

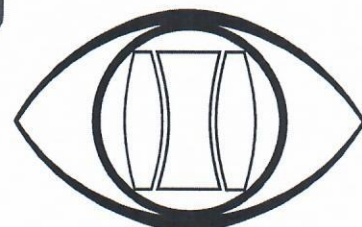
INSTYTUT OPTYKI STOSOWANEJ

im. prof. Maksymiliana Pluty

ul. Kamionkowska 18, 03-805 Warszawa

tel: +48 604 432 844
fax: +48 22 813 32 65
e-mail: galasj@inos.pl
<http://www.inos.pl>

KRS: 0000119363
REGON: 000035725
NIP: 525-000-87-90



INOS

Warszawa, dnia 14 listopada 2015 roku

Prof. dr hab. inż. Zbigniew Jaroszewicz
Zakład Optyki Fizycznej
Instytut Optyki Stosowanej
ul. Kamionkowska 18, 03-805 Warszawa
tel. 0228700585
e-mail: mmtzjaroszewicz@post.pl

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgra Macieja Sokołowskiego p.t. „Wewnątrzgałkowe wieloogniskowe soczewki refrakcyjno- dyfrakcyjne o dużej głębokości reliefu dyfrakcyjnego”

Rozprawa doktorska p. mgr Macieja Sokołowskiego zawiera opis nowego rodzaju soczewki wewnątrzgałkowej, która ma zapewnić lepszą jakość widzenia od dotychczas stosowanych. Rozprawa liczy 78 stron, a w wykazie cytowanych publikacji podano równo 100 pozycji bibliograficznych dotyczących tematu omawianego w rozprawie. Praca składa się z pięciu rozdziałów oraz podsumowania i bibliografii.

Po wstępie zawierającym krótkie przedstawienie powodu podjęcia tematu pracy w pierwszym rozdziale zostają omówione metody operacyjne stosowane w zabiegu usunięcia zaćmy oraz historia ich rozwoju. Następnie dokonano przeglądu rozwiązań, które znalazły zastosowanie w projektowaniu i produkcji soczewek wewnątrzgałkowych oraz właściwości materiałów, które zazwyczaj są używane do ich wytwarzania. Rozdział ten zakończony jest przedstawieniem celu rozprawy i tez naukowych, które autor zamierza w niej wykazać. Celem rozprawy jest zaprojektowanie wieloogniskowej soczewki refrakcyjno-dyfrakcyjnej oraz



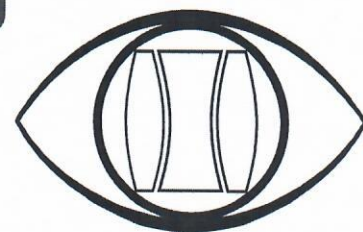
INSTYTUT OPTYKI STOSOWANEJ

im. prof. Maksymiliana Pluty

ul. Kamionkowska 18, 03-805 Warszawa

tel: +48 604 432 844
fax: +48 22 813 32 65
e-mail: galasj@inos.pl
<http://www.inos.pl>

KRS: 0000119363
REGON: 000035725
NIP: 525-000-87-90



INOS

przeprowadzenie numerycznej symulacji jej własności obrazujących. Natomiast tezy, które stawia autor, są następujące:

1. „Dyfrakcyjne soczewki Fresnela, tworzące razem z soczewkami refrakcyjnymi hybrydowe IOL, mogą być co najwyżej dwuogniskowe”.
2. „Hybrydowe IOL ze zmodyfikowanymi soczewkami Fresnela zaproponowanymi w tej pracy mogą być co najwyżej czteroogniskowe”.
3. „Ogniskujące dyfrakcyjne płytki fazowe o dużej głębokości reliefu sinusoidalnego pozwalają uzyskać wieloogniskowość o krotności większej od czterech i jednocześnie równomierny w przybliżeniu podział energii wiązki ugiętej pomiędzy użyteczne ogniska, a także zdolność rozdzielczą obrazowania porównywalną z obrazowaniem jednoogniskowym”.

Drugi rozdział poświęcony jest uzasadnieniu prawdziwości pierwszej tezy rozprawy i zawiera analizę pola świetlnego za soczewką hybrydową składającą się z części refrakcyjnej i z parabolicznego profilu dyfrakcyjnego. Wyniki obliczeń oparte na analizie rozkładu pola dyfrakcyjnego za soczewką w przybliżeniu Fresnela dowodzą, że niezależnie od głębokości modulacji parabolicznego profilu dyfrakcyjnego pojawiają się co najwyżej dwa różne rzędy ugięcia o istotnych wartościach natężenia światła odpowiadające różnym ogniskom. Ilość ognisk daje się zwiększyć do trzech za cenę złożenia w sąsiadujących strefach parabolicznych profili dyfrakcyjnych o różnych wartościach mocy optycznej.

W trzecim rozdziale autor dokonuje modyfikacji parabolicznego profilu dyfrakcyjnego w ten sposób, że zawiera on na przemian strefy odpowiadające soczewce dyfrakcyjnej skupiającej i rozpraszającej o tej samej wartości modułu mocy optycznej, tj. strefy o przeciwnym nachyleniu profili fazowych. Zabieg ten pozwala na zwiększenie ilości ognisk. I tak, dla parametru m oznaczającego głębokość modulacji profilu dyfrakcyjnego wynoszącego 3,645 rad pojawiają się trzy rzędy ugięcia o tym samym natężeniu gromadzące w sumie 85% energii przechodzącego światła, a dla m równego 5,790 rad obserwujemy cztery rzędy ugięcia, na które składa się 90% energii przechodzącego światła. W ten sposób autor dowodzi prawdziwości drugiej tezy swojej rozprawy.

W czwartym rozdziale zostaje zaproponowany profil dyfrakcyjny o sinusoidalnym przebiegu modulacji fazy. Zastosowanie podejścia podobnego jak w poprzednich



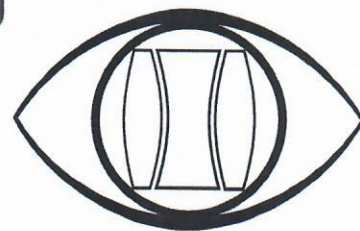
INSTYTUT OPTYKI STOSOWANEJ

im. prof. Maksymiliana Pluty

ul. Kamionkowska 18, 03-805 Warszawa

tel: +48 604 432 844
fax: +48 22 813 32 65
e-mail: galasj@inos.pl
<http://www.inos.pl>

KRS: 0000119363
REGON: 000035725
NIP: 525-000-87-90



INOS

rozdziałach, tj. opartego na analizie rozkładu pola dyfrakcyjnego za soczewką w przybliżeniu Fresnela wykazało, że można znaleźć taką wartość głębokości modulacji profilu dyfrakcyjnego ($m=6,223$ rad), dla których zerowe, pierwsze i trzecie rzędy ugięcia są w przybliżeniu równe, a drugie rzędy ugięcia są ok. dwa i pół razy słabsze. Oznacza to możliwość wykorzystania w sumie siedmiu rzędów ugięcia, to jest siedmiu różnych ognisk hybrydowej soczewki zawierającej taki profil dyfrakcyjny. Rozdział kończy się przedstawieniem wzrokowej funkcji rozmycia punktu we wszystkich ogniskach proponowanej soczewki, a jej przebieg we wszystkich przypadkach został uznany za zadowalający, co uznano za potwierdzenie trzeciej tezy rozprawy.

W piątym rozdziale przedstawiono omówienie otrzymanych wyników oraz granice stosowalności przybliżeń przyjętych w rozprawie, jak również teoretycznego modelu układu optycznego oka opartego na modelu Gullstranda-Emsley'a. Ważnym dla rozprawy zagadnieniem jest dyskusja optymalnej liczby ognisk wieloogniskowej hybrydowej soczewki wewnątrzgałkowej. Będzie ona w przybliżeniu równa wartości całego zakresu przedziału akomodacji umożliwiającego ostre widzenie od nieskończoności do odległości ok. 30 cm (ok. 3-3.5D) podzielonej przez wartość typowej głębi ostrości ludzkiego oka (ok. 0.5 D), co daje liczbę 7, czyli rozwiązanie przedstawione w rozdziale czwartym okazuje się posiadać optymalną liczbę ognisk.

Przechodząc od omówienia treści rozprawy do jej dyskusji pragnę stwierdzić, że propozycja nowej wieloogniskowej hybrydowej soczewki wewnątrzgałkowej, która może stanowić najlepsze rozwiązanie po zabiegu usunięcia zaćmy, bądź skutecznie kompensować wadę starczowzroczności jest nowa, oryginalna, interesująca i przede wszystkim bardzo potrzebna. Stanowi prawdopodobnie optymalny element o symetrii osiowej i ze względu na pokrywanie się głębi ostrości poszczególnych ognisk można ją uznać za dyskretną wersję aksikonu o zapewne podobnym działaniu. Tym niemniej uważam, że praca stanowi raczej tylko początek drogi i sprawozdaje zaledwie częściowy i daleki od ukończenia stan badań poruszanego tematu. Dlatego też wydaje się, że w ostatnim rozdziale rozprawy zabrakło, wbrew powszechnie przyjętej praktyce postępowania, omówienia możliwych kierunków przyszłych badań będących bezpośrednią konsekwencją otrzymanych wyników. I tak na przykład ocena spodziewanej jakości obrazowania dokonana jedynie na podstawie wzrokowej funkcji rozmycia punktu nie może chyba zostać uznana za kompletną. Ocena i dyskusja funkcji przenoszenia modulacji (MTF) i zdolności przenoszenia kontrastu, chociażby dla

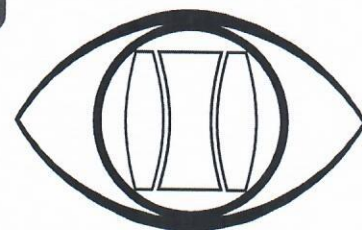
INSTYTUT OPTYKI STOSOWANEJ

im. prof. Maksymiliana Pluty

ul. Kamionkowska 18, 03-805 Warszawa

tel: +48 604 432 844
fax: +48 22 813 32 65
e-mail: galasj@inos.pl
<http://www.inos.pl>

KRS: 0000119363
REGON: 000035725
NIP: 525-000-87-90



INOS

wybranych wartości częstości przestrzennych, pozwoliłaby dokładniej ocenić wartość proponowanego rozwiązania. Ze względu na obecność dyfrakcyjnego profilu w proponowanej soczewce można spodziewać się, że będzie ona podlegała silnej aberracji chromatycznej, co również powinno być chyba chociażby pokrótce omówione, zwłaszcza że hybrydowy charakter rozwiązania pozwala na częściową kompensację aberracji chromatycznej, podobnie jak to pokazano w niniejszych pracach:

S.S. Lane, M. Morris, L. Nordan, M. Packer, N. Tarantino, R.B. Wallace 3rd, „Multifocal intraocular lenses”, *Ophthalmol. Clin. North. Am.* **19**, 89-105 (2006).

G. A. Lenkova, „Chromatic aberrations of diffractive-refractive intraocular lenses in an eye model”, *Optoelectr. Instrum. Data Process.*, **45**, 171-183 (2009).

O ostatecznej przydatności proponowanego rozwiązania zdecydują sprawdziany ostrości widzenia, ale to będzie mogło być możliwe dopiero w przyszłości, po zrobieniu proponowanego elementu i przeprowadzeniu serii eksperymentów sprawdzających ostrość widzenia z udziałem ludzi.

Co do szczegółowych uwag, to najwięcej ich mam do rozdziału drugiego, w którym znajdujemy określenie siatki dyfrakcyjnej typu echelette (blazed grating) jako kierującej światło ugięte w kilka rzędów ugięcia, podczas gdy siatki tego typu, w polskiej terminologii nazywane odbłaskowymi, dla określonej długości fali kierują całe światło w jeden wybrany rząd ugięcia. Wydaje się też, że mogłoby być interesujące porównanie otrzymanych wyników z wynikami przedstawionymi w pracy:

F. Castignoles, M. Flury, T. Lepine, „Comparison of the efficiency, MTF and chromatic properties of four diffractive bifocal intraocular lens designs”, *Opt. Express* **18**, 5245-5256 (2010),

gdzie wprowadzie nie dyskutuje się wpływu głębokości modulacji profilu dyfrakcyjnego na podział mocy pomiędzy poszczególne ogniska, ale przedstawia propozycje zastosowania profilu parabolicznego o głębokości modulacji profilu dyfrakcyjnego różnej od wartości 2π rad zapewniającej maksymalną wydajność dyfrakcyjną w jednym rzędzie ugięcia oraz wpływ aberracji chromatycznej.

Ponadto chętnie dowiedziałbym się, czy policzony profil sinusoidalny o głębokości modulacji profilu dyfrakcyjnego



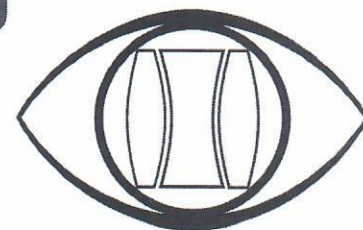
INSTYTUT OPTYKI STOSOWANEJ

im. prof. Maksymiliana Pluty

ul. Kamionkowska 18, 03-805 Warszawa

tel: +48 604 432 844
fax: +48 22 813 32 65
e-mail: galasj@inos.pl
<http://www.inos.pl>

KRS: 0000119363
REGON: 000035725
NIP: 525-000-87-90



INOS

$m=6,223$ rad jest optymalny i nie daje się poprawić, czy też możliwa jest zmiana przebiegu profilu dyfrakcyjnego z sinusoidalnego na inny i poprawa jednorodności rozkładu energii pomiędzy rzędami ugięcia.

Na podkreślenie i uznanie zasługuje przegląd rozwiązań i technik operacyjnych zamieszczony na początku drugiego rozdziału wraz z krótkim, ale wyczerpującym i ciekawym przedstawieniem historii ich rozwoju.

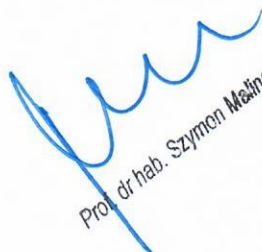
Pan mgr Maciej Sokołowski jest autorem czterech komunikatów konferencyjnych i jednego artykułu:

B. Kopania, M. Sokołowski, J. Pniewski, A. Ambroziak, J. Izdebska, M. Kowalczyk-Hernandez, „Sztuczne implanty rogówkowe w praktyce klinicznej”, *Kontaktologia i Optyka Okulistyczna* **4**, 15-22 (2013).

Częściowe wyniki przedstawione w rozprawie zostały też zawarte w artykule przyjętym do druku w *Optica Applicata* - czasopiśmie z listy filadelfijskiej:

M. Sokołowski, J. Pniewski, R. Brygoła, M. Kowalczyk-Hernández, „Imaging by hybrid heptafoveal intraocular lenses”, *Opt. Appl.*

W konkluzji stwierdzam, że teza naukowa postawiona przez autora w rozprawie została rozwiązana pomyślnie i stawiam wniosek o dopuszczenie p. mgr Macieja Sokołowskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Uważam, że rozprawa przedstawiona mi do oceny spełnia wymogi ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.


Prof. dr hab. Szymon Malinowski


Zbigniew Jaroszewicz

