



Wyb. Wyspiańskiego 27

50-370 Wrocław

**Sekretariat:**

budynek A-2 p.121

Tel:

Prof. dr hab. inż. Stanisław Bartkiewicz

Wrocław, 28 sierpnia 2026r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Dariusza Chomickiego zatytułowanej  
„Polimery metakrylowe zawierające barwniki azowe oparte na chinolinie do zastosowań  
w fotonice i optyce nieliniowej”

## 1. Uwagi wstępne

Przedstawiona rozprawa została wykonana na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, pod opieką naukową dr hab. Beaty Derkowskiej-Zielińskiej, prof. UMK oraz dr Roberta Czaplickiego.

Rozprawa zawarta jest na 167 stronach i składa się z pięciu rozdziałów. Układ pracy jest klasyczny i obejmuje: wstęp teoretyczny, opis badanych materiałów, przedstawienie zastosowanych technik eksperymentalnych, wyniki pomiarów wraz z dyskusją oraz podsumowanie. W końcowej części znajduje się spis literatury oraz dorobek naukowy Doktoranta.

Opisane badania mają charakter eksperymentalny i wnoszą znaczny wkład w rozwój inżynierii materiałowej w obszarze fotoniki. Celem pracy jest charakterystyka jednej rodziny kopolimerów metakrylowych podstawionych barwnikami azowymi. Doktorant postawił przed sobą bardzo ambitne zadanie, znalezienia zależności pomiędzy strukturą materiału a jego właściwościami fonicznymi oraz nieliniowymi własnościami optycznymi. Konkluzją prowadzonych badań powinny być wnioski dotyczące projektowania nowych materiałów dla celów optycznego przetwarzania informacji.

## 2. Ocena struktury i zawartości rozprawy.

Ta część recenzji dokonuje analizy pracy Doktoranta i nie wymaga odpowiedzi na zawarte niżej stwierdzenia. Zauważone nieścisłości i błędy są jedynie sugestią dla Autora skłaniającą



do pogłębionych studiów i dokładniejszej analizy w przyszłych badaniach naukowych. Lista zagadnień obligujących do odpowiedzi, zostanie przedstawiona w punkcie 3 recenzji.

Jak wspomniano, praca została podzielona na bloki opisujące poszczególne zagadnienia. W pierwszym rozdziale zatytułowanym „Wybrane zjawiska fizyczne” zestawiono teoretyczne podstawy zjawisk optycznych obejmujące: fale elektromagnetyczne w próżni i w ośrodku liniowym (nie określono, względem czego), scharakteryzowano wiązkę gaussowską, opisano przejścia elektronowe i absorpcję liniową. Następnie podano właściwości azobenzenów ze szczególnym naciskiem na zjawiska fotochemiczne i kinetykę izomeryzacji. Dalsza część tego rozdziału to opis wybranych procesów optycznych: interferencji i dyfrakcji, optyki nieliniowej oraz omówienie efektu Z-skan. W założeniu, ta część pracy powinna nakreślić podstawy wykorzystanych w pomiarach zjawisk i opisać obszar badań od strony teoretycznej. Autor dość precyzyjnie wymienia niezbędne wzory, dokonuje analizy procesów i zakreśla ramy obszarów badawczych. To wprowadzenie, chociaż w ograniczonym stopniu, umożliwia zrozumienie założeń przyjętych przez Doktoranta.

Drugi rozdział Rozprawy zawiera charakterystykę materiałów. Autor wychodzi z ogólnego opisu polimerów i molekuł fotochromowych, by finalnie skupić się na rodzinie badanych materiałów. Dobór polimeru oraz barwników są prawidłowe. Zdecydowano się zastosować różne typy podstawników modyfikujących struktury, co powinno zapewnić uzyskanie kopolimerów o różnych właściwościach fizykochemicznych. Zastosowany polimer jest optymalny do zastosowań optycznych (ze względu na swoje właściwości określany jest mianem „szkła akrylowego”). W opisie tej części zabrakło chociaż skrótowej informacji o metodach syntezy barwników a także o autorze tego procesu. Nie podano też danych dotyczących czystości związków. Dla łatwiejszej analizy wyników korzystne byłoby też umieszczenie, chociaż na jednej stronie, wzorów strukturalnych wszystkich chromoforów, gdyż wielokrotne odwoływanie się poprzez akronimy do danych z Tabeli 1 na stronie 73 jest dość uciążliwe.

W trzecim rozdziale Autor opisuje zastosowane techniki eksperymentalne. Ta część jest spójna i dobrze zestawiona. Przedstawione stanowiska zawierają nazwy i podstawowe parametry zastosowanej aparatury. Schematy są czytelne i starannie narysowane. W kilku miejscach zabrakło szczegółów niezbędnych do oceny poprawności wyników, co poruszono w dalszej części recenzji.



Czwarty rozdział jest sednem rozprawy, gdyż zawiera opis uzyskanych wyników i ich analizę. Ta część pokazuje drogę Doktoranta do uzyskania zamierzonego celu. Wykresy są poprawnie opracowane, tabele zawierają zestawienia najważniejszych parametrów. Wnioski wyciągane z uzyskanych danych są słuszne, chociaż momentami brakuje pogłębionej analizy, np. w odniesieniu do oddziaływania wielu siatek zapisanych w materiale. Ostatni podrozdział tej części zawiera opis pomiarów właściwości nieliniowych optycznie w badanej rodzinie kopolimerów. Niestety ta część nie koresponduje z pozostałymi pomiarami z kilku powodów: w tych technikach zastosowano próbki w postaci roztworów kilku kopolimerów w tetrahydrofuranie (podczas gdy wcześniej analizowano warstwy otrzymane metodą wirowania), mierzono właściwości nieliniowe kopolimerów i porównywano je z parametrami „prostych pochodnych azobenzenów” (przekroje czynne), nie przedstawiono żadnego poparcia dla założeń o dwufotonowej fotoizomeryzacji. Co więcej, w tej części brak solidnej analizy uzyskanych wyników, brak także wyjaśnienia dlaczego wybrane kopolimery z chromoforami miałyby wykazywać interesujące właściwości nieliniowe optycznie. Ta część Rozprawy raczej obniża jej ogólną wartość merytoryczną i wpływa na wniosek, że badania naukowe należy rozważnie planować. W pytaniach do dyskusji pojawi się ten temat powtórnie.

Ostatnia część pracy zawiera podsumowanie i zestawienie literatury. Dobór źródeł jest poprawny i obszerny (246 pozycji), chociaż zabrakło odwołania do najnowszych publikacji, co prawdopodobnie wynika z długiego procesu publikacyjnego Doktoranta.

Rozprawa pod względem edytorskim jest bardzo dobrze opracowana. Rysunki są czytelne, tabele spójne i przejrzyste. Wzory fizyczne czasami podawane są z dużym uproszczeniem, co może wynikać z obszerności tematyki. Może należało skupić się na najważniejszych zależnościach i przeprowadzić proces analizy od początku do końca, a nie np. wymieniać równania Maxwella, które jakkolwiek istotne, nie wnoszą nowości do dyskusji naukowej. W pracy brakuje analizy zespolonego współczynnika załamania światła, ogólnego równania kinetyki procesów czy sprzęgania wielu siatek w ośrodku. Niewątpliwie dodanie tych zależności uczyniłoby opis badań klarowniejszym i bardziej spójnym.

Tekst opracowania jest napisany poprawnym, polskim językiem, bez obcych wtrąceń, co zdarza się rzadko i zasługuje na uznanie. W kilku miejscach zdarzają się błędy lub pomyłki, ale nie wpływają one na ogólną, dobrą ocenę pracy.



### 3. Lista zagadnień do wyjaśnienia.

Obowiązkiem Recenzenta jest wskazanie w Rozprawie doktorskiej punktów, które powinny być wyjaśnione przez Doktoranta, najkorzystniej podczas publicznej obrony, przed nadaniem stopnia doktora. Proszę by Doktorant odniósł się do poniższych uwag.

- A) W części teoretycznej Rozprawy, w rozdziale 1.5.2 na stronach 25-27 opisano proces fotoizomeryzacji i izomeryzacji termicznej azobenzenu w ujęciu kinetycznym. Proszę o wyjaśnienie zastosowanych założeń dla wzoru (26). Czy równanie (26) opisuje reakcję pierwszego rzędu, czy dopiero równanie (28)? Czy parametr  $p$  to szybkość, czy stała szybkości izomeryzacji? Czy wartość  $I$  czyli intensywność promieniowania jest stała dla całej próbki?
- B) Proszę wyjaśnić założenia z Rozprawy dotyczące efektywności tworzenia siatek dyfrakcyjnych, szczególnie w stwierdzeniach „Efektywność zapisu siatek jest największa przy kącie między wiązkami równym około  $15^\circ$  i maleje wraz ze zwiększaniem lub zmniejszaniem kąta [64]” (str. 48) i „Efektywność formowania siatki rośnie wraz z zawartością chromoforu do wartości około 70-80% masy i spada powyżej tej wartości [108].” (str. 50). Czy przytoczone zależności można uogólniać na wszystkie badane układy i warunki eksperymentalne?
- C) Czy znane są Doktorantowi prace opisujące tworzenie struktur periodycznych przy oświetlaniu materiału jedną wiązką światła, np. charakteryzujące polimery przez „Single beam test (SBT)”? Jakie ograniczenia materiałowe i sprzętowe są najistotniejsze w przypadku tworzenia struktur periodycznych w polimerach?
- D) W pracy zabrakło szczegółowego omówienia technik eksperymentalnych. Proszę wyjaśnić najważniejsze wątpliwości: Jakiej lampy użyto do eksperymentów fotochromowych (typ, natężenie światła dla poszczególnych linii widmowych)? Jak przeprowadzono eksperymenty fotoizomeryzacji (pomiar jasnych kinetyk)?
- E) Absorbancja na wszystkich wykresach jest wielkością bezwymiarową. Czy taki opis jest poprawny?
- F) Czy dokonano pomiarów absorpcji chromoforów przed podstawieniem do polimeru? Jakie były różnice w widmach oraz w kinetyce procesów fotochromowych?
- G) W eksperymentach mieszania dwóch fal wykorzystano zapisujący laser o długości fali 532 nm. Proszę omówić czy takie promieniowanie wywołuje zmianę konformacji cząsteczki dla poszczególnych związków? Jeśli tak, to na drodze jakiego mechanizmu



fotchemicznego zachodzi ten proces? Czy laser odczytujący (632,8 nm) też wpływa na stan układu?

- H) Kinetyka zapisu struktur periodycznych wymaga uzupełnienia. W Rozprawie nie uwzględniono wzajemnego oddziaływania siatek. Czy Doktorantowi znane są prace dotyczące sprzęgania siatek fazowych? Jak zastosowanie sprzęgania wpłynęłoby na wnioski przedstawione w rozdziale 4.3? Proszę dokonać analizy przebiegów z uwzględnieniem procesów sprzęgania dla kopolimerów  $\text{cop-N}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  oraz  $\text{cop-CN}$  (dla przebiegów przedstawionych na Rysunku 46).
- I) Proszę uzasadnić, że dwufotonowa absorpcja wywołuje proces izomeryzacji. Czy Autor dysponuje danymi to potwierdzającymi? Proszę także o wyjaśnienie w jakim celu przeprowadzono pomiary dwufotonowej absorpcji oraz z-skan w odniesieniu do całości pracy.

#### 4. Pozostałe uwagi oraz podsumowanie.

Pan mgr inż. Dariusz Chomicki wykazuje znaczną aktywność konferencyjną. W swoim dorobku ma 9 referatów i 2 prezentacje plakatów. Był wykonawcą w jednym projekcie badawczym - *DGA PRO-IR – PROtection optique en PROfondeur dans le PROche-InfraRouge*”, Ecole Normale Supérieure de Lyon, Francja, 2024. Uczestniczył w 8 krajowych i zagranicznych stażach naukowych. Dorobek publikacyjny Kandydata jest bardzo dobry, gdyż jest współautorem 11 publikacji w indeksowanych czasopiśmie, w tym w 4 jest pierwszym autorem. Te wskaźniki w połączeniu z przedstawioną Rozprawą doktorską świadczą, że Pan Dariusz Chomicki posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie nauk fizycznych oraz wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Wskazane błędy i lista zagadnień do wyjaśnienia nie umniejszają wysokiej oceny pracy, lecz stanowią przyczynek do dyskusji, co potwierdza, że wybrany temat badawczy jest bardzo ważny i rozwojowy.

#### 5. Końcowa konkluzja.

Na podstawie analizy złożonej Rozprawy oraz oceny dorobku naukowego Kandydata, stwierdzam, że Pan mgr inż. Dariusz Chomicki spełnia wymogi stawiane w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 ze zm.).



W związku z powyższym, wnioskuję o przeprowadzenie dalszych czynności w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki fizyczne.

Profesor Stanisław Bartkiewicz