

Projekt reflektora iluminacyjnego realizującego wyrównany rozkład luminancji obiektu

Streszczenie. Artykuł prezentuje wyniki związane z konstrukcją układu optycznego asymetrycznego reflektora iluminacyjnego, którego celem jest wytworzenie wyrównanego rozkładu luminancji na oświetlanej elewacji przy asymetrycznym usytuowaniu oprawy w bliskiej odległości. Przedstawiona konstrukcja jest oceniona poprzez porównanie z dotychczasowymi rozwiązaniami uwzględniające m.in. uzyskany obszar o równomiernym rozkładzie luminancji i sprawność oprawy oświetleniowej.

Abstract. The paper presents the results of the construction of the optical system of the asymmetric floodlighting reflector, the purpose of which is to produce an even distribution of luminance on an illuminated facade with asymmetric location of the reflector in close distance. The design is assessed by comparison with currently used solutions and took into account, among others, obtained area of even luminance distribution and luminaire efficiency. (**The design of floodlighting reflector for even object luminance distribution**).

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

Keywords: floodlighting, luminaires, luminaires design, luminance distribution

Wprowadzenie

Oświetlenie elektryczne stanowi decydującą rolę w egzystencji człowieka. Dzisiaj jedynie w krajach trzeciego świata możemy jeszcze spotkać ludzi, którym nie jest dane korzystać z jego dobrodziejstwa. Początkowo oświetlenie elektryczne pełniło jedynie funkcję użyteczną i stosowane było do oświetlenia wnętrz oraz terenów zewnętrznych, tak aby zapewnić odpowiednie warunki dla wykonywanych czynności wzrokowych. Odzwierciedleniem tego są wciąż odpowiednie normy [1, 2, 3]. Zgodnie z nimi należy spełnić szereg kryteriów, w tym zapewnienie równomiernego oświetlenia powierzchni. Z biegiem czasu nabrało jednak na znaczeniu oświetlenie dekoracyjne, którego pierwotną funkcją jest wywoływanie odpowiednich wrażeń estetycznych, zamiast zapewniania wydolności wzrokowej. Tak powstają liczne akcenty świetlne we wnętrzach oraz iluminacje obiektów zewnętrznych [4, 5]. Choć oświetlenie dekoracyjne nie jest ujęte w normach, to jednak w celu zagwarantowania jego poprawności staramy się przeprowadzać jego ocenę poprzez parametry zawarte w normach oświetleniowych dotyczących oświetlenia użytecznego. W taki sposób od poprawnie wykonanej iluminacji wymaga się nie wywoływania oślnienia, o które bardzo łatwo biorąc pod uwagę jaskrawy otwór wyjściowy oprawy oświetleniowej widoczny na tle ciemnego otoczenia. Ponadto stosowanie kryterium uzyskania równomiernego oświetlenia jest uzasadnione potrzebą niedopuszczenia do powstania gradientów mogących wywoływać trudności z interpretacją geometrii oświetlanego obiektu. Wiadome jest, że architektura zewnętrzna podczas jej widoku dziennego jest w pełni czytelna, a to za sprawą jej równomiernego oświetlenia pochodzącego od światła dziennego. Warto jednak dodać, że tak oświetlony obiekt posiada cienie związane z kierunkowym padaniem światła na ukształtowaną bryłę obiektu. Jednak cienie te wraz z ich dużymi gradientami luminancji (szczególnie w słoneczny dzień) nie wprowadzają w błąd, a wręcz przeciwnie, są one czynnikiem umożliwiającym interpretację przestrzenności. Dzieje się tak dlatego, że tak powstałe nierównomierności w rozkładzie luminancji są wprost powiązane z geometrią obiektu i powodują niejako akcentowanie i podkreślanie geometrii. Natomiast kiedy występujące nierównomierności luminancji wywołane są nieodpowiednią bryłą fotometryczną światłości zastosowanej oprawy oświetleniowej, czyli pochodzą od nieodpowiedniego oświetlenia elektrycznego, powstałe cienie nie są wywołane geometrią obiektu. Jednak nasz system wzrokowy

przypisuje właśnie geometrię obiektu jako przyczynę ich powstania, co utrudnia interpretację geometrii i może nawet wywoływać błędną jej interpretację. Zjawiska te występują głównie przy punktowej i mieszanej metodzie iluminacji, czyli wtedy, kiedy oprawy oświetleniowe są montowane bezpośrednio na elewacji obiektu [4, 5]. Tak więc, bryła fotometryczna światłości oprawy oświetleniowej, wraz z jej wycelowaniem i umiejscowieniem, względem płaszczyzny oświetlanej, ma istotny wpływ na wytworzony na niej rozkład luminancji. Patrząc na asortyment sprzętu oświetleniowego stosowanego do iluminacji obiektów z niewielkiej odległości, przy skośnie skierowanej wiązce strumienia świetlnego (punktowa metoda iluminacji), dominuje wykorzystanie obrotowo-symetrycznych układów optycznych. Tak ukształtowany układ optyczny nie jest w stanie wytworzyć wyrównanego rozkładu luminancji oświetlonego obiektu. Nawet stosowane asymetryczne układy optyczne, nie dają w pełni pożądanego rezultatu, szczególnie kiedy są usytuowane blisko obiektu. Nieodpowiednia bryła fotometryczna wywołuje ponadto emisję strumienia świetlnego poza oświetlany obiekt, czyli w górną półprzestrzeń oraz w kierunki, z których dany obiekt jest obserwowany. Zastrzeżenia budzi także ograniczona sprawność oprawy oświetleniowej dla takich rozwiązań [6].

W związku z powyższym nabiera znaczenia potrzeba prowadzenia prac naukowych nad odpowiednim rozwiązaniem układu optycznego, który pozwalałby na uzyskanie równomiernego rozkładu luminancji na oświetlanej powierzchni, przy skośnym kierowaniu wiązki świetlnej z bliskiej odległości.

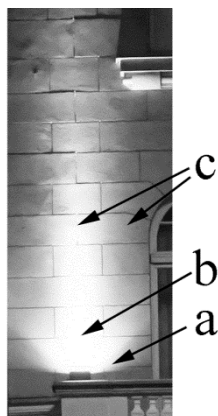
Wymagania stawiane nowej konstrukcji reflektora iluminacyjnego

Na rysunku 1 została przedstawiona przykładowa fotografia powstałej na powierzchni obiektu plamy świetlnej przy zastosowaniu punktowej metody iluminacji. Wykorzystana oprawa oświetleniowa posiada obrotowo-symetryczną bryłę fotometryczną i jest zamontowana bezpośrednio na elewacji. Taka sytuacja często występują w praktyce.

Dokonując analizy powstałych efektów oświetleniowych zaprezentowanych na rysunku 1 należy wskazać następujące problemy (zgodnie z zastosowanymi na rysunku oznaczeniami):

a) ostra granica plamy świetlnej w jej dolnej części,

- b) powstanie nadmiernych wartości luminancji w sąsiedztwie oprawy oświetleniowej, w porównaniu z wartościami w pozostałej części płaszczyzny,
- c) występująca duża nierównomierność powstałego rozkładu luminancji płaszczyzny światłej.



Rys.1. Poglądowa fotografia niekorzystnych efektów oświetleniowych występujących przy bliskim montażu opraw oświetleniowych na elewacji

Wymienione powyżej problemy, chociaż zostały zaprezentowane w następstwie użycia oprawy o optyce obrotowo-symetrycznej, zamontowanej na elewacji, występują również w przypadku opraw symetrycznych i asymetrycznych, również przy większych odległościach od elewacji, jednak znacznie mniejszych od wymiarów oświetlanej płaszczyzny.

W następstwie wymienionych powyżej problemów związanych z wytworzonym rozkładem luminancji na obiekcie, mogą wystąpić trudności z poprawnym odbiorem jego geometrii. Powstały gradient luminancji w obrębie płaszczyzny światłej na rysunku 1 powoduje wrażenie „falowania powierzchni”. Analizując przykładowe dwa punkty na rysunku 1 oznaczone strzałkami c, może być niejednoznaczne czy leżą one na tej samej płaszczyźnie.

W związku z powyższym, w celu poprawy uzyskiwanych rozkładów luminancji powstałych na płaskiej powierzchni, przy jej asymetrycznym oświetleniu z bliskiej odległości, uzasadnione jest poszukiwanie odpowiedniej konstrukcji układu optycznego. Głównym jej celem jest zapewnienie odpowiedniego rozkładu luminancji obiektu. Rozkład ten nie powinien posiadać niekorzystnych efektów wskazanych w sposób poglądowy na rysunku 1.

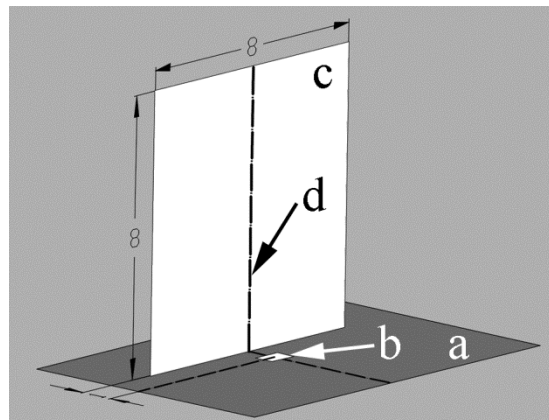
Przyjęte założenia projektowe

W celu ukształtowania konstrukcji układu optycznego oprawy oświetleniowej, spełniającej warunki podane w poprzednim rozdziale, określono szereg założeń dla samego układu optycznego, jak i całego urządzenia oświetleniowego. Na rysunku 2 zaprezentowane zostało przyjęte urządzenie oświetleniowe. Składa się ono z podłoża **a**, na którego powierzchni leży zewnętrzna płaszczyzna klosza **b** projektowanej oprawy. Oprawa ma na celu równomierne oświetlić płaską powierzchnię **c** o wymiarach 8 m x 8 m, stanowiącą oświetlany obiekt, usytuowaną prostopadle do płaszczyzny podłoża w odległości 1 m od środka geometrycznego powierzchni klosza. W ujęciu teoretycznym zakłada się równomierne oświetlenie całej powierzchni obiektu do poziomu 12 cd/m², przyjmując lambertowskie właściwości odbicia strumienia świetlnego o współczynniku odbicia 0,63 – typowym dla jasnych elewacji. Wykorzystywane w trakcie kształtowania układu optycznego autorskie narzędzie obliczeniowe, pozwalało na ocenę uzyskanego rozkładu luminancji wzdłuż

linii **d**, stanowiącej oś symetrii zarówno oświetlanej płaszczyzny, jak i powstałego rozkładu luminancji płaszczyzny światłej [7, 8]. Pozostała część rozkładu została uzyskana w wyniku symulacji komputerowej w dostępnym autorowi oprogramowaniu Photopia [9]. Wymiary klosza oprawy, jak również korpusu, nie są określone w założeniach i będą powiązane z geometrią powstałego układu optycznego. Przedstawione na rysunku 2 urządzenie oświetleniowe nie ogranicza stosowalności samej konstrukcji oprawy, jak i wykorzystania metodyki kształtowania układu optycznego dla innych wymagań.

Jako źródło światła została zastosowana kompaktowa lampa metalohalogenkowa jednostronnie trzonkowana z ceramicznym jarznikiem walcowym o mocy 70 W. Lampa ta należy do grupy źródeł średnioprędkościowych, o wysokiej luminancji ciała świecącego i o skupionym cieple świecącym. Czyni to z niej odpowiednie źródło światła do zastosowania w projektowanym układzie optycznym.

Równomierne oświetlenie (równomierny rozkład luminancji, wyrównany rozkład luminancji), jako termin często używany w niniejszej pracy, oznacza rozkład luminancji, przy założeniu lambertowskich właściwości refleksyjnych powierzchni oświetlanej, który obejmuje powierzchniowo duży obszar o bardzo równomiernym rozkładzie luminancji, o łagodnych, pod względem gradientu, granicach płaszczyzny światłej. Dopuszczalne są w jego obrębie wszelkie zmiany luminancji, które nie są dostrzegalne przez człowieka. Posługiwanie się wielkością luminancji zamiast natężeniem oświetlenia jest uzasadnione powiązaniem odczucia wizualnego jaskrawości z luminancją a nie z natężeniem oświetlenia [10]. Ponadto wymagania oświetleniowe dla iluminacji, dla której w głównej mierze jest przewidziana proponowana oprawa oświetleniowa, są zdefiniowane poprzez podanie poziomów luminancji [11].



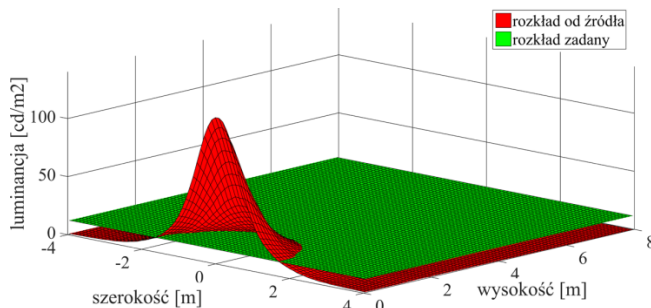
Rys.2. Geometria założonego urządzenia oświetleniowego (wymiary w metrach)

Projekt układu optycznego oprawy oświetleniowej

Odwołując się do zadania oprawy oświetleniowej, jakim jest przestrzenne przekształcenie strumienia świetlnego źródła światła, projektowanie układu optycznego można rozpocząć od przeanalizowania zakresu, w jakim postawione zadanie oświetleniowe jest realizowane przez samo źródło światła. W tym celu przeprowadzono obliczenia symulacyjne układu z rysunku 2, w którym układ optyczny stanowiło jedynie źródło światła usytuowane w odległości 1 m od dolnej krawędzi obiektu.

Rozkład luminancji pochodzący od źródła światła zaprezentowany na rysunku 3 przewyższa rozkład zadany w sąsiedztwie źródła, natomiast w pozostałej części obiektu osiąga on wartości poniżej zadanych 12 cd/m². Konsekwencją wytworzenia przez samo źródło światła

oświetlonych obszarów o wyższej, jak i niższej luminancji niż założona (tzn. 12 cd/m^2), jest wymagane pełnienie jednocześnie dwóch funkcji przez konstrukcję układu optycznego, tzn. wzmacniania i osłabiania światłości źródła światła, w zależności od kierunku [12]. Występowanie obu tych funkcji jest rzadko spotykane w konstrukcji opraw oświetleniowych. Najczęściej w celu zmniejszenia światłości źródła stosuje się jego zasłonięcie przez osłonkę promieniowania bezpośredniego, która prawie całkowicie pochłania strumień świetlny. W analizowanej konstrukcji mamy więc pełny zakres przekształcania bryły fotometrycznej światłości źródła światła, od jej wzmacniania, poprzez osłabianie, aż po całkowite wygaszanie.



Rys.3. Zestawienie rozkładu luminancji pochodzącego od samego źródła światła z zadaniem równomiernym rozkładem luminancji obiektu (współczynnik odbicia lambertowskiej powierzchni obiektu to 0,63)

Główną część powstałego układu optycznego stanowi zwierciadlany odbłyśnik rynnowy oparty na profilu linii łamanej. Kształtowanie geometrii tego elementu było wspomagane autorską metodą obliczeniową. Implementacja wykorzystanej autorskiej metody została szczegółowo opisana w poprzednich publikacjach autora i jest ograniczona do możliwości wyznaczenia profilu odbłyśnika rynnowego, dla którego efekt oświetleniowy (rozkład luminancji) jest prezentowany wzdłuż pionowej linii stanowiącej oś symetrii plamy świetlnej [7, 8]. Pozostałe elementy układu optycznego, w postaci powierzchni zamykających odbłyśnik rynnowy oraz pasa soczewkowego przekierowującego strumień świetlny emitowany ze źródła światła w kierunku otworu wyjściowego, zostały ukształtowane w następstwie stosowania metody kolejnych przybliżeń konstrukcji, wykorzystując znane rodzaje powierzchni [13, 14, 15].

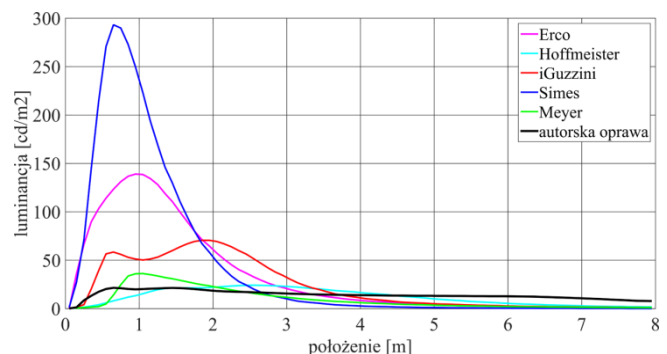
W opracowaniu konstrukcji układu optycznego można wskazać dwa podstawowe etapy. Pierwszy dotyczący określenia geometrii odbłyśnika głównego (rynnowego) i drugi związany z dodaniem kolejnych elementów. Pierwszy etap cechowała dostateczna swoboda w kształtowaniu uzyskiwanego rozkładu luminancji wzdłuż osi symetrii plamy świetlnej, związana z wykorzystaniem autorskiego narzędzia obliczeniowego. Natomiast drugi etap takiej swobody nie posiadał, a uzyskiwane wyniki, podczas kształtowania danego elementu układu optycznego, były powiązane z oddziaływaniem strumienia świetlnego z innymi elementami. Nie pozwalało to na całkowitą kontrolę rozsyłu strumienia świetlnego.

Ocena uzyskanego efektu oświetleniowego na tle rozwiązań dotychczasowych

W odniesieniu do iluminacyjnego sprzętu oświetleniowego nie występują wytyczne, które pozwalałyby na zastosowanie ich podczas porównania uzyskanych efektów oświetleniowych. Porównanie opraw oświetleniowych zostało więc przeprowadzone przy wykorzystaniu informacji o oprawach oświetleniowych

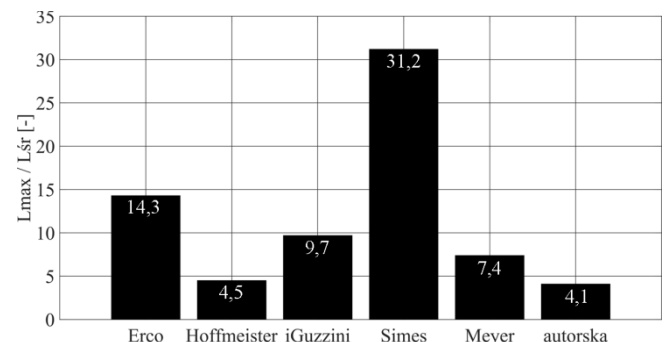
zapisanych w plikach ze zdyskretyzowaną bryłą fotometryczną. Pliki te były dostarczone przez producentów, a w przypadku opracowanego układu optycznego, były wynikiem symulacji komputerowej. Wyniki uzyskano w oparciu o obliczenia zakładające jednakowy strumień świetlny źródeł światła w każdej z porównywanych opraw, równy strumieniowi źródła zastosowanego w autorskiej konstrukcji (6500 lm). Założony został współczynnik odbicia powierzchni obiektu wynoszący 0,63 i lambertowskie odbicie strumienia świetlnego.

Na rysunkach 4 i 6 przedstawiono porównanie rozkładów luminancji uzyskanych wzdłuż osi symetrii oświetlanej powierzchni dla zaprojektowanej oprawy oraz pięciu opraw dostępnych na rynku. W przypadku jednej z opraw (Simes), maksymalna luminancja wyniosła prawie 300 cd/m^2 , co jest wartością zbliżoną do luminancji charakteryzujących wyświetlacze, np. monitora komputerowego. Jest to więc zbyt wysoka wartość dla celów iluminacji obiektów, gdzie zalecane poziomy w zależności od jasności otoczenia wynoszą 4, 6 i 12 cd/m^2 [11]. Pozostałe rozkłady znacznie różnią się wartością maksymalną, a ponadto przebiegiem rozkładu. Jedyne poziomy luminancji wytworzony przez układ optyczny autora jest bardzo zbliżony do najwyższego zalecanego poziomu 12 cd/m^2 . Duża rozpiętość maksymalnej wartości luminancji wskazuje na różne bryły fotometryczne tych opraw, a ponadto różne sprawności opraw, chociaż zadanie oświetleniowe było jednakowe dla każdej z opraw. Należało w sposób równomierny oświetlić powierzchnię obiektu usytuowaną prostopadle do płaszczyzny otworu wyjściowego oprawy, o czym nawet informowali producenci tych opraw w katalogach.



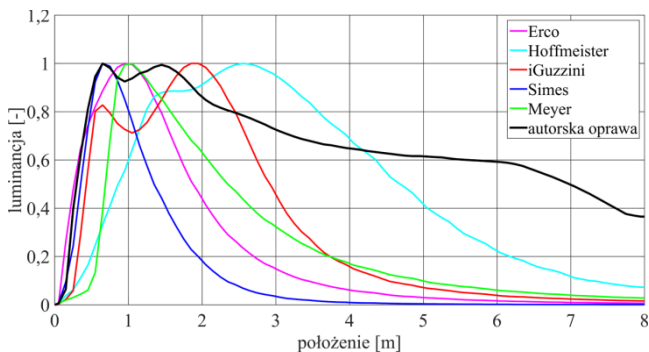
Rys.4. Rozkłady luminancji wzdłuż osi symetrii plamy świetlnej na powierzchni obiektu

Stosunek maksymalnej do średniej luminancji na całym obiekcie stanowi miarę równomierności oświetlenia obiektu i dla oprawy autora przyjmuje najkorzystniejszą (najmniejszą) wartość (rys. 5).



Rys.5. Równomierność oświetlenia obiektu wyrażona jako stosunek luminancji maksymalnej do luminancji średniej na powierzchni całego obiektu

Rysunek 6, z uwagi na unormowanie rozkładów luminancji do wartości maksymalnej, pozwala na ocenę ich kształtu. Szczególnie w aspekcie wyrównanego rozkładu luminancji. Wszystkie rozkłady rozpoczynają się blisko poziomu gruntu, następnie powstałe wartości luminancji stromo rosną do maksimum, z wyjątkiem dwóch opraw. Po jego osiągnięciu, dla większości rozkładów pojawia się od razu spadek luminancji wwyż oświetlanego obiektu, bez występowania obszaru o zbliżonych wartościach luminancji. W wyżej położonych obszarach obiektu, tylko dla autorskiej konstrukcji występuje dostateczne oświetlenie powierzchni na średnim poziomie około 13 cd/m^2 (rys. 4). Tylko dla tej oprawy widoczne jest realizowane przez zastosowany układ optyczny wzmacnianie światłości w celu doświetlenia wyżej położonych obszarów obiektu.

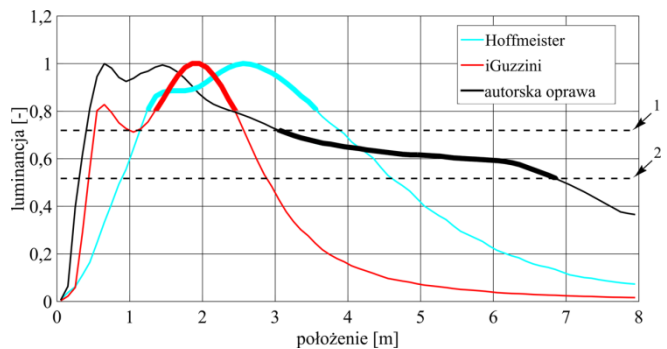


Rys. 6. Unormowane rozkłady luminancji wzdłuż osi symetrii plamy świetlnej na powierzchni obiektu

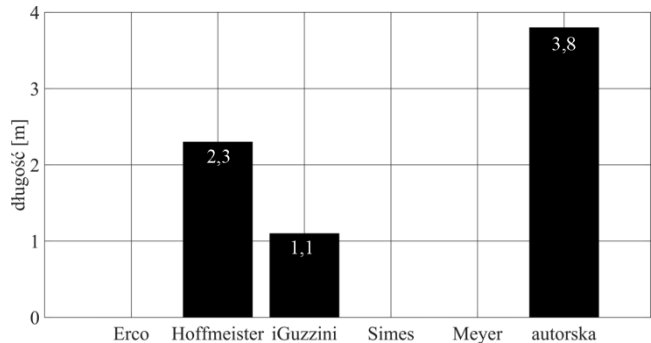
Dokonując oceny zaprezentowanych na rysunku 6 rozkładów luminancji w aspekcie wytworzenia wyrównanego rozkładu luminancji, można wskazać jedynie trzy konstrukcje opraw oświetleniowych. Należą do nich oprawy Hoffmeister, iGuzzini oraz oprawa autora. Uzyskane w wyniku ich zastosowania rozkłady luminancji prezentuje ponownie rysunek 7, jednak pod kątem określenia długości odcinka o wyrównanej luminancji wzdłuż osi symetrii plamy świetlnej.

Zdefiniowanie odcinka (obszaru w odniesieniu do całej powierzchni obiektu) o wyrównanej luminancji, związanego z równomiernym rozkładem luminancji, czy też równomiernym oświetleniem, jest niejednoznaczne. Głównym tego powodem jest pożądana ocena tego rozkładu przez wzrok człowieka (obserwatora iluminacji), który posiada określone własności, które dodatkowo podlegają zmienności w obrębie populacji. Nie każda występująca różnica pomiędzy luminancją poszczególnych części obiektu, będzie dostrzegalna w postaci różnicy jasności powierzchni. W związku z tym w technice świetlnej przyjęło się uznawać za niezauważalne 20 % zmiany wartości luminancji.

W celu zdefiniowania uzyskanego odcinka o wyrównanej luminancji, autor przeprowadził następującą analizę rozkładów luminancji na rysunku 7. Zdefiniowane zostały dwie linie (1 i 2) określające względną różnicę luminancji na poziomie 0,2. W odniesieniu do każdego z rozkładów osobno, ustalono położenie obu linii, które wyznacza największej długości odcinek rozkładu zawartego pomiędzy liniami. Takie położenie obu linii, dla rozkładu luminancji od oprawy autora, zostało przedstawione na rysunku 7. Natomiast uzyskane w wyniku takiej analizy fragmenty rozkładów wyróżniono pogrubioną linią. Długość odcinka o równomiernej luminancji dla oprawy autorskiej uległa zauważalnemu wzrostowi i wyniosła 3,8 m. Natomiast wyniki uzyskane w przypadku pozostałych dwóch opraw wyniosły 1,1 oraz 2,3 m (rys. 8).

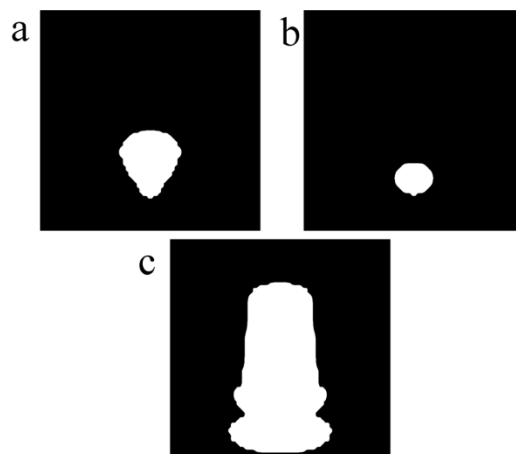


Rys. 7. Wyznaczenie długości odcinka o równomiernej luminancji wzdłuż osi symetrii plamy świetlnej



Rys. 8. Długość odcinka o równomiernej luminancji wzdłuż osi symetrii plamy świetlnej dla poszczególnych badanych opraw

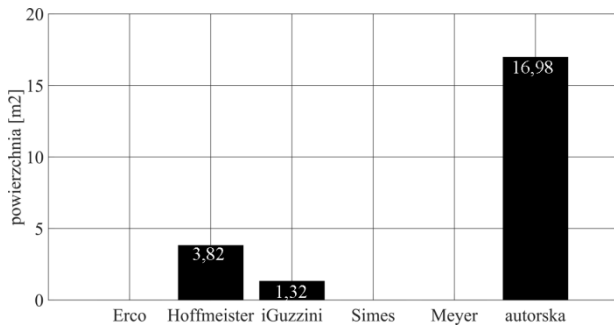
Wyznaczone odcinki rozkładów luminancji uzyskanych od poszczególnych opraw oświetleniowych na rysunku 7, posłużyły do określenia konturu obszaru o równomiernej luminancji na powierzchni oświetlanego obiektu. Wykorzystane zostały maksymalne wartości luminancji zawarte w obrębie wyznaczonych fragmentów rozkładów (rys. 7). Przy ich znajomości określono zbiór punktów na powierzchni obiektu, w których luminancja jest nie mniejsza niż 20 % tej wartości maksymalnej. W taki sposób wyznaczono, dla poszczególnych konstrukcji, kontury obszaru uzyskanej na obiekcie plamy świetlnej o równomiernej luminancji. Zostały one przedstawione na rysunku 9.



Rys. 9. Kontury obszaru o równomiernej luminancji na oświetlonej powierzchni obiektu dla oprawy: a) Hoffmeister, b) iGuzzini, c) oprawa autora

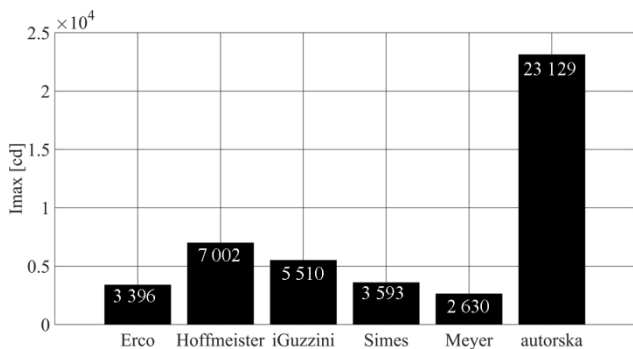
Jeżeli uwzględnimy obszar o równomiernej luminancji w obrębie całej powierzchni obiektu, to uzyskujemy 4,5 krotny

wzrost tak powstałej powierzchni w stosunku do najlepszej z badanych opraw pod tym względem (rys. 10).



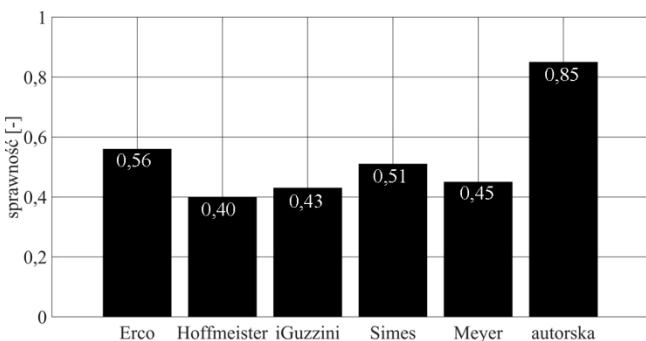
Rys.10. Powierzchnia obszaru obiektu o równomiernej luminancji

Zaprojektowany układ optyczny pozwala na uzyskanie prawie 9-cio krotnie wyższej światłości maksymalnej w stosunku do oprawy Meyer, posiadającej największą jej wartość spośród opraw badanych. Potwierdza to większe dopasowanie bryły fotometrycznej do realizowanego zadania oświetleniowego.



Rys.11. Światłość maksymalna uzyskiwana przez poszczególne z badanych opraw

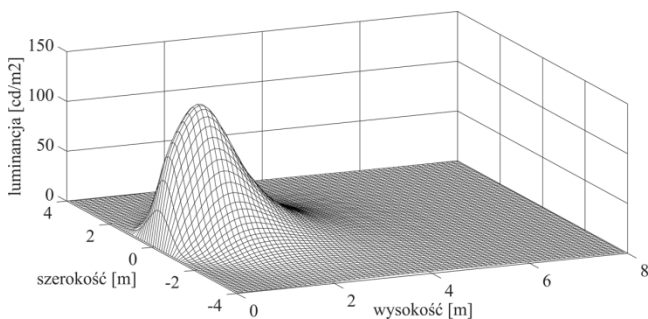
Sprawność oprawy oświetleniowej autora jest znacznie wyższa niż porównywanych opraw i wynosi 0,85 (rys. 12). Dla pozostałych opraw sprawności zawierają się w przedziale 0,40 – 0,56.



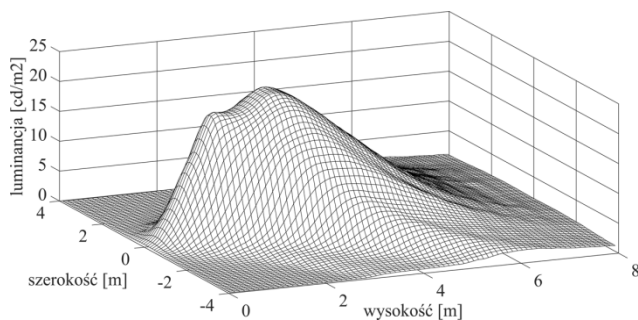
Rys.12. Sprawność oprawy oświetleniowej dla poszczególnych badanych opraw

Po prezentacji i analizie rozkładów luminancji uzyskanych na powierzchni obiektu wzdłuż osi symetrii plamy świetlnej, zaprezentowane zostaną rozkłady luminancji na całej oświetlanej powierzchni w formie wykresów trójwymiarowych na rysunkach 13 – 18. Są one wynikiem obliczeń oświetleniowych w programie Dialux, przy wykorzystaniu plików ze zdyskretyzowaną bryłą fotometryczną światłości, dla punktów na powierzchni oświetlanej tworzących siatkę ze skokiem 10 cm. Głównym

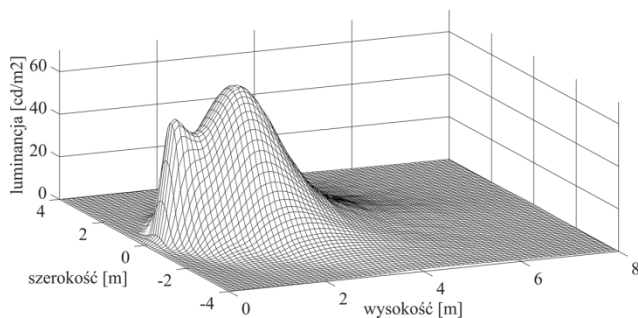
wnioskiem, który płynie z zapoznania się z tymi rozkładami, jest ich uwydatniony przebieg w dolnej części oświetlanej płaszczyzny, pozbawiony praktycznie dostatecznego oświetlenia obiektu szczególnie w górnej jego części. Wyjątkiem jest jedynie oprawa Hoffmeister i opracowana konstrukcja (rys. 14 i 18). Ponadto dostrzegana jest nierównomierność tych rozkładów. Trudno jest wskazać wyróżniający się obszar o równomiernej luminancji. Jedynie w odniesieniu do konstrukcji autora, taki obszar jest zauważalny. Chociaż u dołu obiektu rozkład nie jest równomierny, jednak występująca tam maksymalna luminancja ma akceptowalną wartość, a przy wykonaniu prototypu, można spodziewać się ograniczenia tych nierównomierności, w wyniku wzrostu rozproszenia przy zastosowaniu rzeczywistych materiałów. Przedstawione wykresy pozwalają na pozytywną ocenę rozkładu luminancji plamy świetlnej dla opracowanej konstrukcji. W przypadku wykonania prototypu oprawy, należy spodziewać się różnic wywołanych głównie zastąpieniem modelu matematycznego obiektem fizycznym, jak również występującymi tolerancjami w fazie produkcji, bądź montażu poszczególnych elementów układu optycznego [16].



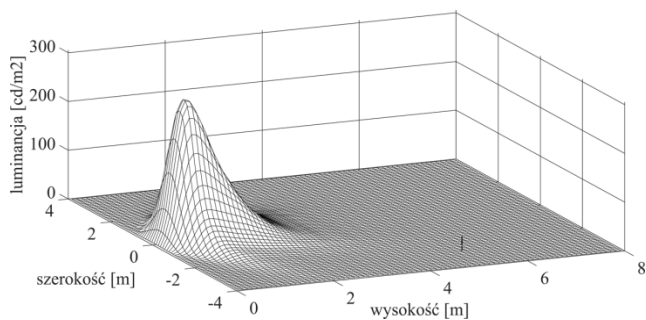
Rys.13. Wytworzony na oświetlanej powierzchni rozkład luminancji dla oprawy Erco (maksymalna luminancja to 139,1 cd/m², współczynnik odbicia lambertowskiej powierzchni to 0,63)



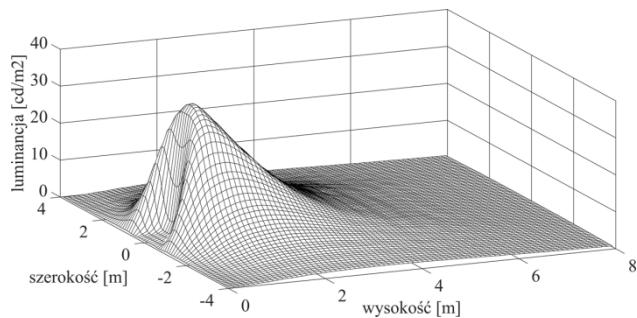
Rys.14. Wytworzony na oświetlanej powierzchni rozkład luminancji dla oprawy Hoffmeister (maksymalna luminancja to 24,1 cd/m², współczynnik odbicia lambertowskiej powierzchni to 0,63)



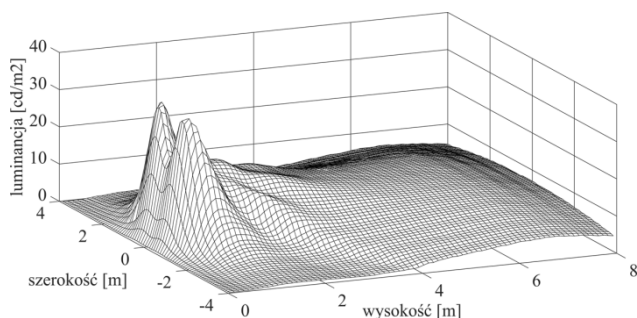
Rys.15. Wytworzony na oświetlanej powierzchni rozkład luminancji dla oprawy iGuzzini (maksymalna luminancja to 70,9 cd/m², współczynnik odbicia lambertowskiej powierzchni to 0,63)



Rys.16. Wytworzony na oświetlanej powierzchni rozkład luminancji dla oprawy Simes (maksymalna luminancja to 293,2 cd/m², współczynnik odbicia lambertowskiej powierzchni to 0,63)



Rys.17. Wytworzony na oświetlanej powierzchni rozkład luminancji dla oprawy Meyer (maksymalna luminancja to 36,4 cd/m², współczynnik odbicia lambertowskiej powierzchni to 0,63)



Rys.18. Wytworzony na oświetlanej powierzchni rozkład luminancji dla oprawy wg projektu autora (maksymalna luminancja to 36,2 cd/m², współczynnik odbicia lambertowskiej powierzchni to 0,63)

Podsumowanie

Iluminacja jest narzędziem, dzięki któremu możemy odbierać architekturę obiektu w porze nocnej. Ważne jest, aby ten odbiór nie był zniekształcony poprzez nieumiejętny dobór sprzętu oświetleniowego, jak i jego rozmieszczenia oraz nacełowania. W tym celu niezbędne jest dysponowanie oprawami iluminacyjnymi o odpowiednio ukształtowanej bryle fotometrycznej, szczególnie jeżeli chodzi o oprawy doziemne. Chociaż widać szereg zabiegów konstrukcyjnych podejmowanych w budowie opraw doziemnych, nie są one wystarczające i potrzebne są nowe rozwiązania i konstrukcje. Autor referatu przedstawił wyniki związane z własną konstrukcją układu optycznego iluminacyjnej oprawy oświetleniowej. Potwierdzają one poprawność konstrukcji, jak również uzyskane lepsze parametry w odniesieniu do obecnie stosowanych rozwiązań.

W następstwie przeprowadzonych przez autora badań naukowych, można wymienić następujące wnioski:

- Obecnie stosowane iluminacyjne oprawy oświetleniowe, nie pozwalają na uzyskanie plam świetlnych o wyrównanej luminancji na znacznej powierzchni oświetlanego obiektu.
- Zapewniając odpowiednie ukształtowanie powierzchni odbijających i załamujących wraz z zastosowanym materiałem, na które pada strumień świetlny kompaktowej lampy metalohalogenkowej, możliwe jest zaprojektowanie układu optycznego zapewniającego powstanie plamy świetlnej o równomiernym rozkładzie luminancji na powierzchni usytuowanej asymetrycznie względem tego układu.
- Do uzyskania równomiernego oświetlenia wzdłuż osi symetrii płaszczyzny usytuowanej asymetrycznie względem układu optycznego, wystarczające jest wykorzystanie odbłyśnika rynnowego ze źródłem światła o skupionym cieple świecącym.
- Na efekt asymetrycznego oświetlenia płaszczyzny z niewielkiej odległości ma wpływ nie tylko główny profil odbłyśnika, ale również wszystkie pozostałe elementy składowe konstrukcji układu optycznego.

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

REFERENCES

- [1] PN-EN 12461-1:2012, Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach
- [2] PN-EN 12461-2:2014-05, Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 2: Miejsca pracy na zewnątrz
- [3] PN-EN 13201-2:2007, Oświetlenie dróg. Część 2: Wymagania oświetleniowe
- [4] Żagan W., Iluminacja obiektów, *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, Warszawa 2003
- [5] Krupiński R., Modelowanie 3D dla potrzeb iluminacji obiektów, *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, Warszawa 2011
- [6] Kubiak K., O konieczności przełamania stagnacji w iluminacyjnym sprzęcie oświetleniowym, *Przegląd Elektrotechniczny*, 88 (2012), nr.3a, 108–114
- [7] Kubiak K., The superposition of light spots in calculations of reflectors for illumination, *Przegląd Elektrotechniczny*, 89 (2013), nr.8, 241-244
- [8] Kubiak K., The formation of a trough-shaped reflector by means of superposition of a luminance distribution on an illuminated surface, *Proceedings of 12th European Lighting Conference LuxEuropa 2013*, Krakow 2013, Poland, 613-618
- [9] LTI Optics, Podręcznik użytkownika program Photopia w wersji 2014, dostępny dla użytkowników programu
- [10] Żagan W., Podstawy techniki świetlnej, *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, Warszawa 2014
- [11] Raport techniczny CIE 94:1993, Guide for floodlighting, *CIE*, Wiedeń 1993
- [12] Kubiak K., Wzmacnianie i osłabianie światłości źródła światła w oprawach oświetleniowych, *Technika Świetlna 2013 XXII Krajowa Konferencja Oświetleniowa*, Warszawa 2013, 61-64
- [13] Żagan W., Oprawy oświetleniowe. Kształtowanie rozsyłu strumienia świetlnego i rozkładu luminancji, *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, Warszawa 2012
- [14] Dybczyński W., Oleszyński T., Skonieczna M., Projektowanie opraw oświetleniowych, *Wydawnictwo politechniki białostockiej*, Białystok 1996
- [15] Glinko G., Identyfikacja fotometryczna oraz aplikacje oświetleniowe niekonwencjonalnych odbłyśników, rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny, 2006
- [16] Zalewski S., Design of optical systems for LED road luminaires, *Applied Optics*, 54 (2015), nr.2, 163–170