



UNIWERSYTET
MIKOŁAJA KOPERNIKA
W TORUNIU

Wydział Fizyki, Astronomii
i Informatyki Stosowanej

dr hab. Maciej Szkulmowski, prof. UMK

maciej.szkulmowski@fizyka.umk.pl

tel.: 56 611 3213

Toruń, 17 lipca 2026

Recenzja POPRAWIONEJ rozprawy doktorskiej magistra Tomasza Sulińskiego pt. „Badanie interakcji lipidów z powierzchnią i matrycą silikonowo-hydrożelowych soczewek kontaktowych”

Przedstawiona mi do oceny poprawiona wersja pracy doktorskiej mgra Tomasza Sulińskiego dotyczy interakcji lipidów filmu łzowego z materiałami silikonowo-hydrożelowymi (Si-Hy) stosowanymi w miękkich soczewkach kontaktowych. Jest to rozprawa realizowana w ramach doktoratu wdrożeniowego, na podstawie umowy trójstronnej (DWD/5/0424/2021) pomiędzy Autorem, firmą Alcon Polska oraz Uniwersytetem Warszawskim, z finansowym wsparciem Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz Ministerstwa Edukacji i Nauki (umowa 2022/WK/05 dla Polish Euro-BioImaging Node). Praca integruje aspekty laboratoryjne z aplikacyjnymi, oferując metody potencjale do bezpośredniego transferu do praktyki przemysłowej. Charakter wdrożeniowy pracy podkreśla planowane bezpośrednie wykorzystanie w dziale Badań i Rozwoju firmy Alcon Polska zarówno wyników badań, jak i opracowanych przez Autora narzędzi, w tym: metody wizualizacji adhezji i transportu lipidów za pomocą mikroskopii konfokalnej, oceny wpływu aplikacji soczewki na grubość warstwy lipidowej filmu łzowego (LLT) in vivo, symulacji warunków fizjologicznych do pomiaru równowagowej zawartości wody (EWC) in vitro poprzez autorski inkubator CLI.

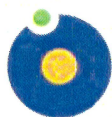
Pierwsza wersja pracy została przeze mnie oceniona pozytywnie i zarekomendowana do dopuszczenia do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Krytyczne uwagi, które pojawiły się w recenzji miały charakter drobnych usterek w zakresie prezentacji wyników i czytelności przekazu. Nie znalazłem poważnych uchybień merytorycznych.

Autor w wyczerpujący sposób odniósł się do moich uwag. Odpowiedzi uważam za w pełni satysfakcjonujące.

Podsumowanie. Po zaznajomieniu się z uzupełnieniami i zmianami wprowadzonymi przez mgra Tomasza Sulińskiego w nowej wersji pracy doktorskiej, stwierdzam, że praca doktorska spełnia warunki określone w art. 186 Ustawy o szkolnictwie wyższym (Dz. U. 2022 poz. 574 z późn. zm.) oraz zawiera wyniki o rzeczywistym potencjale wdrożeniowym. Wnioskuję o dopuszczenie do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Maciej Szkulmowski



dr hab. Maciej Szkulmowski, prof. UMK

maciej.szkulmowski@fizyka.umk.pl

tel.: 56 611 3213

Toruń, 02 stycznia 2026

Recenzja rozprawy doktorskiej magistra Tomasza Sulińskiego pt. „Badanie interakcji lipidów z powierzchnią i matrycą silikonowo-hydrożelowych soczewek kontaktowych”

Przedstawiona praca doktorska mgr Tomasza Sulińskiego dotyczy interakcji lipidów filmu łzowego z materiałami silikonowo-hydrożelowymi (Si-Hy) stosowanymi w miękkich soczewkach kontaktowych. Jest to rozprawa realizowana w ramach doktoratu wdrożeniowego, na podstawie umowy trójstronnej (DWD/5/0424/2021) pomiędzy Autorem, firmą Alcon Polska oraz Uniwersytetem Warszawskim, z finansowym wsparciem Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz Ministerstwa Edukacji i Nauki (umowa 2022/WK/05 dla Polish Euro-BioImaging Node). Praca integruje aspekty laboratoryjne z aplikacyjnymi, oferując metody potencjału do bezpośredniego transferu do praktyki przemysłowej. Charakter wdrożeniowy pracy podkreśla planowane bezpośrednie wykorzystanie w dziale Badań i Rozwoju firmy Alcon Polska zarówno wyników badań, jak i opracowanych przez Autora narzędzi, w tym: metody wizualizacji adhezji i transportu lipidów za pomocą mikroskopii konfokalnej, oceny wpływu aplikacji soczewki na grubość warstwy lipidowej filmu łzowego (LLT) in vivo, symulacji warunków fizjologicznych do pomiaru równowagowej zawartości wody (EWC) in vitro poprzez autorski inkubator CLI.

Tematyka jest istotna ze względu na globalny wzrost wad wzroku i użytkowania soczewek kontaktowych, gdzie interakcje lipidów z Si-Hy wpływają na komfort noszenia, stabilność filmu łzowego i potencjalne komplikacje zdrowotne, takie jak zespół suchego oka. Autor adresuje problemy takie jak brak metod do śledzenia kinetyki osadzania lipidów, niedostateczne zrozumienie zmian LLT po aplikacji soczewki oraz wpływ depozytów lipidowych na EWC w warunkach zbliżonych do fizjologicznych. Te luki w wiedzy, zidentyfikowane w obszernym przeglądzie literatury, mają znaczenie dla optymalizacji materiałów soczewek, strategii pielęgnacyjnych i redukcji dyskomfortu, co przekłada się na poprawę jakości życia użytkowników i innowacje w dziedzinie soczewek kontaktowych. Praca pogłębia wiedzę o tych interakcjach, proponując narzędzia przydatne w screening'u materiałów o zwiększonej odporności na depozycję lipidów.

Ocena układu i treści pracy.

Praca doktorska napisana jest w języku polskim, z angielskim streszczeniem. Liczy 151 stron, podzielonych na 5 rozdziałów głównych, z bogatą bibliografią obejmującą 290 pozycji (strony 135-



151). Dodatkowo zawiera wstępne oświadczenia o realizacji doktoratu wdrożeniowego i finansowaniu, podziękowania (pokazujące wsparcie rodziny, promotora i współpracowników z Alcon oraz Instytutu Nenckiego PAN), spis najważniejszych skrótów i symboli (strona 10), listę publikacji naukowych (strona 12), wprowadzenie (strony 13-14), spis rysunków (131-133), spis tabel (134) oraz bibliografię. Struktura jest logiczna, z częścią teoretyczną w rozdziale I oraz opisem przeprowadzonych badań merytorycznych w rozdziałach kolejnych.

Układ pracy jest czytelny i przemyślany, wprowadzając czytelnika stopniowo w tematykę. Rozdziały wstępne dostarczają niezbędnej wiedzy, a główne rozdziały merytoryczne opisują badania empiryczne z systematycznym schematem: metody, wyniki, dyskusja.

Rozdział I (strony 15-72) stanowi obszerne wprowadzenie, z podziałem na podrozdziały: miękkie soczewki kontaktowe (historia, materiały Si-Hy, parametry jak EWC i Dk/t), fizjologia przedniego odcinka oka (rogówka, spojówka, powieki z gruczołami Meiboma, film łzowy z jego trójwarstwową strukturą), interakcje soczewka-powierzchnia oka (wpływ na rogówkę, spojówkę, powieki, film łzowy, w tym zmiany w stabilności PLTF i TBUT) oraz chronologiczny przegląd osadów lipidowych na i wewnątrz soczewek Si-Hy od lat 70. do 2025, z analizą metod (in vitro, ex vivo, in vivo, np. HPLC, GC/MS) i luk badawczych, takich jak brak badań nad wczesną kinetyką depozycji. Ta część, licząca ponad 30 stron, daje głębokie pojęcie o stanie badań, przewyższając objętością główne rozdziały merytoryczne.

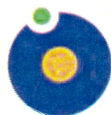
Rozdział II (strony 73-100) rozwija fluorescencyjną mikroskopię konfokalną jako narzędzie do badania interakcji lipidów z soczewkami Si-Hy, podzielony na trzy podrozdziały, które ewolucyjnie budują metodykę od statycznej do dynamicznej analizy. **W pierwszym podrozdziale** autor kalibruje tryb odbiciowy mikroskopii konfokalnej do szybkiej, nieinwazyjnej charakterystyki powierzchni soczewek, pokazując, że intensywność odbitego sygnału zależy nie tylko od współczynnika załamania (n) i zawartości wody, ale przede wszystkim od modyfikacji powierzchniowych, takich jak obróbka plazmowa czy powłoki MPC, co pozwala na rozróżnianie materiałów bez destrukcyjnych testów; wnioski wskazują na potencjalne zastosowanie w kategoryzacji soczewek, choć metoda nie jest w pełni ilościowa. **Drugi podrozdział** skupia się na analizie osadów i dyfuzji cholesterolu znakowanego fluorescencyjnie (NBD-CHL) po inkubacji w roztworach, z rekonstrukcją modeli 3D aglomeratów lipidowych na powierzchni i ich penetracji do matrycy soczewki, ujawniając różnice materiało-zależne, np. swobodniejszą dyfuzję w comfilcon A niż w samfilcon A, z ograniczeniami takimi jak uproszczone warunki inkubacji (PBS zamiast ATS); wyniki te integrują się z przeglądem literatury, podkreślając znaczenie wizualizacji w zrozumieniu depozycji. **Trzeci podrozdział** wprowadza innowacyjną metodę z wirującym dyskiem Yokogawy, rozszerzającą pole widzenia i rozdzielczość czasową (akwizycja co 3 s), co umożliwia rejestrację inicjacji adhezji lipidów w skali minut oraz śledzenie nieliniowej dyfuzji w głąb matrycy, z obliczeniem parametru



depth50% dla ilościowej oceny transportu; ta autorska adaptacja, nieopisana wcześniej w kontekście soczewek, potwierdza hipotezę I o możliwości różnicowania mechanizmów osadzania między materiałami, oferując narzędzie do R&D w screening'u powłok antylipidowych, z potencjalną automatyzacją i walidacją na szerszym spektrum lipidów.

Rozdział III (strony 101-114) omawia wpływ soczewek kontaktowych Si-Hy na grubość warstwy lipidowej filmu łzowego (LLT) po ich aplikacji, prezentując pilotażowe badanie kliniczne z udziałem 28 dorosłych uczestników, co dodaje praktycznego wymiaru wdrożeniowego. Autor stosuje interferometrię za pomocą urządzenia IDRA do pomiaru LLT przed aplikacją oraz po 1, 3 i 5 minutach noszenia czterech popularnych soczewek Si-Hy (lotrafilcon B, comfilcon A, lehfilcon A, senofilcon A), z randomizowaną sekwencją i etycznymi zgodami; wyniki wskazują na wyjściową LLT około 65 nm, zgodną z normami, oraz istotne zmiany po aplikacji – wzrost dla trzech materiałów, bez zmian dla comfilcon A, z kinetyką zależną od materiału, np. szybka stabilizacja dla comfilcon A i fluktuacje dla innych, podkreślając, że 5-minutowe okno jest niewystarczające do oceny stanu ustalonego. Jednocześnie monitorowana jest częstość mrugania, która nie różni się znacząco między soczewkami i słabo koreluje z LLT, co sugeruje inne mechanizmy wpływu, takie jak wyciśnięcie meibum czy zwilżalność powierzchni; dyskusja odnosi się do literatury, wskazując na podobieństwa z wcześniejszymi badaniami, ale podkreśla unikalność wczesnej kinetyki, potwierdzając hipotezę II o materiałozależnych zmianach LLT w początkowej fazie noszenia. Rozdział ten integruje aspekty kliniczne z wdrożeniowymi, proponując wydłużenie czasu oceny dopasowania soczewek w praktyce optometrycznej, co mogłoby poprawić komfort użytkowników; sugeruje również rozszerzenie na dłuższe okresy i grupy z dysfunkcją filmu łzowego dla większej generalizacji wyników.

Rozdział IV (strony 115-124) bada wpływ osadów lipidowych na równowagową zawartość wody (EWC) w soczewkach Si-Hy, wykorzystując autorski inkubator CLI (Contact Lens Incubator) do symulacji warunków fizjologicznych, co stanowi kluczowy wkład wdrożeniowy. Urządzenie CLI, zaprojektowane przez autora, umożliwia cykliczną ekspozycję do 64 soczewek w temperaturze 35°C, z mechanicznym symulowaniem mrugania i sztucznym płynem łzowym (ATS) z lub bez lipidów, zapewniając powtarzalne, wielopróbkowe testy in vitro; EWC mierzona jest termograwimetrycznie po inkubacji, porównując wartości z opakowania blister, solanki i ATS. Wyniki pokazują zgodność EWC z deklaracjami producentów w warunkach początkowych, spadek w ATS bez lipidów dla comfilcon A (nie dla senofilcon A) oraz istotny, konsekwentny spadek o kilka punktów procentowych w ATS z lipidami dla obu materiałów, wskazując na lipidowo-indukowane "odwodnienie" matrycy, potencjalnie pogarszające zwilżalność i stabilność filmu łzowego; różnice materiałozależne sugerują, że wyższa początkowa zawartość wody sprzyja większemu wpływowi lipidów. Dyskusja odnosi się do mechanizmów penetracji niepolarnych lipidów do hydrofobowych



domen PDMS, integrując z literaturą i potwierdzając hipotezę III; rozdział podkreśla skalowalność CLI do R&D, idealną do screeningu powłok i strategii pielęgnacyjnych, z sugestiami rozszerzenia na więcej materiałów i lipidy polarne dla pełniejszej walidacji.

Rozdział V (strony 126-130) podsumowuje wyniki, potwierdzając hipotezy i wskazując aplikacje wdrożeniowe, w tym ramy interpretacyjne dla R&D.

Mocne strony pracy. Praca przedstawia dużą wartość naukową i aplikacyjną, z kompleksowym podejściem do tematu, gdzie rozdział I daje głębokie wprowadzenie w tematykę soczewek kontaktowych, fizjologii oka i szeroki przegląd literaturowy, dający dobre pojęcie o froncie badań dotyczących interakcji lipidów z soczewkami. Rozdziały II, III i IV wyczerpująco odpowiadają na postawione hipotezy, integrując badania *in vitro* i *in vivo*, co pokazuje holistyczne podejście i ma wartość edukacyjną dla studentów optometrii. Systematyczne omówienie trzech narzędzi badawczych w rozdziale II, w tym zastosowania mikroskopii konfokalnej z wirującym dyskiem do obserwacji procesów dynamicznych, jest autorskim wkładem, potwierdzającym hipotezę I o rejestracji inicjacji adsorpcji. Badanie pilotażowe na ludziach w rozdziale III, dotyczące filmu łzowego na różnych soczewkach w czasie, dodaje praktycznego wymiaru. W rozdziale IV pomysłowe autorskie urządzenie CLI do symulowania mrugania w warunkach laboratoryjnych zapewnia obiektywny sposób oceny wpływu roztworów lipidowych i bezlipidowych na uwodnienie soczewek podczas symulowanego "noszenia", co jest kluczowe dla wdrożeń przemysłowych. Załączenie dodatkowych wyników w zewnętrznym repozytorium (figshare) zwiększa wartość pracy jako wyczerpującego źródła wiedzy o opisywanych zjawiskach i metodach.

Uwagi do pracy. Mimo zalet, praca zawiera pewne usterki:

- **Wprowadzenie (strony 13-14):** Zabrakło bezpośredniego odniesienia do numerów rozdziałów przy omawianiu trzech hipotez badawczych, co utrudnia szybką nawigację po strukturze pracy. Podobnie we wprowadzeniu do rozdziałów II-IV zabrakło odniesienia do postawionych hipotez.
- **Rozdział I, strona 72:** Autor wspomina o zidentyfikowanych lukach badawczych, ale nie wypunktowuje ich w sposób bezpośredni i usystematyzowany, co zmusza czytelnika do samodzielnego wyciągania wniosków z przeglądu literatury.
- **Rozdział II, podrozdział 1.1.3 (charakterystyka odbicia światła):**
 - Strona 76. Nieprecyzyjne określenie obszaru skanowania $150 \times 150 \mu\text{m}$ - czy dotyczy to płaszczyzny xz czy xy?
 - Strona 76. Uproszczenie równań Fresnela zakłada prostopadłość padania światła, ale na prezentowanych obrazach widać odchylenie kątowe w kierunku z;

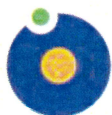


dodatkowo nie uwzględniono kąta odchylenia w kierunku y (prostopadłym do płaszczyzny obrazu). Brak przekonującego wyjaśnienia dlaczego zaniedbano zależności kątowe i skąd pewność, że zmiany w R na poziomie 0,01 dla małych kątów wprowadzają zmiany w wynikach uzyskanych z obrazów $\ll$ od głównego efektu w sytuacji, w której autor dokonuje normalizacji wartości R . Normalizacji, której metodologia nie jest wystarczająco opisana.

- Strona 77. Przy omawianiu czynników wpływających na wartości sygnałów na obrazach nie uwzględniono wpływu położenia ogniskowej obiektywu mikroskopowego na sygnał odbicia dla wewnętrznej powierzchni soczewki. Czy może mieć on wpływ na wartości R_2 ?
- Strona 78. Nie jest jasna metodologia wyznaczania parametru T (przepuszczalności) oraz brak wyjaśnienia czym jest R (czy $R=R_1=R_2$?). Brakuje również opisu metodologii normalizacji i czym jest w konsekwencji wartość "1".
- Strona 79. Zdanie dotyczące rysunku 19 ("Rysunek 19 wskazuje, że im mniejsza zawartość wody w materiale, tym większy wpływ właściwości polimeru na parametry takie jak n , co wynika bezpośrednio z równania Maxwella-Garnetta") nie jest poparte danymi z rysunku, który pokazuje tylko zależność n od $\%H_2O$ oraz, że istnieje jakaś zależność między n , a polimerem, natomiast nie mówi o wielkości tego wpływu.
- **Rozdział II, podrozdział 1.3, strona 80-81:** Wnioski wydają się zbyt mocne – wyniki pokazują jedynie różnice w odbiciu, ale nie pozwalają ilościowo określić udziału współczynnika załamania n materiału vs. innych czynników (modyfikacje powierzchniowe); metoda nie jest w pełni ilościowa, brak też analizy potencjalnych błędów pomiarowych.
- **Prezentacja wyników w rozdziałach II, III i IV:** Spójna metodologicznie, ale nieoptymalna wizualnie – wyniki dla poszczególnych soczewek na oddzielnych wykresach; wykresy 27-30 bez wyczerpujących podpisów (kolorowe strzałki i linie wymagają odwołania do tekstu); wykresy 39-44 prezentują LLT oddzielnie dla każdego czasu, zamiast zestawienia boxplotów obok siebie, co utrudnia wizualną obserwację ewolucji (np. typowy wzrost LLT po założeniu soczewki, a potem spadek w czasie).

Drobniejsze uwagi:

- **Rozdział I, strona 23:** Brak definicji terminu "holokrynowość" w opisie gruczołów Meiboma – czytelnik musi samodzielnie wyszukać wyjaśnienie.



- **Rozdział III, podrozdział 1.3:** Brak odniesienia do potencjalnego wpływu niedopasowanej korekcji soczewek (wszystkie o tej samej mocy) na częstość mrugania u uczestników.
- **Rozdział III, podrozdział 1.4:** Przyjęto próg istotności statystycznej $p < 0,017$ – brak uzasadnienia tej nietypowej wartości (zamiast standardowego 0,05).
- **Rozdział III, tabela 14:** Nie podano jednostki czasu dla analizy częstości mrugania (na minutę?).

Dorobek publikacyjny Autora obejmuje siedem pierwszoautorskich artykułów opublikowanych w czasopismach optometrycznych, w tym dwa czasopismach z listy JCR (Vision oraz Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition) osadów lipidowych i soczewek Si-Hy. Autor deklaruje również, że złożył kolejne trzy artykuły, z czego dwa do czasopism z listy JCR (co do trzeciego artykułu nie ma informacji). Wpływ naukowy autora na środowisko potencjalnie zwiększają również wyniki badań udostępnione w repozytoriach figshare ([272], [273]). Do czasu pisania recenzji, artykuły nie były cytowane, ale czas od ich opublikowania do złożenia pracy doktorskiej jest stosunkowo krótki (kilka lub kilkanaście miesięcy).

Podsumowanie. Stwierdzam, że praca doktorska spełnia warunki określone w art. 186 Ustawy o szkolnictwie wyższym (Dz. U. 2022 poz. 574 z późn. zm.) oraz zawiera wyniki o rzeczywistym potencjale wdrożeniowym i wnioskuję o dopuszczenie do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Maciej Szkulnarski