



Dr hab. Anna Migalska-Zalas  
Wydział Nauk Ścisłych, Przyrodniczych i Technicznych  
Katedra Fizyki Doświadczalnej i Stosowanej  
Uniwersytet Jana Długosza w Częstochowie

Częstochowa, 14-11-2023

Recenzja rozprawy doktorskiej Pani **mgr inż. Martyny Janeczko** pod tytułem „Wpływ agregacji wybranych barwników organicznych na właściwości luminescencyjne i emisję światła laserowego” wykonanej pod kierunkiem promotora prof. dr hab. inż. Jarosława Myśliwca oraz dr hab. Joanny Cybińskiej, która w ocenianym przewodzie pełniła rolę drugiego promotora.

W obecnie dynamicznie rozwijającym świecie nauki i technologii, interdyscyplinarne podejście staje się kluczowym elementem postępu. Tematyka przedstawionej do recenzji pracy stanowi efekt współpracy naukowej pomiędzy prestiżowymi ośrodkami badawczymi. Praca ta jest owocem udziału w projekcie BioTechNan - Programie Interdyscyplinarnych Środowiskowych Studiów Doktoranckich KNOW, realizowanym przy współpracy dwóch instytucji: Instytutu Materiałów Zaawansowanych na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej oraz Zakładu Chemii Analitycznej Wydziału Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego. Ponadto, eksperymenty przeprowadzono w Laboratorium MOLTECH Anjou na Uniwersytecie w Angers we Francji, co dodaje pracy międzynarodowego wymiaru. Praca doktorska skupia się na zjawisku agregacji barwników luminescencyjnych w różnych matrycach oraz roztworach. Co czyni tę rozprawę wyjątkową, to zastosowanie innowacyjnej metody charakterystyki do opisu agregatów barwników i ich własności, która cechuje się wyjątkową czułością w porównaniu do tradycyjnych metod. Autorka pracy sięgnęła po zjawisko wzmacniania światła, szczególnie koncentrując się na wzmocnionej emisji spontanicznej i laserowaniu randomicznym, jak również na wzmocnieniu w rezonatorach kulistych typu WGM.

W ramach badań, przeprowadzonych we współpracy z Zakładem Chemii Analitycznej na Uniwersytecie Wrocławskim, skupiono się na związkach cyjanin, pochodnych diketo-pirolu-pirolu (DPP) oraz Rodaminy 6G (Rh6G). Związki te, ze względu na ich powszechnie znane zdolności do agregacji, stanowiły doskonały obiekt analizy. Badania obejmowały wpływ różnych czynników na kondensację barwników, a także różne metody wytwarzania skupisk cząsteczek. Podstawowe właściwości spektroskopowe, takie jak absorpcja i emisja, zostały dokładnie scharakteryzowane zarówno dla cienkich warstw, jak i roztworów. Nie bez znaczenia jest również badanie zdolności cyjanin do wzmacniania światła w roztworach o różnej polarności. Przeprowadzono również analizę nieliniowych właściwości optycznych agregatów pochodnych cyjanin. Eksperymenty z wykorzystaniem generacji trzeciej harmonicznej światła (THG) pozwoliły na dodatkową charakterystykę układów z barwnikiem w formie zagregowanej.

Praca ta stanowi nie tylko krok naprzód w dziedzinie inżynierii materiałowej, ale także wzbogaca naszą wiedzę na temat właściwości luminescencyjnych barwników, wzmacniania



światła, oraz ich zastosowań w różnych matrycach. Jest to istotny wkład w rozwój nauki, który inspiruje do dalszych badań i eksploracji nieznanymi obszarami w fascynującym świecie światła i barw.

Na podstawie badań literaturowych doktorantka stwierdziła, iż sposób wytwarzania efektywnych materiałów opartych na agregatach barwników należy do nurtu dziedziny ciągle rozwijającej się. Doktorantka mając świadomość trudności w opracowaniu metod pozwalających na sterowanie i kontrolowanie procesem agregacji w celu wytworzenia materiałów o pożądanymi właściwościami sformułowała hipotezy swojej pracy doktorskiej w następujący sposób:

*Wykorzystując właściwości barwników organicznych możliwe jest kontrolowanie procesu ich agregacji za pomocą czynników zewnętrznych, takich jak zmiana stężenia, zmiana otoczenia lub wykorzystanie czynników kompleksujących. Zjawisko wzmacniania światła może zostać wykorzystane jako metoda charakteryzacji barwników pod kątem analizy ich zagregowanej formy. Wybrane agregaty barwników organicznych są zdolne do wzmacniania światła, a proces ich organizacji wpływa na właściwości emisyjne.*

Uważam, że postawione przez doktorantkę hipotezy pracy są spójne z tytułem i zasadne.

Struktura pracy jest zgodna ze standardami i wymaganiami stawianymi pracom doktorskim. Referencje zawierają najważniejsze informacje dotyczące rozwoju badanej dziedziny. Autorka wykorzystwała odpowiednią liczbę źródeł literatury użytych i przytoczonych w pracy doktorskiej. Zasadnicza część recenzowanej dysertacji obejmuje 122 strony i jest podzielona na 8 rozdziałów, które obejmują opisy zjawisk spektroskopii, agregacji barwników, wzmacniania światła, optyki nieliniowej, materiałów i metod badawczych, wyników eksperymentalnych, aplikacji oraz wniosków i perspektyw badań. Dysertacja poprzedzona jest spisem akronimów. Bibliografia została zamieszczona na końcu pracy. Tabele i rysunki są czytelne i dobrze opisane. To świadczy o głębokiej wiedzy teoretycznej autorki pracy i bardzo dobrej orientacji w stosowanych obecnie technikach spektroskopowych w aspekcie studiowanych w pracy właściwościach.

W rozdziale pierwszym doktorantka omawia podstawowe zjawiska spektroskopowe, umożliwiające zrozumienie mechanizmów opisanych w dalszych częściach pracy. Rozpoczyna się od przedstawienia diagramu Jabłońskiego, który ilustruje procesy radiacyjne i nieradiacyjne w układzie po zaabsorbowaniu przez molekułę kwantu energii promieniowania elektromagnetycznego. Przedstawia także opis zjawiska absorpcji, relaksacji wibracyjnej, konwersji wewnętrznej, przejścia międzysystemowego, fluorescencji i fosforescencji. W dalszej części rozdziału omawia wpływ polarności rozpuszczalników na badania barwników w postaci roztworów. Przedstawia prawdopodobne zachowanie cząsteczki po absorpcji promieniowania elektromagnetycznego w rozpuszczalnikach o różnej polarności za pomocą diagramu Jabłońskiego. Autorka zwraca uwagę iż wpływ polarności rozpuszczalnika na emisję fluorescencyjną jest szczególnie istotny dla fluoroforów o budowie polarnej. Rozdział kończy



podaniem informacji na temat wpływu współczynnika załamania światła na przesunięcie batochromowe.

**Rozdział drugi** jest przeglądem procesów związanych z agregacją barwników organicznych. Autorka analizuje różne rodzaje agregacji, skupiając się na konkretnych grupach barwników, takich: jak pochodne jodkowe cyjaniny, rodaminie 6G oraz związków z grupy diketo-pirol-pirolu. Jednym z mocnych punktów tego rozdziału jest jego klarowna struktura. Autorka rozpoczyna od wprowadzenia do pojęcia agregacji barwników organicznych, wyjaśniając, jak zmiany w strukturze molekuł wpływają na ich właściwości optyczne. Następnie przechodzi do analizy różnych typów agregacji, takich jak agregaty typu H i J, a także agregaty wyższego rzędu, co pozwala czytelnikowi zrozumieć złożoność tego zjawiska. Szczegółowe omówienie trzech różnych grup barwników sprawia, że czytelnik może zyskać głębsze zrozumienie różnic między nimi i zależności między ich strukturą a zachowaniem fluorescencyjnym. Dodatkowo, autorka przejrzysto przedstawia różne czynniki wpływające na proces agregacji, takie jak stężenie barwnika, polarność rozpuszczalnika czy rodzaj matrycy, co stanowi istotne informacje dla badaczy pracujących w tej dziedzinie. Ponadto, wykorzystanie schematów i ilustracji ułatwia czytelnikowi zrozumienie złożonych koncepcji związanych z poziomami energetycznymi i ułożeniem molekuł w agregatach. **Jednym z obszarów, który mógłby zostać bardziej rozwinięty, jest praktyczne zastosowanie opisanych procesów w konkretnych technologiach lub dziedzinach nauki. Podsumowując, rozdział 2 stanowi wartościowe źródło informacji na temat agregacji barwników organicznych.**

**Rozdział trzeci** przybliży czytelnikowi złożony opis procesu wzmacniania światła, obejmując zarówno lokalizację Andersona, jak i rozpraszanie światła na różnych strukturach. W rozdziale tym autorka szczegółowo opisała zasadę działania lasera, zaczynając od wyjaśnienia zjawisk emisji spontanicznej i wymuszonej a także kluczowych elementów umożliwiających generację światła laserowego. W sekcji 3.4 prezentowane jest pojęcie laserowania randomicznego, które polega na wykorzystaniu wielokrotnego rozpraszania fali elektromagnetycznej w materiale. Autorka zwraca uwagę iż laserowanie randomiczne może występować dla wielu postaci materiałów w tym również dla badanych w pracy cienkich warstw bez dodatku centrów rozpraszających. W sekcji 3.5 tego rozdziału przedstawiono rezonatory typu WGM (modów galerii szeptów) jako prostsze alternatywy dla konwencjonalnych rezonatorów. Struktury kuliste lub cylindryczne działające jako rezonatory WGM umożliwiają wzmacnianie światła w małych strukturach. Wzory (3.19) i (3.20) opisują warunki rezonansu w tych rezonatorach, a współczynnik dobroci Q jest istotnym parametrem. Rozdział 3.6 skupia się na wzmacnianiu światła w barwnikach organicznych, szczególnie tych używanych jako medium aktywne w laserach. Barwniki te powinny charakteryzować się wysokimi wydajnościami kwantowymi, stabilnością fotochemiczną i krótkimi czasami życia. Omówiono różne grupy barwników, takie jak ksantenowe, kumaryny i cyjaniny, oraz ich potencjalne zastosowania do wzmacniania światła w cienkich warstwach polimerowych. Wprowadzone teorie i zjawiska są szczegółowo wyjaśnione, co stanowi wartościowe źródło informacji dla czytelników zainteresowanych tą dziedziną.



**Czwarty rozdział** wprowadza w optykę nieliniową, ze szczególnym uwzględnieniem generacji trzeciej harmonicznej światła. Rozdział przedstawia ośrodki nieliniowe, które charakteryzują się odpowiedzią nieliniową poprzez zmianę polaryzacji światła co zostało zaprezentowane na wykresie. Opisem matematycznym zjawisk nieliniowych jest równanie zawierające szereg członów o wzrastających potęgach, w pracy jest to równanie 4.7. Całe równanie jest rozwinięciem pierwszego w szereg Taylora. **Wyraża ono polaryzację P (a nie polaryzowalność) indukowaną w jednostce objętości przez elektryczne E. Warto w tym rozdziale byłoby dodać drugie równanie opisujące efekty nieliniowe na poziomie molekularnym, które wiąże moment dipolowy molekuly p z polaryzowalnością liniową  $\alpha$ , hiperpolaryzowalnością optyczną pierwszego rzędu  $\beta$ , hiperpolaryzowalnością optyczną drugiego rzędu  $\gamma$ . Brakuje w tym rozdziale zarysowania ważności badań nieliniowych dla tej pracy. Można by było również wspomnieć o ważnym zjawisku nieliniowym jakim jest generacja drugiej harmonicznej światła.** Podsumowując, rozdział 4 stanowi wprowadzenie do optyki nieliniowej, prezentując kluczowe równania, procesy nieliniowe i ich zastosowania w różnych materiałach.

**Rozdział piąty** przedstawia charakterystykę materiałów, metody oraz techniki eksperymentalne. W rozdziale tym doktorantka opisała struktury badanych barwników z trzech różnych grup: cyjaninowych, ksantenowych i pirolo-pirolowych. Pochodne cyjanin są szeroko stosowanymi fluoroforami, charakteryzującymi się różnymi właściwościami, takimi jak fluorescencja w zakresie od UV do IR, dobra rozpuszczalność w rozpuszczalnikach organicznych i w roztworach wodnych, a także możliwość modyfikacji poprzez dodawanie różnych grup funkcyjnych. Dodatkowo, rozdział zawiera optymalizację struktury kationu C1, obliczenia drgań normalnych w stanie podstawowym oraz obliczenia widm elektronowych w stanie wzbudzonym. Wyniki badań obejmują energie wzbudzenia, długości fal absorpcji, siłę oscylacji, orbitale HOMO i LUMO, a także zoptymalizowane struktury dimerów kationu C1. Następnie doktorantka opisała strukturę związku opartego na barwnikach ksantenowych - Rodaminy 6G oraz dwa związki oparte na grupie pirolo piroli: BN-heteroaceny na bazie pirolo[3,2-b] piroli (BNPP). Podała szczegóły mierzenia absorpcji i emisji spontanicznej w badanych barwnikach, preparatyki cienkich warstw oraz roztworów zarówno do badań własności nieliniowych jak i pomiarów wzmacniania światła. Dodatkowo opisała szczegóły wytwarzania H- agregatów oraz rezonatorów kulistych. Rozdział kończy się szczegółowym opisem schematu układu do pomiarów wzmacniania światła oraz układu do pomiarów własności nieliniowych trzeciego rzędu w cienkich warstwach. Otrzymane wyniki dostarczają informacji o potencjalnych zastosowaniach badanych cyjanin oraz ich właściwościach fizyczno-chemicznych. **Badane materiały wykazują się dobrą rozpuszczalnością w różnych roztworach. Czy do wytworzenia agregatów próbowano wykorzystać rozpuszczalniki niepolarne?**

**Szósty rozdział** stanowi wprowadzenie do drugiej części dysertacji, w której doktorantka prezentuje wyniki swoich badań dla pochodnych jodkowych cyjanin. W sekcji 6.1 przedstawia wyniki i dyskusję dotyczącą widm absorpcji i emisji. Uzyskane widma zostały poprawnie zinterpretowane pod kątem przesuwania się maksimum absorpcji w zależności od polarności rozpuszczalników. Badania te dostarczyły również informacji na temat szerokości połowkowych



i całek intensywności zarówno dla widm absorpcji jak i emisji. Analiza intensywności pasm odpowiadających monomerom i agregatom pozwoliła wysnuć wniosek iż wraz ze wzrostem wielkości molekuly czyli wydłużeniem podstawnika R, rośnie zdolność do agregacji. Co ma bezpośrednie przełożenie na uzyskane wartości wydajności kwantowych dla poszczególnych związków rozpuszczonych w trzech rozpatrywanych rozpuszczalnikach. Niska wydajność kwantowa może oznaczać konieczność większej ilości energii do uzyskania laserowania. Największą wydajność kwantową uzyskano dla barwnika C3 posiadającego najdłuższy podstawnik R. Poza tym zauważono wyraźny spadek wydajności kwantowej wraz ze wzrostem polarności rozpuszczalnika dla tego związku. Dla pozostałych związków nie zaobserwowano takiej zależności.

W sekcji 6.2 przedstawiono wyniki pomiarów wzmacniania światła kompozytów cząsteczkowych utworzonych z dwóch faz: rolę osnowy pełniła matryca polimerowa PMMA, natomiast fazy rozproszonej pochodne jodkowe cyjanin w roli rezonatorów. Dla każdej pochodnej (C1, C2, C3) przedstawiono analizę widm emisji, z uwzględnieniem zmian w zależności od stężenia barwnika. Autorka potwierdziła istnienie formy zagregowanej w widmach spektroskopowych barwników cyjaninowych, co jest szeroko znane w literaturze. Zauważono, że pochodne C2 i C3 wykazywały dużą zdolność do samoagregacji już przy najmniejszym używanym stężeniu, co jest istotnym aspektem w kontekście ich zastosowania. Uzyskane widma laserowania randomicznego były zależne zarówno od struktury badanych związków jak i stężenia wagowego. Autorka dochodzi do wniosku iż kontrolowanie tych parametrów pozwala na sterowanie długością fali emisji. Niezwykle istotne z punktu widzenia tematyki podjętej w pracy było wyznaczenie progów laserowania dla różnych form emisji, takich jak pasmo monomeru i pasmo zagregowane. Wartości progów laserowania były różne dla różnych pochodnych jodkowych cyjanin i różnych form emisji (monomerowej vs. zagregowanej). W praktyce, przekroczenie tych progów oznacza, że materiał staje się aktywny laserowo, emitując spójne światło. Agregaty w zasadzie powinny prowadzić do obniżania tych progów. Taka zależność została potwierdzona dla mniejszych stężeń, w których były obserwowane obie formy. Zauważono zwiększenie progów laserowania dla barwnika o najdłuższym podstawniku butylowym (C3) w stosunku do barwnika z podstawnikiem etylowym (C2) mimo iż dla tego związku uzyskano najwyższą wydajność kwantową. W miarę zwiększania się stężenia barwnika, może być konieczne dostarczenie większej ilości energii, aby uzyskać emisję laserową.

**Na wykresach prezentujących progi laserowania randomicznego, widać że wartości gęstości energii są bardzo duże (powyżej 20-30 mJ/cm<sup>2</sup>). Podczas gdy wartości te dla typowych barwników laserowych są zazwyczaj co najmniej o jeden rząd mniejsze. Proszę o komentarz do tych wyników.**

Przetestowano również cienkie warstwy z optymalnym stężeniem 2% pod kątem generacji trzeciej harmonicznej światła. Były to próbki zawierające agregaty typu J. Uzyskane rezultaty wyraźnie wskazują na zmniejszanie wartości podatności trzeciego rzędu wraz ze wzrostem ilości agregatów. Zatem technika ta może być również przydatna do analizy zawartości agregatów. **Autorka podaje wyjaśnienie iż ze wzrostem momentu dipolowego wartość generacji trzeciej harmonicznej rośnie. Zwykle jest odwrotnie. Chociaż w tym przypadku większy moment dipolowy cząsteczki może mieć wpływ na tworzenie się**



agregatów. W mojej opinii właściwym byłoby zamieszczenie w pracy wartości momentów dipolowych dla badanych molekuł uzyskanych np. z obliczeń kwantowo-chemicznych co pozwoliło by znaleźć korelację pomiędzy tymi wielkościami.

Dwa ostatnie podrozdziały dotyczą pomiarów zjawiska wzmocnionej emisji spontanicznej roztworów barwników w różnych rozpuszczalnikach. Badania te dostarczyły informacji dotyczących zależności formowania się agregatów od polarności cząsteczki i rozpuszczalnika. Autorka stwierdza iż wzrost polarności cząsteczki cyjaniny prowadzi do większej agregacji wraz ze wzrostem polarności rozpuszczalnika. Co umożliwia kontrolowanie formy monomerowej lub zagregowanej za pomocą rozpuszczalnika. Ponad to wyniki uzyskane dla barwika C3 sugerują iż może on służyć jako wyznacznik polarności rozpuszczalnika przy zastosowaniu jednej długości fali, co upraszcza eksperymenty i analizę wyników. Wartości długości fali emisji spontanicznej barwnika C3 ulegają skróceniu wraz ze wzrostem polarności rozpuszczalnika. Ta zależność jest obserwowana również dla fluorescencji. To odkrycie jest ważne, ponieważ umożliwia precyzyjne określanie polarności rozpuszczalników na podstawie analizy widm emisji barwnika C3 co otwiera potencjalne zastosowania w dziedzinie analizy chemicznej i badaniach właściwości fizykochemicznych różnych substancji. **W pracy zamieszczono kolorowe zdjęcia roztworów barwników. Na rysunku 6.4.5 pojawiły się dodatkowe opisy, których na zdjęciu nie widać.** W ostatnim podrozdziale 6.5 przeanalizowano zjawisko formowania się agregatów nieemisyjnych w roztworach wodnych pochodnej jodkowej z dodatkiem soli KI. **Wyniki zaprezentowano na wykresie (Rysunek 6.5.1). Podpis sugeruje że dane dotyczą barwnika C1 choć z opisu oraz tytułu rozdziału wynika że powinny być dla C2.** Autorka w tym rozdziale wspomina o wykonaniu pomiarów drugiej harmonicznej światła ale nie podaje rezultatów jakie uzyskała.

Cyjaniny to bardzo trudne w badaniach (obliczeniach) związki, ze względu chociażby na wielkość cząsteczek. Czy nie można było zastosować innych barwników (prostszych w budowie), żeby pokazać możliwość wykorzystania generacji akcji laserowej do identyfikacji agregacji i jej rodzaju? Przy okazji pojawia się pytanie, na ile ta metoda jest uniwersalna?

W rozdziale siódmym autorka przedstawiła badania dwóch pochodnych na bazie pirolopiroli pod kątem zdolności do emisji światła niebieskiego przy użyciu laserowania randomicznego. Do wzbudzenia cienkich warstw polimerowych PMMA z różną zawartością domieszek (1%, 2%, 3%) użyto trzeciej harmonicznej lasera Nd:Yag o długości fali  $\lambda=355$  nm. Wszystkie próbki umieszczone pod lampą UV wykazywały emisje światła niebieskiego co zostało zaprezentowane na kolorowych zdjęciach próbek. Analiza wyników uwzględniających widma laserowania, progi laserowania randomicznego wykazała iż badane związki można potraktować jako przezroczyste materiały do emisji światła niebieskiego. Co jest dużym osiągnięciem ze względu na to iż proces tworzenia materiałów emitujących światło niebieskie do laserowania może być trudniejszy niż w przypadku innych kolorów ze względu na pewne wyzwania technologiczne i fizyczne. Materiały, które emitują światło w zakresie niebieskim, mogą być mniej stabilne lub trudniejsze do kontrolowania w procesie produkcji. Mimo tych wyzwań, możliwe jest stopniowe pokonywanie trudności związanych z tworzeniem laserów emitujących światło niebieskie co zostało pokazane w tej pracy.



**Jednym z wyzwań jest stabilność i trwałość materiałów emitujących światło niebieskie stąd moje pytanie: jaka była fotostabilność laserowania dla pirolo piroli?**

W rozdziale ósmym autorka koncentrując się nad wytworzeniem stabilnych proszków barwników w formie zagregowanej, zwłaszcza dla barwnika Rh6G, co stanowi ważny krok w dziedzinie materiałoznawstwa i nanotechnologii. Część wyników, które znajdują się w niniejszym rozdziale, zostało opublikowane w dwóch czasopismach z wysokim IF - 3,868. Wyniki eksperymentów potwierdzają, że możliwe jest uzyskanie struktur, które nie tylko utrzymują swoją stabilność w czasie, ale także nie ulegają zmianom w swoim ułożeniu podczas rozpuszczania w zewnętrznej matrycy. Przyjęta metoda badawcza umożliwiła potencjalne otrzymywanie gotowych agregatów barwnika bez konieczności stosowania dodatkowych, czasochłonnych metod. Osiągnięte wyniki wskazują na potencjał szerokiego zastosowania tych struktur, a jednocześnie otwierają drzwi do dalszych, bardziej precyzyjnych badań nad optymalizacją tej innowacyjnej metody. **Rysunki (Rys. 8.1.1 oraz 8.1.2 ) umieszczone w tym rozdziale mają oznaczenia w języku angielskim, właściwym byłoby zastąpienie ich polskimi odpowiednikami.**

W rozdziale tym przedstawiono również fascynujące wyniki dotyczące otrzymywania struktur kulistych z wykorzystaniem materiałów biologicznych, takich jak skrobia i olej słonecznikowy, z domieszką barwników laserowych. Eksperymenty obejmowały wzbudzenie tych struktur za pomocą laserów impulsowych, co skutkowało pojawieniem się charakterystycznych dla laserowania typu WGM (Whispering Gallery Mode) widm emisji, z wyraźnie odseparowanymi modami. Interesujący aspekt badań obejmował uzyskiwanie barwników w formie zagregowanej, w tym dimerów i agregatów wyższego rzędu, w rezonatorach kulistych. Warto zauważyć, że badania te rzucają nowe światło na potencjalne wykorzystanie kulistych rezonatorów biologicznych z domieszką barwników w postaci agregatów. Dalsze badania nad kontrolą i optymalizacją tego procesu są z pewnością potrzebne, aby w pełni wykorzystać potencjał tych interesujących struktur kulistych w dziedzinie nauki i technologii.

Ostatni, **dziwiaszty rozdział**, podsumowuje uzyskane wyniki, potwierdza postawione na początku pracy hipotezy badawcze i wskazuje możliwe kierunki dalszych badań w tej dziedzinie. Doktorantka wskazuje na konieczność wykonania dodatkowych badań dotyczących procesu agregacji w tym opisu dynamiki procesu agregacji, analizy wpływu temperatury oraz lepkości na formowanie się agregatów i poprawy stabilności uzyskanych materiałów w kontekście ich potencjalnych zastosowań. Badania te mogą przyczynić się do lepszego zrozumienia właściwości optycznych cienkich warstw polimerowych domieszkowanych barwnikami i potencjalne zastosowania w obszarze wzmacniania światła.

Doktorantka podczas redagowania tekstu nie ustrzegła się dość licznych błędów zarówno edytorskich jak i błędów dotyczących braku spójności wyrażanych myśli, co momentami utrudniało zrozumienie pracy. W pracy brak jest takich elementów jak spis tabel i rysunków, które powinny stanowić integralną część pracy. Tekst dysertacji mimo pewnych niedoskonałości i kilku uwag krytycznych, całościowo oceniam pozytywnie. Stosowana



terminologia jest poprawna i adekwatna. Należy podkreślić, że wyniki badań uzyskane w trakcie realizacji pracy doktorskiej zostały opublikowane w postaci artykułów. Autorka pracy jest współautorem 3 publikacji naukowych, które ukazały się w renomowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym i posiadających impact faktor w zakresie od 3,868 do 3,9 oraz 1 publikacji przesłanej do redakcji czasopisma i znajdującej się w fazie recenzji. Warto zaznaczyć, że wyniki jej badań zostały zaprezentowane na 2 konferencjach międzynarodowych, co znacząco podnosi wartość niniejszej pracy. Autorka pracy brała również udział w trzech projektach badawczych pozyskanych z NCN takich jak: SONATA 12, POLONEZ 3, jak również była kierownikiem projektu Preludium 20. Odbyła staże naukowe na Uniwersytecie Angers we Francji, w prestiżowym laboratorium Fotoniki - Photonics Laboratory of Angers (LPhIA), SFR MATRIX dwukrotnie, pod opieką Prof. Bouchta SAHRAOUI, oraz w Texas A&M University w Doha w Katarze pod opieką Prof. Wiesława Królikowskiego.

Konkludując należy zaznaczyć, iż praca jest inspirująca z metodologicznego punktu widzenia. Cele i metody są klarownie przedstawione, a autorka wykazuje się zrozumieniem idei i wiedzy, wspierając to odpowiednim tłem teoretycznym. Osiągnięcie celów pracy jest dobrze udokumentowane, a metody naukowe są adekwatne do wyznaczonych celów, przy równoczesnym poprawnym sformułowaniu hipotez. Problem badawczy jest wyraźnie wyeksponowany, co świadczy o pełnym zrozumieniu tematu przez autorkę. Wyniki są oryginalne, zrozumiałe koncepcyjnie, praktycznie istotne i poprawnie interpretowane w ramach istniejących modeli. Cel pracy został osiągnięty a hipotezy potwierdzone. Pracę doktorską Pani mgr inż. Martyny Janeczko oceniam pozytywnie.

Biorąc pod uwagę wielostronność przeprowadzonych badań eksperymentalnych, precyzję analizy danych doświadczalnych, oraz praktyczną wartość uzyskanych wyników, wyrażam przekonanie, że praca doktorska Pani mgr inż. Martyny Janeczko jest niezwykle wartościowa i spełnia wszystkie stawiane wymogi dla prac doktorskich określonych w artykule 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r. poz. 742 z późn. Zm.) nr 65 poz.595 z późniejszymi zmianami). Na podstawie przedstawionej rozprawy wnioskuję o dopuszczenie Pani mgr inż. Martyny Janeczko do publicznej obrony doktoratu.

*Anna Migalska-Zaloz*