



Politechnika Wrocławska

Wrocław, 18 grudnia 2020

dr hab. inż. Damian Siedlecki
Politechnika Wrocławska
Wydział Podstawowych Problemów Fizyki
Katedra Optyki i Fotoniki
damian.siedlecki@pwr.edu.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej magistra inżyniera Rafała Brygoły pt. „Metody charakteryzacji profilu powierzchni soczewek kontaktowych z użyciem mikroskopii sił atomowych oraz optycznej mikroskopii konfokalnej”

Przedstawiona praca doktorska magistra inżyniera Rafała Brygoły dotyczy niezwykle istotnego tematu badań topografii powierzchni optycznych soczewek kontaktowych i wykorzystania metod fizycznych/optycznych do badania tychże. Doktorant skupił się tutaj na dwóch metodach: metodzie mikroskopii sił atomowych (AFM) oraz mikroskopii konfokalnej. Wyniki badań i ich analizy, otrzymane w pracy, a szczególnie zmiany strukturalne powierzchni soczewek spowodowane ich długotrwałym użytkowaniem, są również istotne z punktu widzenia poznawczego. Ma to związek ze wciąż rosnącą liczbą użytkowników soczewek kontaktowych. Warto zwrócić uwagę, że precyzyjna topografia soczewek kontaktowych jest parametrem bardzo trudnym do pomiaru z uwagi na to, że materiały stosowane na użytek soczewek kontaktowych są bardzo miękkie, uwodnione i stosunkowo delikatne. Dlatego wybór metod pomiarowych – wystarczająco precyzyjnych i nieniszczących – wymagało przygotowania odpowiedniego stanowiska pomiarowego w celu zapewnienia optymalnych warunków do pomiaru oraz doboru optymalnych ustawień i wartości parametrów urządzeń pomiarowych. Mam tu na myśli w szczególności mikroskop sił atomowych, który, w zależności od wrażliwości mierzonej próbki, może pracować w trzech trybach: kontaktowym, bezkontaktowym i pośrednim (*tapping*).

Szczegółowy opis motywacji do badań, opis zadań, które postawił przed sobą doktorant oraz tezy pracy doktorskiej, zostały przedstawione w Rozdziale 1. Autor zwraca tu uwagę na fakt, że istnieją międzynarodowe standardy jeśli chodzi o metodologię pomiaru i szacowania różnych parametrów materiałów, z których wykonuje się soczewki kontaktowe: np. współczynnika załamania, uwodnienia czy tlenoprzepuszczalności, to jednak wciąż nie opracowano podobnych standardów jeśli chodzi o pomiar topografii powierzchni. I właśnie ten fakt doktorant przedstawia jako źródło swojej motywacji. Doktorant zauważa potrzebę przygotowania takiego standardu, by można było zestawiać i porównywać ze sobą różne materiały różnych producentów. Jednak trzeba zaznaczyć, że opracowanie metodologii pomiaru, szczegółowy opis optymalnych warunków pomiarowych i ustawień i czynności dokonywanych podczas pomiaru, a wreszcie umiędzynarodowienie takiego standardu, jest sprawą absolutnie niebanalną, a niniejszy doktorat z pewnością nie wystarczy.

W kolejnym rozdziale Autor opisuje historię soczewek kontaktowych oraz postęp w technologii ich produkcji. Rozdział ten ma charakter raczej popularno-naukowy, a czyta się go naprawdę dobrze i z zaciekawieniem.

Rozdział 3. stanowi zwięzły i czytelny, choć nie do końca poprawny opis roli, jaką pełni soczewka kontaktowa w układzie optycznym oka. W rozdziale tym Doktorant przytacza wzór (1) z zastrzeżeniem, że występująca w nim odległość wierzchołkowa soczewki od rogówki a ma znak

ujemny. Gdyby tak było, powiększenie okularowe dla korekcji krótkowzroczności byłoby większe od jedności, a dla korekcji nadwzroczności – mniejsze od jedności. Tymczasem jest dokładnie na odwrót.

W rozdziale 4. Doktorant skupia się na opisie anatomii i fizjologii przedniego odcinka oka, przybliżając czytelnikowi anatomię rogówki i aparatu łzowego, płynnie wprowadzając do zagadnienia wpływu noszenia soczewek kontaktowych na strukturę rogówki i ewentualnych powikłań, związanych z parametrami materiałowymi soczewek (uwodnienie, sztywność), bądź też wywołanych ich nieprawidłowym doбором. To właśnie aspekty biokompatybilności oraz optymalnych parametrów materiałowych stanowią silną motywację do intensywnych badań z zakresu kontaktologii, poszukiwania możliwie jak najlepiej tolerowanych materiałów soczewek kontaktowych oraz rozwoju technologii produkcji soczewek kontaktowych.

W rozdziale 5. Autor przybliża definicje fizycznych parametrów i właściwości materiałowych soczewek kontaktowych, które to parametry decydują o tolerancji soczewek kontaktowych przez ich użytkowników i które mają istotny wpływ na komfort ich użytkowania. Wśród tych parametrów Doktorant wymienia **wytrzymałość materiału na uszkodzenia** oraz **moduł sztywności**, zastrzegając przy tym, że pomimo bliskiego znaczenia tych parametrów, „*nie są one wymienne*”. Niestety brakuje tutaj nieco szerszego wyjaśnienia różnic pomiędzy tymi wielkościami. Innym parametrem wymienionym przez Autora jest **strumień tlenu**, zdefiniowany jako cyt. „*objętość tlenu przepływająca przez jednostkowy obszar membrany w jednostkowym czasie, przy czym przez objętość rozumie się obszar zajmowany przez daną ilość tlenu w warunkach normalnych*”. Opis tej definicji, a szczególnie druga jego część, jest mocno nieprecyzyjny. Obszar to pole powierzchni, opisany w przestrzeni dwuwymiarowej, podczas gdy objętość to zdecydowanie wielkość trójwymiarowa.

W dalszej części tego rozdziału, opierając się na danych literaturowych, Doktorant dokonuje kategoryzacji miękkich soczewek kontaktowych, ze względu na materiał (hydrożel vs. silikon+hydrożel) oraz właściwości materiałowe (stopień uwodnienia, jonowość). Następnie Autor dokonuje zwięzłego opisu technologii produkcji soczewek kontaktowych. Technologie te – jak się okazuje w doświadczalnej części pracy – mają istotny wpływ na jakość wykończenia powierzchni soczewki.

Rozdział 6. stanowi wstęp do eksperymentalnej części rozprawy. Przybliżona w nim została zasada pomiaru topografii powierzchni za pomocą mikroskopii sił atomowych (AFM), wymienione zostały również parametry, jakich można użyć do ilościowego opisu topografii powierzchni mierzonych próbek, a w trzecim podrozdziale, na podstawie szerokich badań literaturowych, obejmujących zakres publikacji z dwóch ostatnich dekad, przedstawiony został aktualny stan wiedzy na temat badań jakości powierzchni soczewek kontaktowych. Z punktu widzenia przedstawionej literatury, użycie mikroskopii sił atomowych jako narzędzia pomiarowego jest w pełni uzasadnione. Sam Doktorant wspomina, że istnieje wiele takich badań, w których autorzy do pomiarów jakości powierzchni soczewek kontaktowych wykorzystywali właśnie AFM. W tym samym zdaniu Autor dodaje, że cyt.: „*jak dotąd nie udało się dokonać standaryzacji metody pomiarowej zarówno w aspekcie przygotowania próbki do pomiarów jak i przy doborze trybu pracy mikroskopu czy ustawieniu obszaru skanowania*” (pisownia oryginalna). Niniejszy cytat potwierdza, że głównym celem, jaki przyświecał Autorowi, była próba ustandaryzowania tej metody pomiarowej, konkretnie na potrzeby szacowania jakości powierzchni soczewek kontaktowych.

Wśród parametrów ilościowych uzyskiwanych z pomiarów AFM, Doktorant wymienia R_q , czyli błąd średniokwadratowy (RMS), „*liczony jako pierwiastek z wartości średniej sumy kwadratów wysokości różnic w stosunku do średniej wysokości*”, a następnie podaje wzór (8). Prawdę mówiąc, podany wzór (8) nie odpowiada zacytowanemu opisowi. Mając na względzie fakt, że w doświadczalnej części pracy Doktorant posługiwał się głównie właśnie parametrem R_q do porównywania jakości

powierzchni różnych soczewek kontaktowych, można mieć jedynie nadzieję, że jest to typowy błąd edytorski, a nie równanie, które Doktorant faktycznie wykorzystywał do opisu ilościowego jakości powierzchni.

Rozdziały 7-13 stanowią właściwą część rozprawy doktorskiej, stanowiącą opis autorskich badań i analiz przeprowadzonych przez Doktoranta. W rozdziałach 7-11 Autor prezentuje wyniki pomiarów z wykorzystaniem AFM, przeprowadzonych na próbkach: a) nowych soczewek silikonowo-hydrożelowych, przeznaczonych do użytkowania w trybie 2-tygodniowym lub miesięcznym, b) tych samych soczewek, ale używanych, c) soczewek jednodniowych.

Pierwszą rzeczą, która rzuca się w oczy, jest brak konsekwencji w nazewnictwie materiałów zastosowanych w różnych soczewkach kontaktowych. Tabele 1. oraz 2. zawierają zestawienie parametrów soczewek używanych w pomiarach (Tabela 1.) oraz wyników pomiarów tych soczewek (Tabela 2.). Zestawienie obydwu tabel ze sobą daje następujący efekt:

Producent/nazwa handlowa	Materiał w Tabeli 1.	Materiał w Tabeli 2.
Johnson&Johnson/Acuvue Oasys with Hydraclear Plus	lenofilcon A	senofilcon A
CooperVision/Biofinity	lomfilcon A	comfilcon A
Bausch&Lomb/PureVision 2HD	lalafilcon A	balafilcon A
Bausch&Lomb/Ultra	lamafilcon A	samafilcon A

Co prawda są to tylko nazwy wymyślone przez producentów soczewek kontaktowych, to jednak Autor powinien był wykazać nieco większą ostrożnością przy ich cytowaniu.

Ponadto lektura opisu wyników pomiarów i analizy przeprowadzonej przez Doktoranta prowadzi do następujących uwag o różnym stopniu szczegółowości:

- 1) Jak mają się wartości $R_{\max}$ dla różnych typów soczewek, zestawione w Tabelach 1,2,3 i 5 do wartości brzegowych na odpowiadających im rysunkach od 16. do 32.?
- 2) Głównym parametrem, używanym przez Doktoranta do porównania różnych soczewek, jest błąd średniokwadratowy R_q , opisujący w sposób ilościowy chropowatość danej mierzonej powierzchni. Pozostałe parametry: $R_{\max}$ (różnica pomiędzy wartościami brzegowymi), s (skośność) i k (kurtoza) są co prawda wymienione w tabelach, to jednak zdają się stanowić zaledwie tło dla R_q , a Autor nie poświęca im większej uwagi i nie komentuje zmian wartości tych parametrów dla różnych typów soczewek. Dlaczego?
- 3) W Rozdziale 5 Doktorant pokusił się o zbadanie efektu użytkowania na jakość powierzchni soczewek o przedłużonym trybie użytkowania. Czy autor mógłby wyjaśnić, na ile wartości parametru R_q oszacowane dla soczewek używanych odzwierciedlają zmiany w strukturze powierzchni soczewki, a na ile zwykłe, przypadkowe zanieczyszczenia występujące na tych powierzchniach?
- 4) Doktorant słusznie zwraca uwagę na fakt, iż sonda skanująca, bez uprzedniego przygotowania, może trzeć o miękką powierzchnię soczewki, dając efekt niszczący, co może mieć wpływ na uzyskane wyniki, utrudniając ich interpretację. Porównując wizualnie Rysunek 33., który przedstawia topografię soczewki bez uprzedniego przygotowania sondy, z Rysunkiem 19., można odnieść wrażenie, że pomiar jest równie zaszumiony. Przydałby się tutaj komentarz Autora.

Rozdziały 12-13 stanowią próbę wykorzystania metody typowo optycznej, jaką jest mikroskopia konfokalna, do tego samego celu, w jakim w poprzednich rozdziałach Doktorant wykorzystał mikroskopię sił atomowych. Jest to próba zaledwie częściowo udana, bowiem problem nie do przeskoczenia stanowi tutaj maksymalna rozdzielczość, która w przypadku metody optycznej jest

dużo niższa niż w przypadku AFM. Ponadto charakter danych otrzymanych za pomocą mikroskopu konfokalnego jest inny, niż w przypadku AFM. AFM daje wprost dane topograficzne, tymczasem mikroskop konfokalny zwraca przestrzenną odpowiedź optyczną w postaci zmian natężenia światła rozpraszanego lub odbitego od powierzchni badanej próbki. Doktorant słusznie zwraca na ten fakt uwagę. Pozyskane z mikroskopu konfokalnego dane zostały odpowiednio przygotowane (przetworzone), poprzez powiązanie maksymalnej wartości natężenia osiągniętej wzdłuż kierunku Z z punktem na powierzchni soczewki kontaktowej. Tak przygotowane dane posłużyły Doktorantowi do przeprowadzenia analizy ilościowej topografii powierzchni. W zestawieniu z wynikami z AFM, wyniki otrzymane za pomocą mikroskopii konfokalnej nie są jednak jednoznaczne. Najbardziej skrajnym przykładem jest materiał balafilcon A, dla którego Doktorant sam zauważył, że „*wykazuje najmniejszą chropowatość ze wszystkich zmierzonych materiałów. W przypadku pomiarów wykonanych techniką AFM ten polimer charakteryzował się największą chropowatością*”. Dla pozostałych materiałów, uzyskane wyniki były mniej lub bardziej zgodne pod względem jakościowym, jednak bezwzględne wartości R_q są znacznie wyższe niż w przypadku AFM. W Rozdziale 13. Doktorant podjął próbę wykorzystania klasycznej granulometrii do analizy jakościowej danych pozyskanych przy wykorzystaniu mikroskopii konfokalnej. Otrzymane wyniki nie dały jednak oczekiwanych rezultatów. Można żałować, że Doktorant nie pokusił się o wykorzystanie innych metod analizy, jednak rozumiem, że wymagałoby to ponadprzeciętnych umiejętności zastosowania metod i technik obróbki obrazów cyfrowych.

Praca napisana jest starannie, choć Doktorantowi nie udało się uniknąć kilku mniej znaczących błędów gramatycznych i interpunkcyjnych, które jednak nie psują ogólnego efektu. Rozprawa zilustrowana jest dobrej jakości rysunkami i zdjęciami.

Doktorant posiada w swoim dorobku 2 publikacje w czasopismach z listy filadelfijskiej. Pierwsza, w bardzo dobrym czasopiśmie *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* (IF=4,389), w której jest pierwszym autorem. Druga w *Optica Applicata* (IF=0,673), w której jest trzecim autorem. Mgr inż. Rafał Brygoła jest również pierwszym autorem w artykule opublikowanym polskim czasopiśmie *Ophthalmotherapy*, znajdującym się w wykazie MNiSW (20 punktów).

Podsumowując stwierdzam, że przedstawiona mi do oceny praca, zawiera poprawnej jakości metody analizy i wyniki badań topografii powierzchni soczewek kontaktowych wykonanych z różnych materiałów oferowanych przez różnych producentów. Tematyka, którą zajął się Doktorant nie jest zagadnieniem łatwym, ani trywialnym. W ramach przeprowadzonych badań Doktorant wziął pod uwagę najważniejsze czynniki mogące mieć znaczący wpływ na strukturę powierzchni soczewek kontaktowych, a więc rodzaj materiału, ich przeznaczenie (1-dniowe, 2-tygodniowe oraz miesięczne) oraz zużycie związane z ich długotrwałym noszeniem. Trzeba przyznać, że niektóre wyniki i analizy wymagałyby nieco pełniejszego opisu lub opracowania. Dlatego mając na względzie wciąż rosnące zainteresowanie tematyką soczewek kontaktowych oraz coraz większą liczbę ich użytkowników, temat ten powinien być wciąż rozwijany, a prowadzone badania powinny dostarczać coraz to nowych informacji. Jak słusznie Doktorant zauważył, obecnie brak jest standardów wyznaczających metodologię pomiaru jakości powierzchni rogówki. Stan ten może w niedługim czasie ulec zmianie. Jednak podkreślić należy, że jedna rozprawa doktorska, taka jak niniejsza, wciąż nie wystarczy. Opracowanie takich standardów wymaga wielu lat pracy nad przygotowaniem optymalnych warunków pomiarowych i uzgodnieniem optymalnych parametrów pomiaru.

Dużą wartość niniejszej pracy stanowi to, że jest ona interdyscyplinarna. Podobnie jak większość prac z tematyki bliskiej optyce fizjologicznej, dotyczy ona zagadnień z zakresu zarówno inżynierii biomedycznej, fizyki, jak i inżynierii materiałowej. W mojej ocenie należy uznać to za zaletę.

W związku z powyższym, stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Rafała Brygoły spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z „Ustawą o Stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. oraz Ustawą Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z dnia 20 lipca 2018 r. Wnioskuje zatem do Rady Naukowej Dyscypliny Fizyczne UW o dopuszczenie mgr inż. Rafała Brygoły do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

dr hab. inż. Damian Siedlecki

