

Prof. dr hab. inż. Jan Dorosz

Politechnika Białostocka

Wydział Elektryczny

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Leśko p.t.: „Oprawa oświetleniowa o zmiennej bryle świetlnej”

Rozprawa doktorska mgr inż. Marcina Leśko poświęcona jest problemom związanym z opracowaniem układu świetlno-optycznego oprawy oświetleniowej pozwalającego na kształtowanie w szerokim zakresie jej bryły fotometrycznej. Licząca 155 stron, edytorsko staranna praca jest napisana jasno i podzielona na 9 logicznie następujących po sobie rozdziałów. Zawiera ona, poprzedzoną zestawieniem stosowanych oznaczeń, analizę stanu wiedzy (rozdziały 2-4) oraz badania własne (rozdziały 5-9). Taki układ pracy jest poprawny - pozwala na jednoznaczną ocenę własnych osiągnięć jej autora.

Parametry produkowanych diod elektroluminescencyjnych (LED) sprawiły, że są one coraz częściej stosowane w układach oświetleniowych. Pozwalają one na konstruowanie układów świetlno-optycznych o złożonym, dotąd niemożliwym kształcie, a przez to kształtowanie w szerokim zakresie rozsyłu strumienia świetlnego opraw oświetleniowych. Ponadto, źródła LED stwarzają możliwości konstruowania opraw oświetleniowych z regulacją przestrzennego rozsyłu strumienia świetlnego w stosunkowo szerokim zakresie. Ograniczone możliwości w zakresie zmiany rozsyłu strumienia świetlnego dostępnych opraw oświetleniowych powodują, że poszukiwanie rozwiązań opraw oświetleniowych o szerokich możliwościach adaptacji rozsyłu staje się koniecznością. Wiąże się to z opracowaniem układu świetlno-optycznego oprawy, który umożliwi kształtowanie zarówno rozsyłu obrotowo-symetrycznego, symetrycznego, jak i asymetrycznego oraz płynną regulację kątów rozsyłu w czterech głównych płaszczyznach z uwzględnieniem problemów termicznych w oprawie, wynikających z grupowania na panelu źródeł LED oraz zagrożeniem olśnieniem związanym z wysoką luminancją źródeł. Olśnienie może występować ciągle lub w określonych warunkach i należy je uwzględnić na etapie projektowania opraw. Problemy związane z projektowaniem układów świetlno-optycznych o takich cechach nie są łatwe, lecz ich rozwiązanie pozwoli na konstruowanie opraw oświetleniowych o zmiennej orientacji bryły fotometrycznej bez konieczności zmiany położenia oprawy oraz wymiany jej elementów. Taka oprawa może być stosowana w adaptacyjnych systemach oświetleniowych jak np. w obiektach, gdzie często zmieniają się funkcje i wymagania oświetleniowe w określonych strefach. Pozwala na dostosowanie zarówno ilości, jak i kierunku emitowanego strumienia świetlnego do nowych wymagań.

Biorąc pod uwagę wyżej wymienione problemy, podjęcie tematyki badawczej będącej przedmiotem rozprawy należy uznać za konieczne. Zagadnienia naukowe będące przedmiotem tej pracy są aktualne zarówno z naukowego a także z praktycznego punktu widzenia.

Przedmiotem rozprawy jest rozwiązanie oryginalnego zagadnienia naukowego polegającego na:

1. Opracowaniu koncepcji układu świetlno-optycznego oprawy o zmiennej bryle fotometrycznej.
2. Modelowaniu systemu świetlno-optycznego oprawy (powierzchni odbłyśnika, układu optycznego, analiza termiczna układu, badania symulacyjne układu świetlno-optycznego).
3. Budowie prototypu oprawy oświetleniowej.
4. Weryfikacji wyników analiz – porównaniu wyników uzyskanych w drodze modelowania z parametrami zbudowanego prototypu.
5. Opracowaniu podstaw procesu technologicznego wytwarzania zaprojektowanej oprawy.

W pierwszej części recenzowanej pracy mgr inż. Marcin Leśko w wyczerpujący i krytyczny sposób dokonał przeglądu znanych rozwiązań konstrukcyjnych układów świetlno-optycznych (rozdział 2). Szczególną uwagę zwrócił na istniejące nieliczne rozwiązania pozwalające na zmiany rozsyłu strumienia świetlnego w dowolnej płaszczyźnie oraz uniknięcia olśnienia, co ściśle wiąże się z tematem rozprawy.

W podobny sposób, w rozdziale 3 Autor dokonał przeglądu metod obliczeniowych układów świetlno-optycznych pod kątem ich przydatności do projektowania układów o zmiennej bryle świetlnej. Stwierdził, że znane metody analityczne i graficzna stosowane oddzielnie nie mogą być użyte do projektowania oprawy oświetleniowej o zmiennym rozsyłu strumienia świetlnego, albowiem konieczne jest uwzględnienie właściwości i kształtu elementów układu optycznego przy ich zmiennym położeniu względem źródła światła w celu zapewnienia odpowiedniego ukierunkowania strumienia świetlnego. Stwierdził, że dopiero połączenie cech metod analitycznych i graficznych może być skutecznym narzędziem przy modelowaniu i analizie złożonego kształtu ruchomych elementów układu świetlno-optycznego.

Powyższe jest wynikiem wnikliwej analizy aktualnego stanu wiedzy przeprowadzonej w oparciu o obszerną literaturę, obejmującą 158 pozycji literatury światowej (w tym 7, to współautorskie publikacje Autora - z tego w 3-ch jako pierwszy autor). Można więc powiedzieć, że Autor jest dobrze przygotowany do realizacji tematyki doktoratu.

Na podstawie tej analizy mgr inż. Marcin Leśko (w rozdziale 4) sformułował tezę:

„Metodą modelowania układu świetlno-optycznego możliwe jest opracowanie rozwiązania pozwalającego na szerokie możliwości regulacji rozsyłu strumienia świetlnego”,

oraz cel pracy: *„Opracowanie na podstawie badań modelowych oprawy oświetleniowej umożliwiającej kształtowanie różnych brył fotometrycznych, dokonanie analizy właściwości elementów układu oraz ocena ich wpływu na wybrane parametry świetlne”*.

W rozdziale 5 określił Autor wymagania stawiane oprawie o zmiennej bryle fotometrycznej pozwalającej na dostosowanie zarówno ilości, jak i kierunku emitowanego strumienia świetlnego do zmiennych wymagań oświetleniowych. Są one sformułowane poprawnie – uwzględniają wszystkie problemy zarówno konstrukcyjne (zmiany rozsyłu strumienia świetlnego, układu świetlno-optycznego czy warunków termicznych pracy źródeł LED) jak i związane z eksploatacją oprawy (w szczególności dotyczące dopuszczalnego poziomu olśnienia oraz eliminacji olśnienia bezpośredniego). Na tej podstawie opracował

koncepcję układu świetlno-optycznego oprawy o zmiennej bryle fotometrycznej (Rozdział 6). Uwzględnił tu wszystkie zagadnienia istotne w procesie projektowania oprawy jak:

- zagrożenie olśnieniem wynikające z zastosowania źródeł LED i drogi jego ograniczania,
- formowanie rozsyłu strumienia świetlnego tych źródeł z zastosowaniem układów soczewkowych, układów odbłyśnikowych, z wykorzystaniem łącznie składowej bezpośredniej i pośredniej oraz tylko pośredniej składowej strumienia świetlnego źródeł światła,
- kształt odbłyśnika,
- konstrukcja układu świetlno-optycznego,
- sposób montażu źródeł,
- geometria matrycy LED i jej wpływ na parametry świetlne ze szczególnym uwzględnieniem wpływu temperatury na zmiany strumienia świetlnego). Godne uwagi jest wykorzystanie realizowanych w Uczelni unikalnych wyników badań dotyczących termicznych warunków pracy źródeł LED.

Oryginalna propozycja układu świetlno-optycznego to pionowe pozycjonowanie matrycy ze źródłami LED zamiast powszechnie stosowanego układu poziomego. Pozwala to na sterowanie kierunkiem emisji strumienia świetlnego z oprawy (co jest głównym założeniem rozprawy) a także, poprzez rozproszenie miejsc montażu poszczególnych matryc LED oraz powstanie przepływu powietrza wzdłuż pionowej, uźebrowanej od zewnątrz ściany, która stanowi radiator poprawia warunki termiczne pracy diod.

Wprawdzie, ze względu na możliwość skupienia wiązki świetlnej odbitej od profilu odbłyśnika najlepszym rozwiązaniem byłoby zastosowanie pojedynczej linii źródeł LED, lecz Autor dowiódł, że przy ograniczonych wymiarach oprawy i konieczności stosowania większej liczby źródeł LED wynikającej z wymaganej mocy oprawy konfiguracja 8x2 dzięki ograniczeniu pionowego wymiaru matrycy LED pozwala na zachowanie wymaganych proporcji pomiędzy pionowym wymiarem odbłyśnika

i wymiarem matrycy LED. Dzięki temu możliwe jest uzyskanie lepszego skupienia wiązki świetlnej odbitej od odbłyśnika oraz zapewnienie szerokiego zakresu ruchu odbłyśnika w obudowie. Wykazał w drodze pomiarów, że różnice kątów rozsyłu i wartości światłości kierunkowych dla konfiguracji 4x4 (źródła rozmieszczone w kwadracie o boku 4) i 8x2 (w dwóch liniach) nie przekraczają 4%. Mając też na względzie ograniczenia dotyczące wymiaru pionowego obudowy oraz zapewnienie jak największego ruchu kąтового odbłyśnika, słusznie przyjął konfigurację (8x2) matrycy jako najkorzystniejszą, godną dalszej realizacji.

Z kolei, dokonał obliczeń związanych z modelowaniem układu optycznego (Rozdział 7).

Przyjęta przez Autora metoda modelowania i analizy układu świetlno-optycznego łączy w sobie metody analityczne i graficzne. Opis analityczny zastosował Autor na początkowym etapie do zdefiniowania w formie uproszczonej warunków brzegowych układu. Następnie przeszedł do zapisu graficznego tego modelu. W kolejnym etapie dokonał analizy numerycznej z wykorzystaniem dokładnego modelu i wyznaczył geometrię poszukiwanego układu świetlno-optycznego. Autor pracy analizując przyjęty model posłużył się programem Photopia wspomagającym obliczenia analityczne w procesie modelowania i analizy układu świetlno-optycznego (Rozdział 7). Procedura modelowania i analizy układu świetlno-optycznego oprawy o zmiennej bryle fotometrycznej została przedstawiona w postaci schematu blokowego (Rys. 7.46). Wcześniej określił

warunki brzegowe: układ świetlno-optyczny powinien się mieścić w przestrzeni ograniczonej przez graniastosłup prawidłowy o podstawie ośmiokąta foremnego (zgodnie z przyjętymi założeniami - rozdz. 6.) Autor dokonał takiej analizy na przykładzie modelowania układu świetlno-optycznego oprawy, której maksymalna średnica wyznaczona przez okrąg opisany na ośmiokącie foremnym wynosi 65 cm, jej wysokość 20 cm a minimalna długość boku to 20 cm, co jest uwarunkowane długością matrycy LED. Przestrzeń wewnętrzna jest ograniczona wysokością 17 cm oraz ośmiokątem foremnym opisanym na okręgu o średnicy 50 cm. Minimalny zakres zmian kąta rozsyłu zawiera się w granicach 80° - 120° .

W pierwszej kolejności Autor wyznaczył równanie powierzchni odbłyśnika (7.8) i jego pierwiastki wskazując na te (dodatnie), opisujące położenie punktu, przez co możliwe jest jednoznaczne wyznaczenie położenia punktu należącego do krzywej profilowej odbłyśnika. Następnie przeszedł do modelowania układu świetlno – optycznego. Zgodnie z wynikami analizy (rozdz. 6) przyjął, że układ świetlno-optyczny oprawy o zmiennej bryle świetlnej jest zbudowany z czterech sekcji, a każda z nich składa się z panelu z wyposażonymi w soczewki źródła LED oraz wtórnego odbłyśnikowego układu optycznego. Zmienność bryły fotometrycznej dokonuje się zaś przez ruch odbłyśnika względem panelu LED.

Dalsze działania Autora to wyznaczenie kształtu odbłyśnika. Dowiódł, że ze względu na konieczność zapewnienia równomierności oświetlenia z jednoczesnym ograniczeniem olśnienia należy poszukiwać odbłyśnika o profilu dwukrzywiznowym. Wyznaczył zależność zakresu zmian położenia odbłyśnika w funkcji jego wymiarów oraz położenia względem matrycy LED (zależność 7.31). Na tej podstawie ustalił, że dla przyjętych wymiarów odbłyśnika jego nachylenie może zmieniać się w granicach $0 - 20^{\circ}$, co umożliwia zmianę kąta rozsyłu obrotowo-symetrycznego w zakresie 80 - 125° .

Ważnym, kolejnym etapem badań jest przeprowadzona z pomocą oprogramowania SolidWorks analiza termiczna pracy ośmiokątnej oprawy (Rozdz. 7.3). Jest to konieczne z kilku względów: w celu sprawdzenia termicznych warunków pracy oprawy oświetleniowej, a przez to wyznaczenie minimalnej grubości obudowy i wymiarów radiatora dla których w najmniej korzystnych warunkach temperatura oprawy, a w szczególności źródła LED nie przekracza dopuszczalnej wartości (85°C). Z analizy wynika, że w najbardziej niekorzystnych warunkach (z szybą) temperatura źródła LED zmienia się w granicach $63 - 67^{\circ}\text{C}$, a w przypadku otwartej oprawy jest ok. 10°C niższa, zaś temperatura obudowy nie przekracza 50°C .

Autor szczegółowo przedstawił wyniki badań 4-sekcyjnego układu świetlno-optycznego. Poprzez skorelowanie właściwości profilu skupiającego odbłyśnika z właściwościami refleksyjnymi powierzchni określił jego kształt dwuparaboliczny), co pozwoliło przy różnych ustawieniach zachować równomierny rozkład natężenia oświetlenia oraz minimalizować straty strumienia świetlnego.

Z pomocą programu DIALux evo dokonał analizy możliwości osiągnięcia zakładanych typów i zmian rozsyłu oraz rozkładu natężenia oświetlenia na płaszczyźnie roboczej i porównał wyniki z przyjętymi założeniami. Widać, że podstawowa funkcjonalność oprawy oświetleniowej umożliwiająca zmianę kąta rozsyłu jest zapewniona. Sprawność optyczna oprawy wzrasta wraz z zawężaniem rozsyłu, osiągając maksimum przy nachyleniu odbłyśników do 15° , a sprawność koncentracji wiązki świetlnej wynosi 3,06.

Znakomicie udokumentowany (Rys.7.67 – 7.76), opracowany układ świetlno-optyczny podzielony na 4 sekcje, umożliwi kształtowanie rozsyłów innych niż obrotowo-symetryczne. Indywidualne ustawienie odbłyśników w poszczególnych sekcjach pozwala na złożenie wypadkowego rozsyłu strumienia świetlnego z czterech głównych składowych dla osi poprzecznej i podłużnej, przez co stworzone zostały możliwości kreowania warunków oświetleniowych w zależności od chwilowych potrzeb, zapewniając dużą elastyczność zastosowań.

Ważnym, istotnie wpływającym na wartość i praktyczne znaczenie rozprawy jest weryfikacja opracowanego modelu z wykonanym prototypem, co zawiera Rozdział 8. Wykonanie prototypu to trudne, wymagające szerokiej wiedzy z różnych obszarów nauki i techniki zadanie. Składa się na nie: wykonanie obudowy z radiatorom, układu zasilania i sterowania, modułów LED, opracowania technologii produkcji i wytworzenie odbłyśnika, opracowania mechanizmów poruszania elementami optycznymi. Jednocześnie ten etap pracy pokazuje przygotowanie Doktoranta do samodzielnego rozwiązywania zagadnień projektowych i technologicznych. Wyznaczono strumień świetlny oraz sprawność optyczną przy różnych ustawieniach oprawy oraz krzywe rozsyłu światłości dla różnych konfiguracji rozsyłu (Rys. 8.9 – 8.18) i porównano je z wynikami symulacji (Tabela 8.1).

Błąd względny strumienia świetlnego oprawy nie przekracza 3,36%. Sprawność optyczna oprawy prototypowej waha się w zakresie od 72,2 % do 75,9%, w zależności od typu rozsyłu i jest nieznacznie wyższa od wyników symulacyjnych. Należy podkreślić, bardzo dobrą zgodność wartości zmierzonych z danymi uzyskanymi w drodze symulacji, a niewielkie różnice przemawiają na korzyść oprawy (są powyżej wartości uzyskanych z symulacji).

Także dużą zgodność wykazują wyniki pomiarów temperatury oprawy z danymi symulacyjnymi – różnice nie przekraczają 5%. To wszystko dowodzi słuszności przyjętych założeń i działań związanych z wytworzeniem prototypu oprawy. To osiągnięcia godne uznania.

Postawione zadanie mgr inż. Marcin Leśko rozwiązał w sposób oryginalny, wykazując tym samym bardzo dobre przygotowanie do samodzielnego rozwiązywania zagadnień zarówno teoretycznych, jak też związanych z praktyczną realizacją eksperymentu.

Potwierdził to poprzez działania mające na celu udowodnienie postawionej tezy - w szczególności:

1. Opracowaniu koncepcji układu świetlno-optycznego oprawy o zmiennej bryle fotometrycznej.
2. Modelowaniu systemu świetlno-optycznego oprawy (powierzchni odbłyśnika, układu optycznego, analiza termiczna układu, badania symulacyjne układu świetlno-optycznego).
3. Budowie prototypu oprawy oświetleniowej.
4. Weryfikacji wyników analiz – porównaniu wyników uzyskanych w drodze modelowania z parametrami prototypu.
5. Opracowaniu podstaw procesu technologicznego wytwarzania zaprojektowanej oprawy.

Jako oryginalne osiągnięcia autora uważam:

1. opracowanie metody kształtowania zmiennej bryły fotometrycznej.

2. Opracowanie modelu układu świetlno-optycznego o zmiennej bryle świetlnej stosownie do przyjętych założeń.
3. Wyznaczenie wpływu elementów układu świetlno-optycznego na możliwość kształtowania zmiennej bryły fotometrycznej.
4. Określenie wpływu właściwości odbiciowych materiałów na kształtowanie zmiennego rozsyłu strumienia Świetlnego.
5. Budowę prototypu oprawy oświetleniowej z układem świetlno-optycznym umożliwiającym kształtowanie zmiennej bryły fotometrycznej.
6. Zgłoszenie patentowe pt.: "Układ świetlno-optyczny oprawy oświetleniowej LED" nr P.433977 z dnia 14 maja 2020 r.

W tym miejscu należy wskazać na wyjątkowo obszerną, staranną, szczegółową analizę i interpretację uzyskanych wyników oraz ocenę niepewności pomiarów.

Wszystko to stanowi wartościowy dorobek Autora i czyni rozprawę znaczącą w zakresie badań, projektowania i wytwarzania nowych konstrukcji oświetleniowych o zmiennej bryle świetlnej. Rozprawa wyróżnia się ona oryginalnymi walorami poznawczymi, użytkowymi i wdrożeniowymi, przez co będzie przydatną pracownikom naukowym jak również projektantom i wykonawcom nowej generacji opraw oświetleniowych o zmiennym rozsyłe.

Przyjęte w rozprawie założenia są uzasadnione, właściwy dobór metod badawczych i pomiarowych oraz wnioski wynikające z wykonanej pracy pozwalają stwierdzić, że postawione Autorowi zadanie zostało rozwiązane poprawnie, a cel rozprawy osiągnięty.

Uwagi wynikające z lektury rozprawy:

1. Niejasne w trakcie lektury rozdziału 6 jest pochodzenie krzywych 6.7, 6.10, 6.12, 6.13, 6.14, 6.16, 6.18, 6.20, 6.22, 6.25, 6.27. Należy przypuszczać, że są one wynikiem przeprowadzonych analiz z wykorzystaniem programu Photopia, przedstawionego dopiero w rozdziale 7.
2. Na str.41 użył Autor (pochodzące z języka angielskiego) określenie „intensywność świecenia” - niezgodnie z polskim nazewnictwem.
3. Uważam, że tytuł rozdziału 7.2.5 „Analiza materiałowa optycznie aktywnej powierzchni odbłyśnika” jest zbyt daleko idący ponieważ Autor analizuje w nim (i słusznie) tylko kierunkowo-rozpraszające właściwości powierzchni - nie wnika w wewnętrzną strukturę materiałów. Zgrabniej byłoby użyć określenia: analiza rozpraszających właściwości aktywnej powierzchni odbłyśnika.
4. Proszę o skomentowanie (ocenę) uzyskanego stopnia koncentracji wiązki świetlnej $k = 3,06$ (str. 120).

Powyższe mało znaczące uwagi podnoszę z racji obowiązku recenzenta. W najmniejszym stopniu nie wpływają one na wartość recenzowanej rozprawy doktorskiej, którą oceniam bardzo wysoko.

Pan mgr inż. Marcin Leśko samodzielnie rozwiązał trudny problem naukowo-badawczy, co wymagało zarówno wysokiego zasobu interdyscyplinarnej wiedzy teoretycznej jak też zawansowanych umiejętności eksperymentalnych. Na podkreślenie zasługuje też to, że Autor rozwiązał postawione zadanie w sposób kompleksowy – od analizy stanu wiedzy poprzez własne badania i doświadczalną weryfikację ich wyników,



kończąc na przykładzie praktycznego wykorzystania wyników badań – propozycji oryginalnej konstrukcji oprawy oświetleniowej o zmiennym kącie rozsyłu strumienia świetlnego. Rozprawa jest wzorcowym przykładem realizacji zadania badawczego w wyższej uczelni technicznej.

Osiągnięcia poznawcze zaprezentowane w pracy mgr inż. Marcina Leśko pozwalają na stwierdzenie, że spełnia ona wszelkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika i wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony oraz o jej wyróżnienie, zgodnie z wnioskiem będącym integralną częścią tej recenzji.

Białystok, 02.12.2021 r.



Handwritten text, possibly a signature or date, located in the lower right quadrant of the page.

Prof. dr hab. inż. Jan Dorosz
Politechnika Białostocka
Wydział Elektryczny

Wniosek o wyróżnienie rozprawy mgr Marcina Leśko pt.: „Oprawa oświetleniowa o zmiennej bryle świetlnej”

Mgr inż. Marcin Leśko swoją rozprawą doktorską wskazał nowy kierunek w projektowaniu i wytwarzaniu opraw oświetleniowych. To nowatorskie rozwiązanie pozwala na zmianę rozsyłu strumienia świetlnego stosownie do zmiennych potrzeb oświetleniowych. Możliwości w zakresie zmian tego rozsyłu dostępnych opraw oświetleniowych są ograniczone – praktycznie żadne. Opracowanie oprawy oświetleniowej o szerokich możliwościach adaptacji rozsyłu z zastosowaniem źródeł promieniowania LED nie jest zadaniem łatwym. Niepełna symetria układu świetlno-optycznego oraz konieczność uzyskania za jego pomocą bryły fotometrycznej obrotowo-symetrycznej, symetrycznej oraz asymetrycznej zdecydowanie komplikują to zadanie.

Doktorant zaproponował oryginalne rozwiązanie i przy przyjętych założeniach przeprowadził kompleksową analizę wszystkich elementów tworzących oprawę wykorzystując metody analityczne, graficzne oraz narzędzia symulacyjne. Na podstawie wyników tej analizy zaproponował układ świetlno-optyczny złożony z paneli ze źródłami LED wyposażonymi w soczewki oraz, co jest szczególnie nowatorskie, z ruchomych odbłyśników w formie torusa parabolicznego otwartego. Uwzględnił też problemy termiczne w oprawie wynikające z grupowania źródeł LED na panelu oraz, będące tego następstwem, zagadnienia związane z zagrożeniem olśnieniem, wynikającym z wysokiej luminancji tych źródeł. Na podkreślenie zasługuje też to, że mgr inż. Marcin Leśko dokonał praktycznej weryfikacji uzyskanych wyników - zbudował prototyp oprawy oświetleniowej oraz przeprowadził badania eksperymentalne, których celem było wyznaczenie rzeczywistych parametrów i porównanie ich z danymi uzyskanymi w drodze symulacji. Bardzo zbieżne wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych potwierdzają poprawność opracowanej konstrukcji.

Pan mgr inż. Marcin Leśko samodzielnie rozwiązał trudny problem naukowo-badawczy. Wymagało to głębokiej interdyscyplinarnej wiedzy teoretycznej oraz zawansowanych umiejętności praktycznych - w tym i eksperymentalnych. Na podkreślenie zasługuje też to, że Autor rozwiązał postawione zadanie w sposób kompleksowy – od analizy stanu wiedzy poprzez własne badania i doświadczalną weryfikację ich wyników, kończąc na przykładzie praktycznego wykorzystania wyników badań – propozycji oryginalnej konstrukcji oprawy oświetleniowej o zmiennym kącie rozsyłu strumienia świetlnego, czego potwierdzeniem jest zgłoszenie patentowe P.433977 z dnia 14 maja 2020 r., a także publikacje o krajowej i międzynarodowej cyrkulacji prezentujące wyniki badań realizowanych w ramach tej rozprawy.

Na powyższej podstawie wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Marcina Leśko pt.: „Oprawa oświetleniowa o zmiennej bryle świetlnej”.

Białystok, 02.12.2021 r.



1700 of 01041