+2] oraz [3+3] w ciele stałym [...]*” na s. 40);
 - (ii) niektóre opisy na osiach Rysunków (np. Rys. 12 na s. 41, Rys. 13 na s. 46, Rys. 14 na s. 50) oraz ich legendy mogłyby być zdecydowanie większe, by poprawić ich czytelność, ale dzięki dołączonym artykułom można łatwo je zweryfikować;
 - (iii) s. 18, tekst z odniesieniem do Rys. 5 podaje numerację 1) i 2), której nie wskazano na tej grafice, choć w łatwy sposób można zidentyfikować opisane rodzaje syntez;
 - (iv) s. 20, w ostatnim zdaniu nie podano wartościowości jonów metali, co przy np. jonach platyny(II/IV) może zastanawiać osobę bez wiedzy ściśle specjalistycznej w zakresie pozyskiwania diod czy porównywania kosztów ich wytwarzania;
 - (v) s. 31, pkt. 11 – czy w zgodzie z pozostałymi nie powinno być „Charakterystykę”?
 - (vi) s. 34, wyrażenie cytuję „*pod refluksem*” zapewne wzięło się z zapożyczenia języka angielskiego, podobnie jak wartości liczbowe oddzielane w języku polskim przecinkiem, a nie kropką: np. 50.7% czy 65.4% na s. 35 lub 443.1 A³ (16.9%) na s. 37 lub wartości zestawione w Tabeli 2 na s. 57;
 - (vii) s. 57, czy podana w tekście „różnica pomiędzy wartością maksimum emisji ($\Delta\lambda_{ELmax}=4$ nm) między **OLED-B2** (528 nm) i **OLED-B3** (531 nm)” to faktycznie 4 nm?
 - (viii) Dlaczego akronim „L1” został zastosowany zarówno w odniesieniu do makrocyclicznej zasady Schiff’a (s. 41), jak i do pochodnej benzimidazolowej (s. 46)?
- Powyższe uwagi zdają się jednak nie wpływać istotnie na wysoce pozytywny odbiór tekstu dysertacji.

OCENA ASPEKTÓW MERYTORYCZNYCH ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tematyka prowadzonych przez panią mgr Dominikę Jankowską badań obejmuje syntezę ligandów organicznych i szczegółową charakterystykę ich związków koordynacyjnych z centrami jonowymi cynku(II) i miedzi(II), prowadzącą do określenia

ich praktycznego zastosowania do wytwarzania innowacyjnych materiałów o właściwościach fluorescencyjnych.

Wszystkie założone przez Autorkę cele pracy badawczej, sformułowane bardzo precyzyjnie (6 głównych oraz 4 szczegółowe, s. 27), zostały w pełni zrealizowane, czego dowodzą materiały aplikacyjne gotowe do użycia. W szczególności, Autorka podjęła ambitny i wielowątkowy program badawczy, obejmujący syntezę:

- (i) wielodonorowych makrocyclicznych zasad Schiffa (4 ligandy, 2 związki typu [2+2] i [3+3] o akronimach: L1, L2, S1, S1a),
- (ii) pochodnych benzimidazolowych o zróżnicowanych właściwościach elektronowych poprzez modyfikację podstawnikiem -bromu, -fenylowym, -metylowym, -*tert*-butylowym i -naftoimidazolem (5 ligandów o akronimach: L1, L1B, L2B, B1, B2),
- (iii) makrocyclicznych kompleksów cynku(II) (2 związki koordynacyjne o akronimach K1-Zn, K2-Zn) i miedzi(II) (2 związki koordynacyjne o akronimach: K1-Cu, K2-Cu).

Kolejny etap badań projektu doktorskiego stanowiła wszechstronna charakterystyka strukturalna, spektroskopowa i optyczna otrzymanych obiektów w kontekście potencjalnych zastosowań w nowoczesnych urządzeniach optoelektronicznych.

Realizacja planu badawczego wymagała od Kandydatki zastosowania szerokiego spektrum metod analitycznych i obliczeniowych, w tym spektroskopii NMR, IR, UV-Vis, analizy elementarnej, analizy termicznej, rentgenowskiej analizy strukturalnej oraz analizy powierzchni Hirshfelda, uzupełnionych obliczeniami DFT. Ważnym elementem pracy było również przeprowadzenie analizy występowania oddziaływań międzycząsteczkowych oraz charakterystyki otrzymanych związków zarówno w roztworze, jak i w fazie stałej.

Faktycznie, istotnym osiągnięciem badawczym Autorki jest opracowanie cienkich warstw badanych związków [ligandów jak i kompleksów Zn(II) oraz Cu(II)] metodami powlekania wirowego (SC) oraz termicznego osadzania z fazy gazowej (TVD), wraz z optymalizacją parametrów ich nanoszenia. Uzyskane warstwy scharakteryzowała fizykochemicznie z wykorzystaniem metod mikroskopowych (SEM/EDX, AFM, TEM) oraz zbadała ich właściwości optyczne. W dalszym etapie wytypowała Ona związki o najwyższej aktywności luminescencyjnej i zastosowała je jako warstwy emisyjne w prototypach diod (OLED-B2, OLED-B3), dla których określiła też parametry elektroluminescencyjne.

Za szczególnie mocną stroną ocenianej rozprawy uznaje rozdział 5 (s. 60–70), w którym Doktorantka w sposób systematyczny i uporządkowany (w formie ponumerowanej) zestawiała zależności dotyczące wybranych klas związków, zdefiniowanych już we wstępie pracy i konsekwentnie stosowanych w całej dysertacji. Wspomniany detaliczny opis przedstawiony przez p. Jankowską dotyczy konkretnych wniosków opartych na jej autorskich analizach pod kątem różnic w budowie strukturalnej (obecności podstawników o różnych właściwościach sterycznych i elektronowych),

a wykazywanymi właściwościami optoelektronicznymi oraz zastosowaniem w diodach OLED. Co istotne, Autorka podjęła próbę syntetycznego uogólnienia uzyskanych rezultatów (s. 71), co należy ocenić bardzo pozytywnie. Wskazała ona sześć głównych efektów swojej pracy, w tym: preparatywnej (synteza 13 związków; oczyszczanie; krystalizacja), badawczej (analiza rentgenostrukturalna; spektroskopowa; analiza właściwości optycznych przy pomocy obliczeń DFT) oraz technologicznej (optymalizacja metody pozyskiwania cienkich, jednorodnych materiałów; konstrukcja pięciu diod; synteza kompozytu sondy fluorescencyjnej).

Rozprawa zawiera również opis syntezy i wyniki dla dodatkowej pochodnej benzimidazolowej o akronimie B3 zastosowanej w diodzie OLED oraz informacje związane z kontynuacją podjętego tematu doktorskiego i pozyskaną, cenną wiedzą (badania przeprowadzone, ale nie opublikowane, jak deklaruje Autorka) wykorzystaną w praktyce z użyciem ligandów makrocyclicznych o wysokiej intensywności fluorescencji w diodach, OLED-L1, OLED-S1, OLED-S2 (przy czym ostatnia wspomniana to dioda zawierająca zmodyfikowany, dwoma podstawnikami bromu, ligand makrocycliczny L1 typu [2+2] (s. 73).

Reasumując, wyniki badań są imponujące, a Autorka nie ograniczyła się jedynie do badań podstawowych, lecz zrealizowała również część aplikacyjną - konstrukcję i testowanie diod OLED z wykorzystaniem otrzymanych/wybranych ligandów i kompleksów, a także demonstrację właściwości sensorycznych względem jonów metali (Zn^{2+} i Mg^{2+}) dla układu ZnOnf-L1 (gdzie L1: cykliczna pochodna benzimidazo[1,2-a]cholino).

Podczas lektury rozprawy doktorskiej nasunęły mi się pewne zagadnienia/pytania do dyskusji po wstępnym ich rozważeniu przez Kandydatkę, które postanowiłam zebrać w punktach poniżej:

1. Czy w Pani rozprawie terminy „urządzenie OLED” (Tabela 3, s. 73) i „dioda OLED” (Rys. 15, s. 56) zostały użyte jako synonimy, czy też miała Pani na celu rozróżnienie między strukturą pojedynczej diody a kompletnym prototypem urządzenia OLED?
2. Czy planowane jest przeprowadzenie długoterminowej analizy stabilności otrzymanych warstw w diodach OLED w warunkach pracy?
3. Jakie parametry procesu „*spin-coating*” uznała Pani za krytyczne przy tworzeniu jednorodnych warstw emisyjnych w otrzymanych diodach? Czy próbowała Pani optymalizacji pod kątem zmniejszenia chropowatości tych powierzchni?
4. Co może być przyczyną braku właściwości sensorycznych zsyntezowanego kompozytu ZnOnf-L1 względem jonów Al^{3+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} i Co^{2+} ?

PODSUMOWANIE RECENZJI WRAZ Z OCENĄ KOŃCOWĄ

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr Dominiki Jankowskiej pod tytułem *“Nowe związki cynku(II) i miedzi(II), ich charakterystyka i zastosowanie do otrzymywania nowych materiałów o właściwościach fluorescencyjnych”* **spełnia** wszystkie ustawowe kryteria stawiane rozprawom doktorskim, zgodnie z obowiązującą *Ustawą z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* oraz późniejszymi zmianami w tym zakresie. W związku z tym wnoszę do Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Wydziału Chemii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu o dopuszczenie Kandydatki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

WNIOSEK O WYRÓŻNIENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ Z UZASADNIENIEM

Stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr Dominiki Jankowskiej wpisuje się w aktualnie rozwijane kierunki badań naukowych. Wieloletnia realizacja kamieni milowych projektu doktorskiego skutkowałą osiągnięciami o znaczeniu użytkowym i potencjale komercyjnym. Wspomniane rezultaty są obecnie szczególnie wysoko cenione w środowisku nauk ścisłych i przyrodniczych, stanowiąc jednocześnie wyznacznik wysokiego poziomu merytorycznego oraz jakościowego profilu naukowego zespołu badawczego, w którym rozprawa doktorska była realizowana, tj. Zespołu naukowego Chemii Bionieorganicznej i Koordynacyjnej na Wydziale Chemii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu.

Oceniana rozprawa doktorska mgr Dominiki Jankowskiej zasługuje na **wyróżnienie**, ponieważ w wielu aspektach przekracza przeanalizowane kryteria jakościowe i merytoryczne określone w otrzymanej pisemnie Uchwale nr 94/2023 Rady Dyscypliny Nauk Chemicznych Wydziału Chemii UMK. Praca odznacza się wysokim stopniem oryginalności, interdyscyplinarnym ujęciem problematyki badawczej oraz imponującym zakresem zastosowanych metod instrumentalnych.

Rezultaty badań, opublikowane w prestiżowych czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym, potwierdzają wysoki poziom merytoryczny rozprawy oraz jej potencjał aplikacyjny w obszarze technologii wyświetlaczy i źródeł światła nowej generacji. Na wartość dysertacji wskazują ponadto: wysoka jakość opracowania, przejrzystość i logiczna struktura wywodu, staranna dokumentacja graficzna oraz umiejętność krytycznej interpretacji uzyskanych wyników. Mając powyższe na uwadze, **rekomenduję przyznanie rozprawie wyróżnienia**.

Z poważaniem,

dr hab. Agnieszka Chylewska, profesor uczelni