

doi:10.15199/48.2018.02.30

Kształtowanie odbłyśnika na potrzeby asymetrycznego, LED-owego naświetlacza iluminacyjnego

Streszczenie. Artykuł prezentuje czynności związane z konstrukcją układu optycznego asymetrycznego LED-owego naświetlacza iluminacyjnego, którego celem jest wytworzenie równomiernego rozkładu luminancji na oświetlanej elewacji przy asymetrycznym usytuowaniu oprawy w bliskiej odległości. Przedstawiona konstrukcja jest modyfikacją poprzedniej konstrukcji autora bazującej na źródle wyładowczym.

Abstract. The article presents activities related to the construction of an optical asymmetric LED floodlighting reflector, the purpose of which is a production of even distribution of luminance on an illuminated facade with asymmetric location of the reflector in close distance. The presented construction is a modification of the original design of the author based on the discharge light source. (**Shaping reflector for asymmetric LED floodlighting reflector**).

Słowa kluczowe: iluminacja obiektów, oprawy oświetleniowe, projektowanie opraw oświetleniowych, rozkład luminancji

Keywords: floodlighting, luminaires, luminaires design, luminance distribution

Wprowadzenie

Problem nierównomiernego rozkładu luminancji w obrębie powstałego oświetlonego obszaru (plamy świetlnej) na obiekcie, przy zastosowaniu obecnych na rynku opraw iluminacyjnych, jest znany [1, 2, 3]. Dotyczy on zarówno konstrukcji, w których zastosowano tradycyjne, jak również nowoczesne źródła światła (LED). Problem ten wpływa negatywnie na odbiór oświetlonej elewacji, zarówno w wymiarze całej powierzchni jak i jej poszczególnych części takich jak np. pilastry. Obserwacja nocą powierzchni, która jest oświetlona w sposób nierównomierny, powoduje zaburzenie odbioru jej cech geometrycznych i faktury powierzchni.

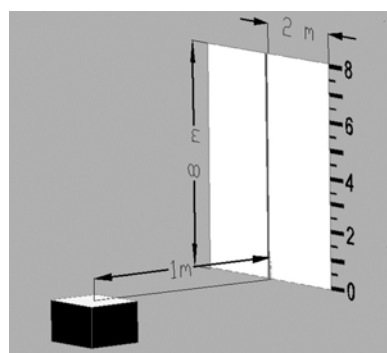
Jeżeli celem iluminacji obiektów, która staje się coraz bardziej popularna, ma być zachowanie w porze nocnej poprawnej percepcji geometrii obiektów, a nie ich deformacja, niezbędne jest odpowiednie konstruowanie układów optycznych opraw oświetleniowych.

Cel podjętych badań

Autor artykułu podjął działania zmierzające do rozwiązania opisanego problemu. W pracy [1] została opisana konstrukcja układu optycznego wykorzystująca jako źródło światła kompaktową lampę metalohalogenkową. Źródło to należy do grupy wysokoprężnych lamp wyładowczych, obecnie określanych mianem tradycyjnych źródeł światła. Obecnie występuje w rynku oświetleniowym coraz większy udział źródeł elektroluminescencyjnych (LED), zwanych nowoczesnymi źródłami światła. W związku z tym od kilku lat coraz częściej przez konstruktorów opraw oświetleniowych stosowane są jako źródła światła LED-y. Siłą napędową tego procesu są regulacje UE mające na celu wzrost efektywności stosowanego oświetlenia elektrycznego oraz tworzenie nowych gałęzi przemysłu, jak i rozwoju już istniejących. Mając to na uwadze autor postanowił zbadać czy można zastosować opracowaną w pracy [1] metodykę stosując jako źródło światła LED, w miejsce zastosowanej kompaktowej lampy metalohalogenkowej i jakie będzie to miało skutki.

Projektowany układ optyczny

W celu poprawnego zrozumienia budowy projektowanego układu optycznego, na rysunku 1 przedstawiono widok perspektywiczny rozpatrywanego urządzenia oświetleniowego (oprawy oświetleniowej i obiektu oświetlanego), zarówno w niniejszej pracy, jak również w pracy [1].



Rys.1. Widok w perspektywie rozpatrywanego urządzenia oświetleniowego: po lewej prostokątny korpus oprawy oświetleniowej, po prawej stronie oświetlana powierzchnia z zaznaczonym pionowym odcinkiem będącym osią symetrii plamy świetlnej oraz podziałką położenia

Na rysunku 2 znajduje się przedstawiony w pracy [1] układ optyczny składający się z kompaktowej lampy metalohalogenkowej CDM-T o mocy 70W, soczewki i odbłyśnika rynnowego, tzn. powstałego poprzez „wyciągnięcie” określonego profilu w kierunku wektora prostopadłego do płaszczyzny zawierającej ten profil. Profil odbłyśnika podlegał odpowiednim modyfikacjom, tak aby układ optyczny oparty na takim profilu pozwalał na uzyskanie wyrównanego przebiegu rozkładu luminancji wzdłuż osi symetrii powstałej na obiekcie plamy świetlnej (rys. 1). Natomiast podstawy (powierzchnie kończące) rynnę odbłyśnika nie należały do wspomnianego profilu odbłyśnika i były oddzielnie kształtowane.



Rys.2. Wizualizacja zaprojektowanego układu optycznego umieszczonego w przykładowym korpusie (wizualizacja Rafał Krupiński)

Dobór źródła światła LED

Definiując wymagania fotometryczne dla projektowanego w niniejszej pracy układu optycznego, w postaci wytworzenia określonego poziomu i rozkładu luminancji na określonej powierzchni obiektu (proporcjonalnego do poziomu natężenia oświetlenia), należy dostarczyć odpowiednią wartość strumienia świetlnego na powierzchnię obiektu. Strumień padający na powierzchnię oświetlaną, stanowi co najmniej strumień źródła światła, skorygowany w następstwie odpowiedniego wykorzystania strumienia świetlnego oprawy w oświetleniu obiektu jak i jej sprawności. Jednak ze względu na brak znajomości zastosowanego układu optycznego a priori, można jedynie oszacować wymagany strumień świetlny źródła. Odnosząc się więc do pola powierzchni S oświetlanej płaszczyzny założonego urządzenia oświetleniowego (8 m x 8 m) o współczynniku odbicia $\rho=0,63$, jak również założonego poziomu luminancji L na poziomie 12 cd/m², można określić strumień świetlny Φ_p padający na powierzchnię obiektu jako [4]:

$$(1) \Phi_p = \frac{L \pi S}{\rho} = \frac{12 \pi 64}{0,63} \approx 3830 \text{ lm}$$

Strumień świetlny źródła światła będzie natomiast strumieniem świetlnym padającym, powiększonym o strumień strat w układzie optycznym, jak również strumień wysłany z oprawy poza obiekt oświetlany. Oba tych strumieni nie można określić przed zdefiniowaniem gotowej konstrukcji układu optycznego. Niemniej jednak wykorzystując badania autora w pracy [3], dla opraw z asymetryczną bryłą fotometryczną, iloczyn sprawności oprawy i wykorzystania strumienia świetlnego oprawy w oświetleniu obiektu (η) można szacunkowo przyjąć na poziomie 0,5. W wyniku tego strumień źródła światła Φ_{zr} powinien szacunkowo wynosić:

$$(2) \Phi_{zr} = \frac{\Phi_p}{\eta} = \frac{3830}{0,5} \approx 7660 \text{ lm}$$

Strumień świetlny o wartości 7660 lm cechuje źródła średniostrumieniowe (100 000 $\geq \Phi_{zr} \geq$ 1000 lm) najczęściej stosowane do celów iluminacyjnych.

Brane pod uwagę źródła światła LED do zastosowania w niniejszej konstrukcji układu optycznego stanowiły zawartość biblioteki źródeł światła dostępnej w programie do symulacji fotometrycznych Photopia, w czasie realizacji pracy [5]. W bibliotece tego programu źródła światła LED dysponują strumieniami świetlnymi zawierającymi się w bardzo szerokim zakresie. Współpraca LED z elektronicznymi zasilaczami daje dodatkowo potencjał na płynną regulację strumienia świetlnego i co za tym idzie „precyzyjne” dopasowanie jego wartości do konkretnego zastosowania. Takiej precyzji doboru nie było w przypadku lamp wyładowczych rozpatrywanych w pracy [1].

Drugim po strumieniu świetlnym istotnym parametrem charakteryzującym źródło światła jest luminancja gabarytowa L_g bryły świecącej źródła [6]. Jej wartość ma decydujący wpływ na bryłę fotometryczną opraw wykorzystujących kierunkową reakcję strumienia świetlnego z powierzchniami optycznie czynnymi. W rozpatrywanym zadaniu oświetleniowym wymagane są duże wzmocnienia światłości źródła, aby oświetlić wysoko położone części obiektu przy stosunkowo skośnym kierowaniu wiązki świetlnej. Tak więc od źródła światła wymaga się, aby należało do grupy źródeł wysokoluminancyjnych, tzn. $L_g > 10^6$ cd/m². Źródła LED należą do tej grupy źródeł.

Oprócz parametrów fotometrycznych źródła (strumienia świetlnego i luminancji), niemniej ważna z punktu widzenia

konstrukcji układu optycznego jest zwartość bryły świecącej źródła [6]. Wielkość (zwartość) bryły świecącej wpływa na rozbieżność kątową odbicia i przepuszczania elementarnego. Im wymagana jest większa precyzja ukierunkowania wysłanego z oprawy strumienia świetlnego, tym bryła świecąca musi mieć mniejsze gabaryty, przy ustalonych rozmiarach oprawy. Nawiązując więc do wymaganych dużych wzmocnień światłości, należy wybrać źródło o skupionej bryle świecącej. Jest wiele konstrukcji LED różniących się zarówno gabarytami powierzchni, z której emitowany jest strumień świetlny, jak również samą budową tej powierzchni. Oczywiście jest, że im większy strumień świetlny, tym większy gabaryt źródła. Wzrasta wtedy także liczba pojedynczych kryształów, z których zbudowany jest LED. Na rysunku 3 zostały przedstawione typowe konstrukcje źródeł światła LED. Ich cechą wspólną jest posiadanie wielu pojedynczych kryształów emitujących strumień świetlny, powłoki luminoforu nałożonej indywidualnie na poszczególne kryształy, bądź jako wspólna powierzchnia na wszystkie kryształy. Niekiedy pojawiają się nałożone na luminofor przezroczyste kopułki. Gabaryty przedstawionych źródeł są jednak porównywalne z gabarytem jarznika lampy metalohalogenkowej, którą zastosowano w konstrukcji opisanej w pracy [1].

Zastosowanie diod elektroluminescencyjnych prowadzi do powstania innych układów optycznych niż dla wysokopięnych źródeł wyładowczych (stanowiących obszar zainteresowania pracy [1]). Powodem tego jest emisja strumienia świetlnego w jedną półprzestrzeń z płaszczyzny a nie w całą przestrzeń z bryły, tak jak ma to miejsce w przypadku pozostałych źródeł. Jest to korzystna cecha tych źródeł, jeżeli weźmiemy pod uwagę potrzebę emisji strumienia świetlnego z oprawy oświetleniowej w jedną półprzestrzeń.

Dostępne obecnie na rynku elektroluminescencyjne oprawy oświetleniowe posiadają z reguły współpracujące z poszczególnymi diodami obrotowo-symetryczne soczewki, bądź kolimatory masywne [7, 8]. Modyfikacje takich konstrukcji polegają głównie na wprowadzeniu na zewnętrzną powierzchnię soczewki pasów pryzmatycznych (ryfli), które rozciągają wiązkę świetlną w jednym kierunku. Takie konstrukcje nie są jednak dostosowane do rozwiązywanego w niniejszej pracy zadania oświetleniowego i trudno traktować je jako odniesienie w trakcie projektowania i oceny powstałego układu.

Mając powyższe na uwadze, autor do dalszych rozważań postanowił wykorzystać źródło światła LED produkcji Lumileds model: LXS9-PW30-0017, o strumieniu świetlnym wynoszącym 2200 lm i mocy 32,9 W. Na decyzję miała wpływ potrzeba posiadania źródła zarówno fizycznie, tak aby przeprowadzić jego pomiary fotometryczne, jak również w programie symulacyjnym w postaci modelu.

Strumień ten stanowi 30% oszacowanego strumienia wynoszącego 7660 lm. Jednak będzie miało to wpływ jedynie na uzyskiwany poziom luminancji przyjęty jako 12 cd/m², a nie na równomierność oświetlenia, która jest kluczowym aspektem [4]. Sposób dochodzenia do końcowego rozwiązania, w żaden sposób nie zmienia się, przyjmując mniejszy strumień świetlny.

Autorskie narzędzie obliczeniowe

Kształotowanie układu optycznego wykorzystywało autorskie narzędzie obliczeniowe stanowiące element poprzednich prac autora [1, 9, 10, 11]. Pierwszym etapem autorskiej metody obliczeniowej jest zarejestrowanie matrycowym miernikiem luminancji rozkładów luminancji uzyskanych na płaskim ekranie pomiarowym usytuowanym powyżej granicznej odległości fotometrowania po

oświetleniu go przez samo źródło światła. Kierunki usytuowania ekranu względem źródła powinny odpowiadać kierunkom, w których występować mają elementy odbłyśnika, patrząc od strony środka źródła światła. Tak powstały zbiór rozkładów luminancji stanowi dane wejściowe do obliczeń.

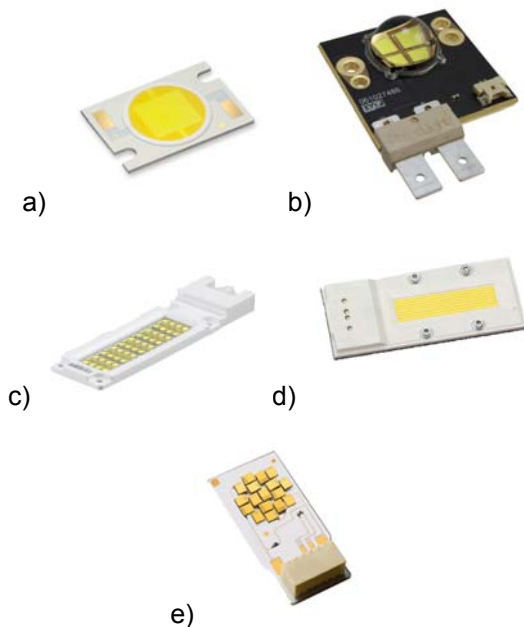
Następnie zakładając użycie płaskich elementów idealnie zwierciadlanych, można przekształcić zarejestrowany rozkład luminancji na ekranie pomiarowym na rozkład luminancji powstały na oświetlanej płaszczyźnie. Potrzeba jedynie przeliczyć poszczególne wartości luminancji punktów z ekranu na wartości luminancji punktów na oświetlanym obiekcie biorąc pod uwagę zmianę odległości i kąta położenia kolejnych punktów względem źródła światła.

Takie podejście pozwala wyznaczyć jednak jedynie rozkład luminancji na obiekcie pochodzący od dostatecznie dużej powierzchni odbijającej światło. Uzyskany w taki sposób rozkład luminancji będzie jedynie ograniczony przez rozmiary ekranu pomiarowego. Jest to więc sytuacja w praktyce niewystępująca.

W celu określenia rozkładu luminancji na powierzchni obiektu pochodzącego od płaskiej powierzchni zwierciadlanej o wymiarach porównywalnych z wymiarami bryły świecącej źródła światła, należy w obliczeniach uwzględnić powstanie stref przejściowych na wyznaczonej płaszczyźnie. Strefy przejściowe na granicy plamy świetlnej zawierają punkty, które są oświetlane tylko przez część źródła światła, z uwagi na skończone wymiary powierzchni odbijającej.

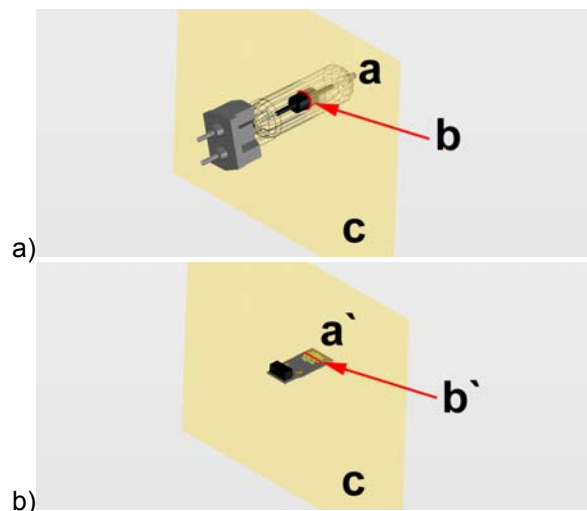
Adaptacja autorskiego narzędzia obliczeniowego

Adaptacja autorskiego narzędzia obliczeniowego była przeprowadzona, tak aby wykonywać obliczenia układu optycznego zawierającego źródło światła LED, a nie tak jak dotychczas kompaktową lampę metalohalogenkową.



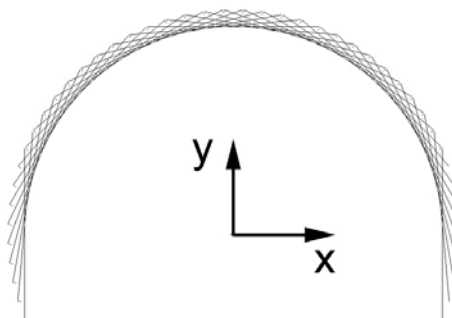
Rys.3. Przykładowe konstrukcje źródeł LED: a) zbiór kryształów przykryty wspólnym luminoforem, b) cztery kryształy pokryte indywidualnie luminoforem i przykryte wspólną przezroczystą kopułką, c) zbiór kryształów, każdy pokryty luminoforem i z naniesioną indywidualną przezroczystą kopułką, d) zbiór kryształów ułożonych w rzędy, każdy rząd przykryty oddzielnym luminoforem, e) zbiór kryształów, każdy pokryty luminoforem (fotografie z katalogów producentów)

Model źródła światła zastosowany w autorskiej metodzie obliczeniowej wykorzystuje geometrię elementu emitującego strumień świetlny oraz właściwe dla niego rozkłady luminancji. Rozkłady te należą do dwóch zbiorów: rozkładów luminancji na ekranie pomiarowym i rozkładów luminancji charakteryzujących powierzchnię emitującą strumień świetlny.



Rys.4. Model geometryczny źródła światła: a) stosowany w pracy [1] – lampa metalohalogenkowa, b) zastosowany w niniejszej pracy – źródło LED

Model geometryczny źródła światła **a** w przypadku lampy wyładowczej stanowił okrąg **b** opisany na przekroju poprzecznym jarznika (rys. 4a). Okrąg ten leży na płaszczyźnie analizy **c** (płaszczyzna prostopadła do osi symetrii przechodząca przez środek jarznika). Zastosowanie dwuwymiarowej geometrii modelu źródła światła zamiast trójwymiarowej wynikało z przyjętych założeń metody obliczeniowej [1, 9, 10, 11]. W odniesieniu do źródła LED (rys. 4b), źródło **a'**, model geometryczny **b'** wygląda odmiennie. W miejsce okręgu pojawia się odcinek. Efektem tego stało się uproszczenie prowadzonych w autorskim narzędziu obliczeniowym operacji.

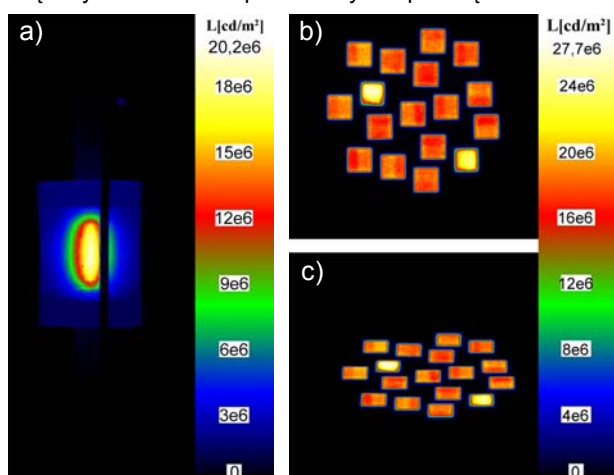


Rys.5. Model symulacyjny umożliwiający uzyskanie rozkładów luminancji na ekranach pomiarowych (zrzut ekranu z programu Photopia [4])

Celem, dla którego są stosowane rozkłady luminancji ekranu pomiarowego jest wyznaczenie odniesieniowych rozkładów luminancji związanych z poszczególnymi częściami przestrzeni otaczającej źródło światła. Następnie na ich podstawie wyznaczane są rozkłady powstałe na powierzchni oświetlanego obiektu, w związku z wprowadzeniem płaskiego elementu odbłyśnika zwierciadlanej w określoną część przestrzeni otaczającej źródło światła.

Rozkłady luminancji wytworzone na ekranie pomiarowym mogą być rejestrowane w laboratorium przy użyciu matrycowego miernika luminancji. Jednak, zarówno w pracy [1], jak i w niniejszej pracy, zastosowano odmienne podejście wykorzystujące symulację komputerową. W oparciu o aplikację Photopia firmy LTI Optics [5], wykorzystującą metodę obliczeniową Monte-Carlo, zdefiniowano model symulacyjny składający się ze źródła światła i ekranu pomiarowego o jednej linii punktów pomiarowych (zgodnie z przyjętymi założeniami metody).

Na rysunku 5 został zaprezentowany widok modelu symulacyjnego dla źródła LED. Źródło znajduje się w środku układu współrzędnych. Dookoła źródła rozmieszczone są ekrany pomiarowe z krokiem kątowym wynoszącym 5°. Poszczególne ekrany są jednakowo oddalone od źródła, tak więc są styczne do okręgu. Z uwagi na półprzestrzenną emisję strumienia świetlnego przez LED, ekrany tworzą tylko połowę okręgu. W pracy [1], stosując źródło wyladowcze, ekrany tworzyły pełny okrąg. Zastosowanie źródła LED zmniejsza zbiór danych związanych z ekranem pomiarowym o połowę.



Rys.6. Rozkłady luminancji powierzchni źródła światła dla kierunku normalnego: a) stosowanego w pracy [1] – lampa metalohalogenkowa, b) zastosowanego w niniejszej pracy – źródło LED dla odchylenia od normalnej wynoszącego 0°, c) zastosowanego w niniejszej pracy – źródło LED dla odchylenia od normalnej wynoszącego 60° (fotografie b) i c) Dariusz Czyżewski)

Kolejnym zbiorem rozkładów tworzących model źródła światła są rozkłady luminancji powierzchni ciała świecącego w postaci ich rzutu na płaszczyznę matrycy miernika [12, 13, 14, 15]. Rozkłady te mają na celu wprowadzenie granic do obliczonego na powierzchni oświetlanego obiektu rozkładu luminancji. Granice te początkowo wynikają jedynie z geometrii ekranu pomiarowego a nie z geometrii danej strefy odbłyśnika.

Rozkłady luminancji źródła są rejestrowane z kierunków, w których występowały ekrany pomiarowe (rys. 5). W przypadku źródła stosowanego w pracy [1], niezależnie od rozpatrywanego kierunku, rozkład luminancji wygląda prawie identycznie. Świadczy to o jego symetrii obrotowej. Jest to zrozumiałe, gdyż walec stanowiący bryłę jarznika jest symetryczny obrotowo. Jedynie doprowadnik prądu do elektrody powoduje pojawienie się na rozkładzie luminancji „czarnego paska”, widocznego na rysunku 6a. W odniesieniu do źródła LED symetria obrotowa już nie występuje. Widać to na rysunkach 6b i 6c. Wraz ze zmianą kierunku obserwacji źródła, rozkład luminancji zmienia swoją powierzchnię, zaś luminancja pozostaje na podobnym poziomie wskazując na lambertowską emisję strumienia świetlnego z poszczególnych kryształów LED.

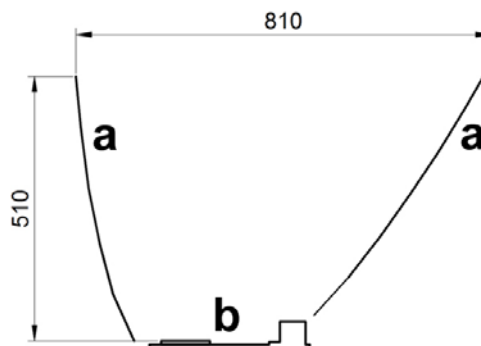
Zmiany rozkładów luminancji wraz z kierunkiem obserwacji wymuszają odpowiedni skok zmiany kierunków rejestracji rozkładów. Wykorzystane w pracy wyniki pomiarów fotometrycznych źródła posiadały wprawdzie skok 15°, ale wynikało to z dostępności wyników pomiarów fotometrycznych.

Kształtowanie układu optycznego

Kształtowanie układu optycznego było wspomagane autorską metodą obliczeniową. Jednakże z uwagi na występujące założenia metody, tylko główna część układu optycznego, w postaci odbłyśnika rynnowego, została ukształtowana w następstwie zastosowania tej metody. Przyjęte zostały idealnie refleksyjne właściwości powierzchni odbłyśnika. Wynikało to z założeń wykorzystywanej autorskiej metody obliczeniowej. Pozostałe części były kształtowane przy użyciu dostępnego autorowi oprogramowania wspomagającego projektowanie, w postaci aplikacji Photopia oraz AutoCAD. Symulacja układu optycznego w aplikacji Photopia pozwalała ponadto na określenie zmian uzyskanego efektu oświetleniowego w wyniku zastosowania materiałów o nieidealnych charakterystykach refleksyjnych.

Projektowanie układu optycznego oprawy oświetleniowej zostało rozpoczęte od profilu odbłyśnika rynnowego, który będzie stanowił główną część układu. Wyznaczenie jego geometrii, wspomagane autorską metodą obliczeniową, pozwala na powiązanie wprowadzania kolejnych płaskich stref odbłyśnika z bieżącą oceną uzyskanego rozkładu luminancji na obiekcie. Istotne jest, że w używanym arkuszu kalkulacyjnym, po zdefiniowaniu geometrii profilu danej strefy odbłyśnika, w trybie natychmiastowym jest dostępny uzyskany rozkład luminancji obiektu wzdłuż jego osi symetrii, bez potrzeby oczekiwania na wykonanie symulacji, tak jak ma to miejsce w komercyjnych aplikacjach [1, 9].

Projektując układ optyczny dla źródła LED, stosując analogiczne podejście, jak w przypadku układu zaprezentowanego na rysunku 2, niezbędne jest jednak wprowadzenie istotnej modyfikacji. Ze względu na emisję strumienia świetlnego ze źródła LED tylko w jedną półprzestrzeń, czyli odmienne niż w przypadku lampy metalohalogenkowej, należy źródło umieścić na dnie odbłyśnika. Odbłyśnik powinien rozpoczynać się w sąsiedztwie źródła. Przykładowy profil takiego układu, spełniający takie założenia prezentuje rysunek 7. Układ posiada ponadto niewielkie gabaryty w porównaniu z poprzednią konstrukcją, która wykorzystywała lampę wyladowczą.

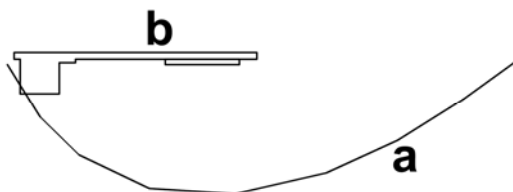


Rys.7. Profil odbłyśnika rynnowego współpracującego ze źródłem światła LED: a – profil odbłyśnika, b – źródło LED (wymiary w mm)

Wytworzony za pomocą odbłyśnika i źródła LED przedstawionego na rysunku 7 rozkład luminancji wymagał poprawy. Dodatkowo należało wprowadzić pas

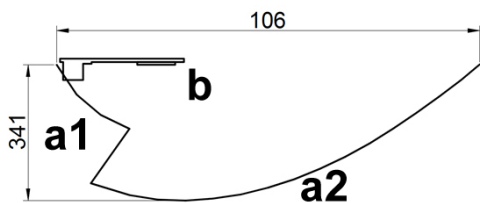
soczewkowy, analogicznie jak na rysunku 2, w celu wykorzystania strumienia świetlnego wysyłanego poza obiekt oświetlany w oświetleniu tego obiektu. Jednak przy tak małych wymiarach układu optycznego (rys. 7), umieszczenie w nim pasa soczewkowego spowodowało negatywny wpływ na uzyskany efekt oświetleniowy. Aby zmniejszyć ten niekorzystny wpływ, należałoby zwiększyć gabaryty odbłyśnika. Nie jest to jednak pożądane, gdyż dąży się obecnie do produkcji opraw oświetleniowych o kompaktowych wymiarach. Ponadto lambertowski rozsył światłości źródła LED powoduje, że na obie części odbłyśnika pada stosunkowo mało strumienia świetlnego. Jego największa część będzie padała na pas soczewkowy i to on będzie miał największy udział w tworzeniu bryły fotometrycznej układu optycznego.

Tak więc, uzasadnione stało się odejście od konfiguracji układu optycznego przedstawionego na rysunku 2, zawierającej źródło, odbłyśnik rynnowy i soczewkę. Po kilku próbach została podjęta decyzja o umieszczeniu źródła w taki sposób, aby świeciło wyłącznie na odbłyśnik rynnowy. Poglądowo taką sytuację prezentuje rysunek 8.



Rys.8. Orientacyjny profil odbłyśnika rynnowego współpracującego ze źródłem światła LED w pełni emitującym strumień świetlny na odbłyśnik: a – profil odbłyśnika, b – źródło LED

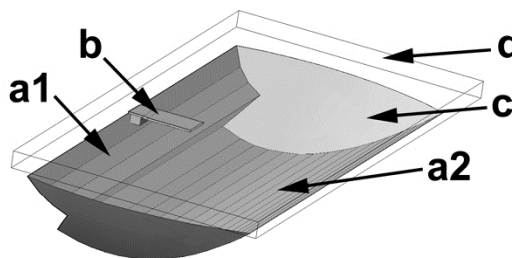
W następstwie kolejnych modyfikacji profilu przedstawionego na rysunku 8, uzyskano profil zaprezentowany na rysunku 9. Składa się on z szeregu odcinków prostych, które są ze sobą połączone końcami. W ramach profilu można wyróżnić dwie charakterystyczne części. Jedna znajduje się bliżej źródła **b** (oznaczenie **a1** – rys. 9), a druga dalej (oznaczenie **a2** – rys. 9). Powodem podzielenia profilu jest wytworzenie bardziej równomiernego rozkładu luminancji na powierzchni obiektu. Na podstawie profilu została stworzona powierzchnia odbłyśnika rynnowego poprzez wyciągnięcie profilu na długość 250 mm, symetrycznie względem źródła światła. Długość ta została z góry założona i nie podlegała dopasowaniu.



Rys.9. Wyznaczony profil odbłyśnika rynnowego współpracującego ze źródłem światła LED: a1 – bliższa część profilu odbłyśnika, a2 – dalsza część profilu odbłyśnika, b – źródło LED (wymiar w mm)

Kolejnym etapem stało się zaprojektowanie powierzchni kończących odbłyśnik rynnowy. Zastosowane zostały, podobnie jak w pracy [1], powierzchnie elipsoidalne. Jedno z ognisk każdej z elipsoid znajduje się w środku geometrycznym powierzchni zawierającej kryształ LED, drugie z ognisk znajduje się na powierzchni oświetlanej

w jej górnym obszarze. Po wprowadzeniu obu zakończeń rynny odbłyśnika, cały układ optyczny wygląda tak, jak na rysunku 10.

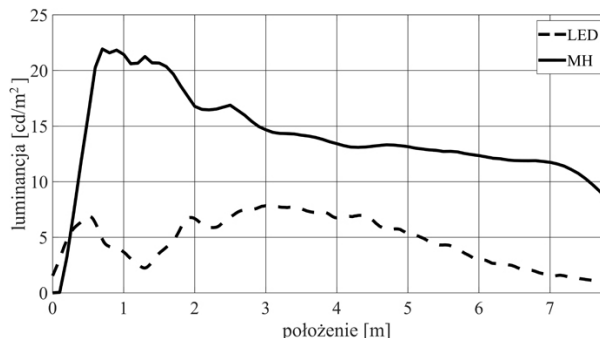


Rys.10. Widok zaprojektowanego układu optycznego w postaci modelu symulacyjnego wraz z kloszem

W budowie układu optycznego prezentowanego na rysunku 10 można wyróżnić, zgodnie z przyjętymi na rysunku oznaczeniami, bliższą część odbłyśnika **a1**, dalszą część odbłyśnika **a2**, źródło światła LED **b**, powierzchnie zakończeń odbłyśnika rynnowego **c**, przezroczysty klosz **d**. Zastosowano dwa materiały odbłyśnika – część **a2** – aluminium o kierunkowych właściwościach refleksyjnych (Alanod Miro4), zaś części **a1** i **c** – aluminium o kierunkowo-rozpraszających właściwościach refleksyjnych (Alanod Miro5013 GP). Uzyskana końcowa postać układu optycznego jest wynikiem wprowadzania kolejnych modyfikacji, na bieżąco kontrolując uzyskiwany efekt oświetleniowy.

Ocena uzyskanych wyników

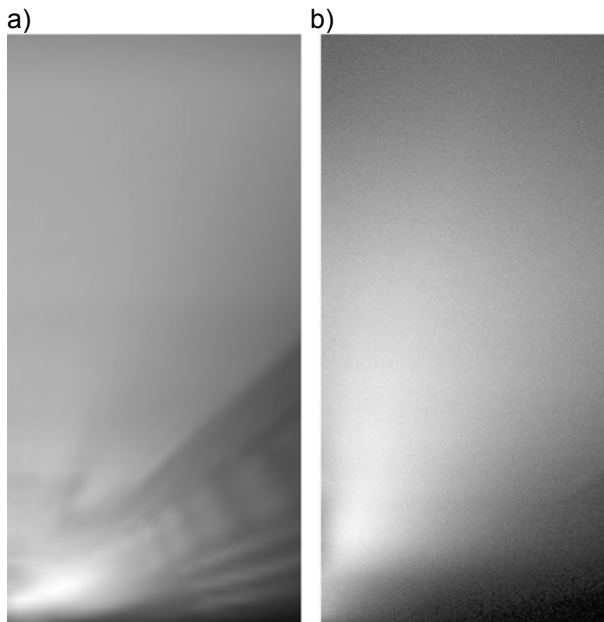
Na rysunku 11 przedstawione zostało porównanie uzyskanego rozkładu luminancji w osi symetrii wytworzonej plamy świetlnej przechodzącej przez środek obiektu oświetlanego dla układu optycznego powstałego w ramach niniejszej pracy oraz dla układu zawartego w pracy [1]. Rozkłady te wywołane są źródłami światła o różnych strumieniach świetlnych, tak więc nie należy skupiać się na osiągniętym poziomie luminancji. Analizując uzyskany rozkład luminancji (LED) można wnioskować, że jest on w mniejszym stopniu poprawny w stosunku do rozkładu uzyskanego wykorzystując poprzednią konstrukcję układu optycznego ze źródłem wyladowczym (MH). Obecna konstrukcja wytwarza mniejszy obszar o wyrównanej luminancji, dysponuje lokalnym obniżeniem luminancji w dolnej części obiektu oraz szybciej zanika oświetlenie idąc zwyż obiektu.



Rys.11. Zestawienie rozkładów luminancji powstałych na powierzchni obiektu wzdłuż pionowej osi symetrii pochodzących od zaprojektowanych układów optycznych (oś widoczna na rys. 1)

Na rysunku 12 porównywane zostały rozkłady luminancji wytworzone na połowie powierzchni obiektu zobrazowane w skali szarości. Postać tych wizualizacji w bliskości osi symetrii (wzdłuż lewej krawędzi obrazów) jest zgodna

z przebiegiem wykresów zaprezentowanych na rysunku 11. Poza osią optyczną w obu przypadkach występuje lokalne zwiększenie luminancji. Jednak w przypadku oprawy na źródło wyładowcze ma ono większą stromość. Rozkład charakteryzujący oprawę LED jest łagodniejszy i nie posiada lokalnych oscylacji luminancji, tak jak rozkład dla drugiego źródła. Prowadzi to do lepszej oceny rozkładu od oprawy LED biorąc pod uwagę obszar poza osią symetrii.



Rys.12. Wynik symulacji oświetlenia obiektu przez zaprojektowane układy optyczne w postaci wizualizacji plamy świetlnej w odcieniach szarości (wyniki z programu Photopia): a) układ ze źródłem wyładowczym, b) układ ze źródłem LED

Ocenie można również poddać granicę światła i cienia w dolnej części wytworzonej plamy świetlnej. Matematyczne ujęcie granicy światła i cienia nie zostało dotychczas sformalizowane w technice świetlnej, nawet w ujęciu do światła mijania, przy którym ocenie ma ono duże znaczenie. Z tego względu została przeprowadzona ocena oparta na podstawie rysunku 12 ukazującego wizualizację plamy świetlnej. Oprawa LED wytwarza bardziej „łagodny” rozkład luminancji, szczególnie w dolnej granicy. Zdaniem autora, przedstawione rysunki wykazują bardziej korzystną ocenę rozkładu luminancji plamy świetlnej dla opracowanej konstrukcji ze źródłem LED, mimo, że wzdłuż pionowej osi symetrii plamy świetlnej, rozkład jest lepszy dla źródła wyładowczego.

Sprawność oprawy oświetleniowej LED wynosi 0,91 i jest wyższa niż porównywanej oprawy na źródło wyładowcze wynoszącej 0,85. Wykorzystanie strumienia świetlnego oprawy oświetleniowej w oświetleniu obiektu ma charakter indywidualny, gdyż związane jest z danym urządzeniem oświetleniowych.

W przypadku konstrukcji ze źródłem LED 94% strumienia świetlnego oprawy wysyłane jest w półprzestrzeń obejmującą obiekt oświetlany, natomiast dla konstrukcji ze źródłem wyładowczym osiągnięta jest niższa wartość wynosząca 82%.

Podsumowanie

Realizacja badań doprowadziła do powstania modelu układu optycznego opartego na profilu asymetrycznego odbłyśnika rynnowego ze źródłem światła LED. Przeznaczeniem układu optycznego jest równomierne oświetlenie pionowej płaszczyzny przy usytuowaniu oprawy u jej dołu w odległości 1m od jej dolnej krawędzi. Wynik ten

jest efektem doświetlania obiektu przez kolejne strefy odbłyśnika. W trakcie badań nie udało się rozwiązać wszystkich problemów, tzn. wzdłuż osi symetrii plamy świetlnej występuje obniżenie poziomu luminancji. Spowodowane jest to cieniem rzucanym przez gabaryt źródła światła. Ponadto w sąsiedztwie środka obiektu, po obu stronach osi symetrii, są zwiększone wartości luminancji mogące sprawiać wrażenie „wypalenia światłem”. Uzyskany rozkład luminancji w przypadku oprawy ze źródłem LED doświetla obiekt równomiernie na niższą wysokość. Wykonana praca pozwoliła sprawdzić jak autorska metoda obliczeniowa zastosowana w arkuszu kalkulacyjnym będzie działać dla innego źródła światła, charakteryzującego się inną geometrią i inną charakterystyką emisji strumienia świetlnego. Uzyskano w tym zakresie pozytywne wyniki. Ponadto zbadano na ile dotychczasowa metodyka projektowania układu optycznego opisana w pracy [1] może zostać zastosowana dla innego źródła światła. Półprzestrzenna emisja strumienia świetlnego wymusiła zmianę koncepcji układu optycznego, tym samym nastąpiło odwrócenie źródła światła.

Praca naukowa finansowana ze środków na działalność statutową Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej w ramach grantu dziekańskiego w roku 2016

Autor: dr inż. Kamil Kubiak, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, Zakład Techniki Świetlnej, Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, e-mail:k.kubiak@jen.pw.edu.pl

LITERATURA

- [1] Kubiak K., Modelowanie reflektora iluminacyjnego realizującego założony rozkład luminancji obiektu, Rozprawy doktorska, Politechnika Warszawska Wydział Elektryczny, Warszawa 2015
- [2] Żagan W., Iluminacja obiektów, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003
- [3] Kubiak K., O konieczności przełamania stagnacji w iluminacyjnym sprzęcie oświetleniowym, Przegląd elektrotechniczny, R. 88, Nr 3a/2012, str. 108-114
- [4] CIE: Guide for floodlighting, Technical Report Nr 94, 1993
- [5] LTI Optics., Podręcznik użytkownika programu Photopia w wersji 2014, dostępny dla użytkowników programu
- [6] Żagan W., Oprawy oświetleniowe. Kształtowanie rozsyłu strumienia świetlnego i rozkładu luminancji, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2012
- [7] Zalewski S., Design of optical systems for LED road luminaires, Applied Optics, 2015, vol. 54, nr 2, str. 163-170
- [8] Zalewski S., Projektowanie układów optycznych do elektroluminescencyjnych źródeł światła z wykorzystaniem metody graficznej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2016
- [9] Kubiak K., The Formation of Luminaire Optics Based on a Planar Luminance Distribution, Proceedings of IV Lighting Conference of the Visegrad Countries, 26-28.09.2012 Bratislava, str. 385-391
- [10] Kubiak K., Light source modeling for utilization in asymmetric reflector design for even surface illumination, Proceedings of VI IEEE Lighting Conference of the Visegrad Countries LUMEN V4, Karpacz, 13-16.09.2016, str. 113-117
- [11] Kubiak K., Projekt reflektora iluminacyjnego realizującego wyrównany rozkład luminancji obiektu, Przegląd elektrotechniczny, R. 92, Nr 9/2016, str. 163-168
- [12] Czyżewski D., Investigation of high power LED luminance, Przegląd elektrotechniczny, R. 89, Nr 8/2013, str. 239-240
- [13] Czyżewski D., Luminance distribution of LED luminous surface, R. 86, Nr 10/2010, str. 166-169
- [14] Czyżewski D., Badania luminacji wysokomocowych diod elektroluminescencyjnych, Proceedings of IV Lighting Conference of the Visegrad Countries, 26-28.09.2012 Bratislava
- [15] Czyżewski D., Rozkład luminancji na powierzchni świecącej diod elektroluminescencyjnych, Proceedings of III Lighting Conference of the Visegrad Countries, 23-25.06.2010 Brno