

Kamil KUBIAK¹

UKŁAD OPTYCZNY OPRAWY OŚWIETLENIA ILUMINACYJNEGO DO WYRÓWNAWANEJ OŚWIETLENIA POWIERZCHNI

Artykuł dotyczy iluminacji obiektów, która obecnie staje się coraz częściej stosowana. Do powstania iluminacji obiektu niezbędne jest poza stworzeniem jej koncepcji, zastosowanie odpowiedniego sprzętu oświetleniowego (opraw oświetleniowych), tak aby urzeczywistnić zaproponowaną koncepcję. Dostępne na rynku oprawy oświetleniowe stosowane do celów iluminacyjnych są w rzeczywistości typowymi urządzeniami oświetleniowymi stosowanymi w wielu innych aplikacjach takich jak oświetlenie placów zewnętrznych. Są to więc rozwiązania uniwersalne, z uwagi na ograniczenie kosztów produkcji. Niestety po głębszej analizie efektów zastosowania takich właśnie uniwersalnych opraw oświetleniowych w iluminacji obiektów, dochodzi się do wniosku, że nie jest to najlepsze rozwiązanie. Ze względu na specyficzne warunki powstające przy iluminacji obiektu powstaje potrzeba modyfikacji stosowanego obecnie rozwiązania konstrukcji układu optycznego typowej oprawy oświetleniowej, tak aby w lepszym stopniu spełniała wymagania iluminacji obiektów.

Słowa kluczowe: iluminacja obiektów, oprawa oświetleniowa, układ optyczny

1. Wstęp

Celem podjętej tematyki w ramach rozprawy doktorskiej autora jest zaproponowanie rozwiązania konstrukcji układu optycznego oprawy oświetleniowej, która w możliwie równomierny sposób oświetli pionową płaszczyznę z bliskiej odległości od dołu. Na podstawie przeglądu obecnie stosowanych rozwiązań układów optycznych opraw oświetleniowych wykryto brak możliwości uzyskania równomiernego oświetlenia powierzchni w tak zdefiniowanych warunkach [3, 4]. Istniejące niedopasowanie stosowanych układów optycznych powinno zostać zmniejszone, gdyż wpływa ono negatywnie na odbiór geometrii i struk-

¹ Kamil Kubiak, Politechnika Warszawska, Zakład Techniki Świetlnej, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, tel.: 22 234 7353, kamil.kubiak@ien.pw.edu.pl

tury powierzchni oświetlanego obiektu. Eksponowanie światłem obiektów w porze nocnej powinno być „przedłużeniem” ich widoku dziennego. W związku z tym autor postawił sobie zadanie konstrukcyjne zaproponowania układu optycznego, który poprawi względem istniejących rozwiązań, stopień równomierności oświetlonej powierzchni. Wyznaczenie takiej konstrukcji wiąże się z przyjęciem odpowiedniego narzędzia obliczeniowego, dzięki któremu będą w sposób świadomy wyznaczane kolejne elementy układu optycznego. Autor podjął decyzję o przygotowaniu własnego narzędzia obliczeniowego w miejsce kilku narzędzi obliczeniowych nieraz opisywanych w literaturze przedmiotu. Dzięki temu w sposób bardziej dopasowany (intuicyjny) będzie możliwe wyznaczanie geometrii poszukiwanego układu. Dotychczasowe zastosowanie autorskiego podejścia do zagadnienia doprowadziło do powstania części układu optycznego, którego parametry są lepsze w porównaniu z obecnymi rozwiązaniami.

2. Iluminacja obiektów

W podstaw projektowania iluminacji obiektów w oparciu o wizualizację komputerową w Polsce jest profesor Wojciech Żagan z Politechniki Warszawskiej. W jego monografii poświęconej tej tematyce możemy przeczytać następującą definicję iluminacji [6]: „Iluminacja jest to efekt działań, które za pomocą oświetlenia sztucznego i innych środków wyrazu eksponują obiekt w porze nocnej, głównie wizualnie.”

Stosowanie iluminacji obiektów jest obecnie coraz bardziej popularne, i wynika z postępu w zakresie symulacji komputerowych oświetlenia [6, 2], postępu technologicznego produkcji sprzętu oświetleniowego jak również z chęci kształtowania nocnego wizerunku miast. W ogólnym przypadku, architekturę obiektu możemy odbierać w sposób niezakłócony w porze dnia (Rys. 1. 1). Natomiast w porze nocnej, z uwagi na brak naturalnego oświetlenia dostrzegany obraz staje się nieczytelny i zdeformowany.

W takiej sytuacji z pomocą przychodzi nam iluminacja obiektów, która ma na celu w sposób przemyślany i zgodny z przyjętymi zasadami oświetlić zewnętrzną bryłę obiektu, tak aby umożliwić jej poprawny odbiór. Przedstawiony efekt iluminacji (Rys. 1. 2) uzyskujemy poprzez odpowiedni dobór i montaż sprzętu oświetleniowego [1].



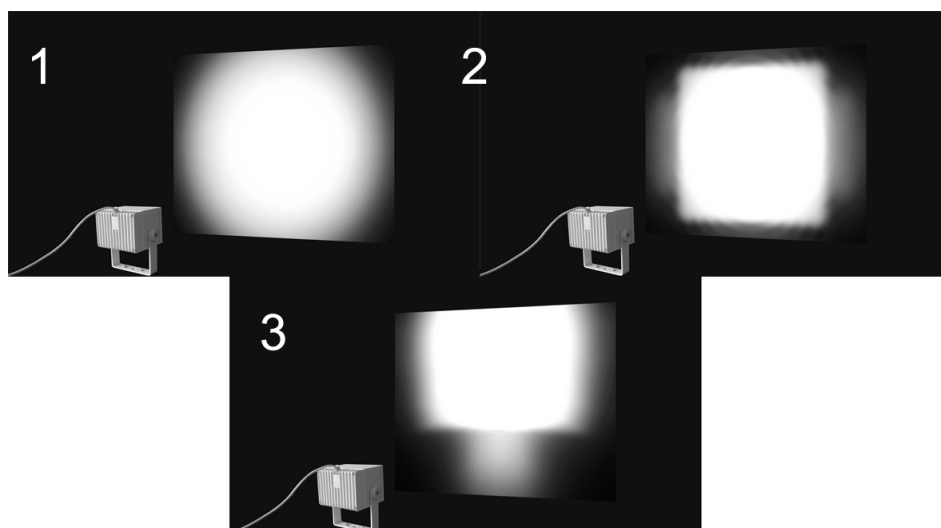
Rys. 1. Widok architektury obiektu: 1 - w porze dziennej, 2 - w porze nocnej (Fot. W. Żagan)

Fig. 1. Object's architecture view: 1 - in daytime, 2 - in night (Phot. W. Żagan)

Mamy do dyspozycji dwa podstawowe rodzaje sprzętu oświetleniowego stosowanego w iluminacji obiektów:

1. oprawy oświetleniowe doziemne (które są wbudowane w grunt, w taki sposób, że powierzchnia, przez którą jest wysyłane światło jest zrównana z podłożem), oraz
2. oprawy oświetleniowe do swobodnego montażu (które montujemy na specjalnych masztach lub bezpośrednio na elewacji budynku i jedynie w przypadku tej grupy możemy dowolnie wycelować wiązkę wysyłanego światła).

Wspomniany dobór sprzętu oświetleniowego wiąże się z wyborem opraw oświetleniowych z przedstawionych grup, oraz z określeniem pożądanego sposobu świecenia spośród dostępnych dla danej oprawy oświetleniowej. W ramach kanonu sposobów świecenia opraw oświetleniowych możemy wyróżnić rozsyły światła obrotowo symetryczny, symetryczny oraz asymetryczny (Rys. 2) [7]. Wybór rozsyłu światła ma wpływ na powstały na obiekcie oświetlony kontur oraz zawarty w nim rozkład intensywności oświetlenia. Na zdjęciach przedstawione są uzyskane kontury oświetlonego obszaru dla poszczególnych rozsyłów światła.



Rys. 2. Kanon sposobu świecenia opraw oświetleniowych: 1 - obrotowo-symetryczny, 2 - symetryczny, 3 - asymetryczny

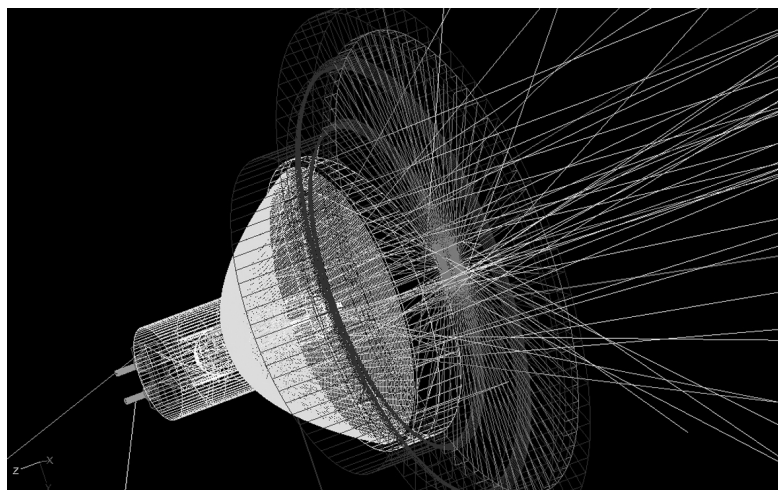
Fig. 2. The canon of luminaires radiation: 1 - rotationally-symmetric, 2 - symmetric, 3 - asymmetric

3. Projektowanie opraw oświetleniowych

Obecnie oprawy oświetleniowe projektuje się przy pomocy komputerowych programów symulacyjnych w oparciu o modelowanie matematyczne [8]. Tak więc tworzony jest model siatkowy projektowanego rozwiązania układu optycznego w środowisku CAD, następnie jest on wczytywany do programu do projektowania opraw oświetleniowych. Po wczytaniu do takiego programu, powstałym powierzchnią przypisywane są właściwości materiałowe oraz wstawiany jest model źródła światła wybrany z dostępnej w programie biblioteki. Następnie tak stworzony model matematyczny poddawany jest procesowi obliczeń symulacyjnych, w efekcie którego uzyskuje się informację o osiągniętych parametrach. Jeżeli nie są one zadowalające, to dokonuje się modyfikacji istniejącego rozwiązania. Na rysunku 3. przedstawiono model oprawy oświetleniowej w przykładowym programie komputerowym wraz z wyemitowanymi ze źródła światła promieniami testowymi. W tym przypadku algorytm obliczeniowy wykorzystuje metodę Monte Carlo, polegającą na emisji ze źródła światła odpowiednio dużej liczby promieni testowych wraz z analizą ich reakcji ze wszystkimi powierzchniami w układzie optycznym.

Dostępne na rynku oprogramowanie symulacyjne jest głównie dedykowane do obliczenia parametrów wprowadzonego do programu układu optycznego a nie do wyznaczenia tego oto układu. W związku z tym, to właśnie na projektan-

cie opraw oświetleniowych ciąży odpowiedzialność za poprawne wykonanie geometrii układu optycznego w środowisku CAD, tak aby po przeprowadzeniu symulacji w oprogramowaniu do tego celu przeznaczonym, uzyskać możliwie zadowalające wyniki. Tak więc każdy projektant musi dysponować swoim indywidualnym narzędziem do wyznaczania geometrii układu optycznego.

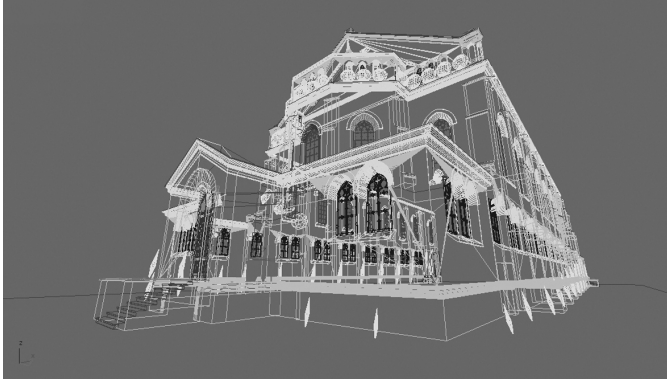


Rys. 3. Model oprawy oświetleniowej w programie komputerowym

Fig. 3. Luminaire model in a computer program

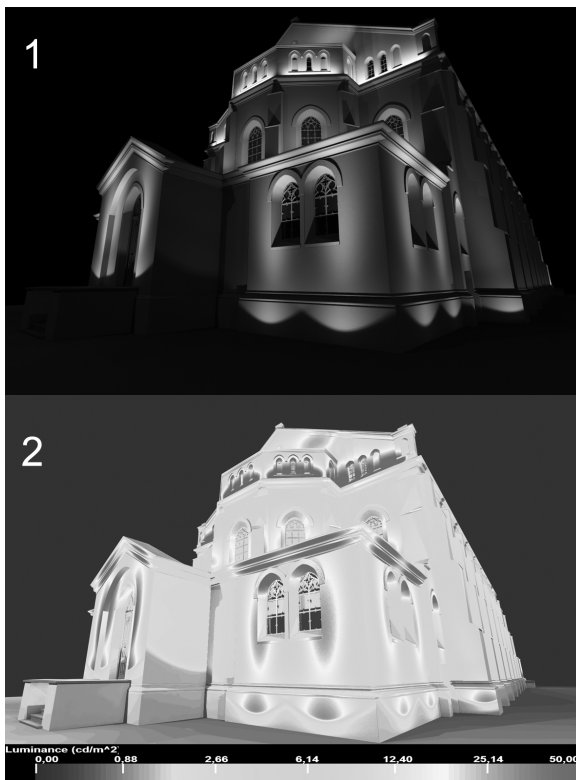
4. Projektowanie iluminacji obiektu

Podobnie do projektowania opraw oświetleniowych wygląda kwestia projektowania iluminacji obiektu. Tutaj także stosowane są narzędzia symulacyjne [6, 2]. Na wstępie tworzy się geometryczną reprezentację rzeczywistego obiektu w postaci modelu siatkowego (Rys. 4). Następnie wprowadzane są oprawy oświetleniowe poprzez wczytanie opublikowanych przez producentów danych. W kolejnym kroku nadawane są właściwości materiałowe powierzchniom obiektu i tak powstały model poddawany jest obliczeniom symulacyjnym. W efekcie tego powstaje fotorealistyczna wizualizacja oświetlonego obiektu ze zdefiniowanego kierunku obserwacji (Rys. 5. 1). W celu technicznej weryfikacji można sprawdzić rozkład luminancji [7], który wyraża intensywność z jaką zostały oświetlone poszczególne powierzchnie obiektu (Rys. 5. 2).



Rys. 4. Geometryczna reprezentacja obiektu w programie komputerowym

Fig. 4. The geometric representation of an object in a computer program

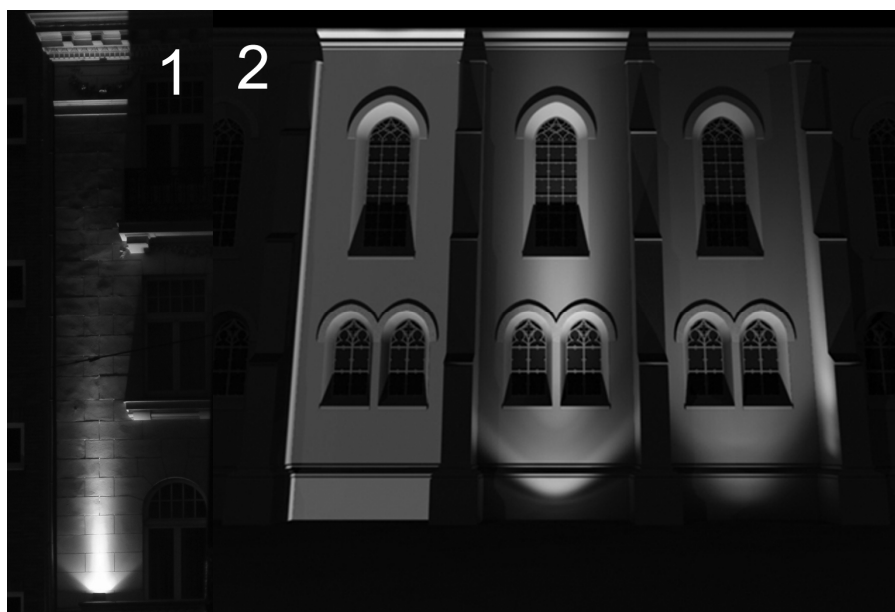


Rys. 5. Wynik obliczeń symulacyjnych modelu obiektu: 1 - fotorealistyczna wizualizacja, 2 - rozkłady luminancji

Fig. 5. The simulation calculations result of the object model: 1 - photorealistic visualization, 2 - luminance distributions

5. Niedoskonałość stosowanego sprzętu oświetleniowego

W iluminacji obiektów występuje dość istotny problem, tzn. rozsył światła, który uzyskujemy przy pomocy dostępnego na rynku sprzętu oświetleniowego w niewielkim stopniu spełnia cel uzyskania możliwie wyrównanego poziomu oświetlenia eksponowanej światłem części obiektu [3, 4]. Powstają dwa niekorzystne zjawiska: nadmierne oświetlenie (wręcz wypalenie światłem) w okolicy oprawy oświetleniowej oraz nierównomierne oświetlenie pozostałej części powierzchni (Rys. 6. 1). Na zdjęciu (Rys. 6. 2) widać przykładowe, obecnie uzyskiwane równomierności oświetlenia w iluminacji obiektów oraz cel, do którego należy zmierzać.



Rys. 6. 1 - Nieodpowiedni efekt oświetleniowy, 2 - Obecne efekty oświetleniowe oraz cel (po lewej)

Fig. 6. 1 - Inadequate lighting effect, 2 - The current lighting effects and the target (left)

Uzasadnieniem przedstawionego celu jest potrzeba oświetlania płaszczyzn obiektów w sposób możliwie równomierny, tak aby nie powodować zniekształcenia dostrzeganego przez odbiorcę obrazu. Powstające na obiekcie oświetlone obszary o różnej intensywności jak również nieoświetlone, w widoku za dnia są spowodowane geometrią obiektu (zasłanianiem, bądź nie podającego światła słonecznego). Odbiorca w porze nocnej, przyzwyczajony do percepcji w porze dziennej, w podobny sposób interpretuje dostrzegany obiekt. Tak więc, każda

nierównomierność oświetlenia obiektu w sposób intuicyjny narzuca określoną geometrię obiektu - jasny element, pod którym występuje cień oznacza, że jest on wysunięty z obiektu, np. gzyms. Jeżeli taką nierównomierność oświetlenia spowodowała nie geometria obiektu a niewłaściwie dobrane i zaprojektowane oświetlenie, to powstaje nienaturalny i mylący odbiorcą obraz oświetlonego obiektu. W związku z powyższym istnieje uzasadniona potrzeba równomiernego oświetlania płaszczyzn obiektów w iluminacji.

6. Projekt nowego układu optycznego

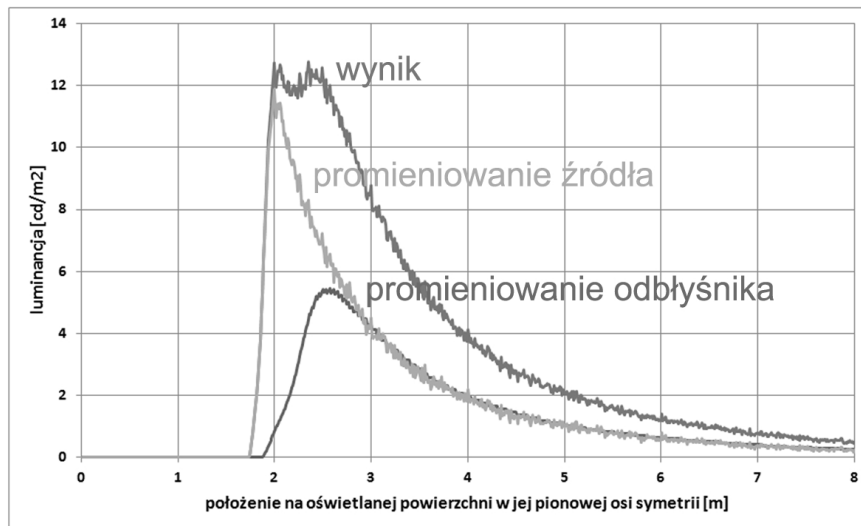
Biorąc pod uwagę przedstawione niedoskonałości w zakresie opraw oświetleniowych stosowanych do iluminacji obiektów, pojawia się następujący problem naukowy: zaproponować rozwiązanie układu optycznego oprawy oświetlenia iluminacyjnego, która w lepszym stopniu niż obecne konstrukcje oświetli w sposób równomierny ścianę obiektu z bliskiej odległości od dołu.

Analizując specyfikę tego zadania projektowego, autor wykonał własne narzędzie do wyznaczenia geometrii układu optycznego [5]. Bazuje ono na następującej idei: każda część powierzchni odbijającej światło w układzie optycznym, oświetla pewną część obiektu. Jeżeli dokonamy superpozycji oświetlonych obszarów pochodzących od wszystkich elementów układu optycznego, to uzyskamy postać poszukiwanego oświetlonego obszaru na obiekcie. Aby wyznaczyć postać tej elementarnej oświetlonej powierzchni na obiekcie należy znać gęstość powierzchniową oświetlenia, które pada na daną powierzchnię układu optycznego ze źródła światła i następnie przekształcić ją za pomocą zasad optyki geometrycznej na powstałą na oświetlanym obiekcie. W taki sposób każdy krok projektowania sprowadza się do ustalenia geometrii danej strefy odbłyśnika (powierzchni odbijającej światło w układzie optycznym), tak aby wytworzona przez nią elementarna oświetlona strefa na obiekcie pasowała do stref powstałych w poprzednich krokach obliczeniowych.

Wykonane narzędzie obliczeniowe umożliwia w następstwie dobrania geometrii poszczególnych stref odbłyśnika, uzyskanie przebiegu intensywności oświetlenia na obiekcie wzdłuż charakterystycznej linii będącej pionową osią symetrii oświetlonego obszaru. Na rysunku 7. został przedstawiony początkowy etap wyznaczania geometrii układu optycznego polegający na dodaniu do przebiegu oświetlenia pochodzącego od źródła światła pierwszej strefy odbłyśnika. Całość obliczeń prowadzona jest w arkuszu kalkulacyjnym MS Excel. Po wyznaczeniu wszystkich stref odbłyśnika uzyskano następującą postać układu optycznego (Rys. 8. 1). Składa się on z kompaktowej lampy metalohalogenkowej i dwóch powierzchni odbłyśnika składających się z zestawu płaskich powierzchni o odbiciu zwierciadlanym, posiadających wspólne krawędzie. Wizualizacja bieżącego efektu oświetleniowego i zestawienie go z istniejącymi rozwiązaniami przedstawia rysunek 8. 2. Należy podkreślić, że bieżące przedstawione wyniki są

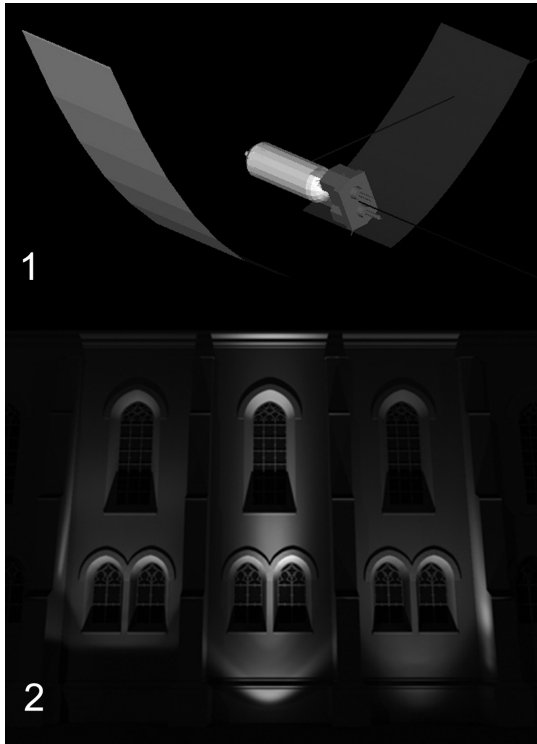
jedynie częścią kompletnego układu optycznego. Będzie on stopniowo zwiększał swoje rozmiary, tak aby jak najbardziej przekształcić światło wysyłane ze źródła w kierunkach poza oświetlanym obiektem, tak aby skierować je właśnie na ten obiekt.

W celu weryfikacji spełnienia wymagań związanych z poprawą obecnie uzyskiwanego stopnia równomierności oświetlanej powierzchni, dokonano zestawienia uzyskanych wyników z typowymi, dostępnymi na rynku oprawami oświetleniowymi stosowanymi w iluminacji obiektów. Wynik porównania przedstawiony został na rysunku 9. Na podstawie tego zestawienia widać, że uzyskany obszar wyrównanego poziomu oświetlenia (luminancji) jest zdecydowanie dłuższy niż w przypadku pozostałych przedstawionych przebiegów (opraw). Na rysunku 9. ponadto zaznaczono ramkę zawierającą względną zmianę luminancji wynoszącą 0,2. Zmiana ta jest uznawana w praktyce za niezauważalną dla oka ludzkiego. Z tego względu widoczne oscylacje w obszarze od 2 do 6 m, będą niedostrzegalne.



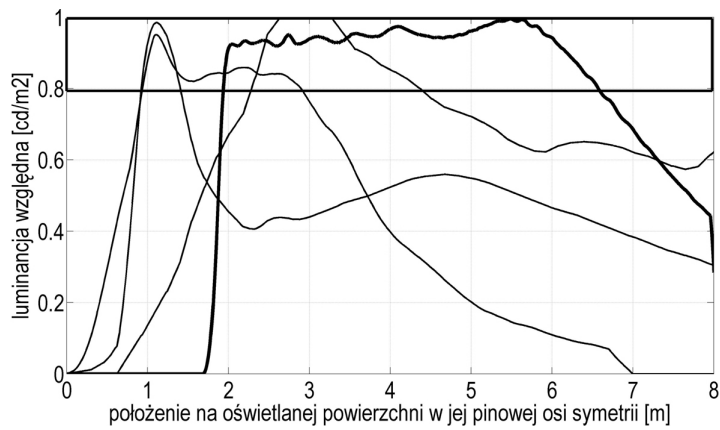
Rys. 7. Wyniki początkowego etapu projektowania

Fig. 7. Results of the initial stage of design



Rys. 8. 1 - Wyznaczony układ optyczny, 2 - Obecne efekty oświetleniowe oraz działanie wyznaczonego układu (po lewej)

Fig. 8. 1 - Designed optical system, 2 - The current lighting effects and the effect of the designed system (left)



Rys. 9. Porównanie uzyskanych wyników (pogrubiona krzywa) z obecnymi rozwiązaniami

Fig. 9. Comparison of the results (bold curve) with the current solutions

7. Podsumowanie

Uzyskane dotychczas wyniki (Rys. 8. 2 i 9) potwierdzają słuszność wybranej metody postępowania. Wykorzystując wykonane autorskie narzędzie obliczeniowe można odpowiednio dobierać geometrię poszczególnych stref powierzchni odbłyśnika, tak aby uzyskać wyrównany poziom oświetlenia na obiekcie wzdłuż analizowanej linii. Zastosowane strefy odbłyśnika w postaci płaskich powierzchni o idealnie kierunkowym odbiciu światła, usytuowane w taki sposób, że sąsiadujące strefy mają wspólną krawędź, pozwala w przedstawionym zakresie uzyskać pożądane wyniki. Rozszerzenie uzyskanego obszaru wyrównanej luminancji będzie wymagało modyfikacji aktualnego podejścia na rzecz stosowania płaskich stref o mniejszych wymiarach niż to było dotychczas. Wtedy w bardziej efektywny sposób będzie można kierować światło odbite od odbłyśnika, tak aby rozszerzyć uzyskany obszar zarówno u dołu jak i u góry. To właśnie jest przedmiotem kolejnych badań związanych z przewodem doktorskim autora.

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

Literatura

- [1] Kubiak K.: O konieczności przełamania stagnacji w iluminacyjnym sprzęcie oświetleniowym, Przegląd elektrotechniczny, nr 3a, 2012, s. 108-114.
- [2] Kubiak K.: O niedostatecznej jakości iluminacyjnego sprzętu oświetleniowego, Rynek oświetleniowy, nr 10, 2012, s. 4-9.
- [3] Żagan W.: Iluminacja obiektów, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.
- [4] Krupiński R.: Modelowanie 3D dla potrzeb iluminacji obiektów, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011.
- [5] Dybczyński W., Oleszyński T., Skonieczna M.: Projektowanie opraw oświetleniowych, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 1996.
- [6] Żagan W.: Podstawy techniki świetlnej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
- [7] Żagan W.: Oprawy oświetleniowe Kształtowanie rozsyłu strumienia świetlnego i rozkładu luminancji, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2012.
- [8] Kubiak K.: The superposition of light spots in calculations of reflectors for illumination, Przegląd elektrotechniczny, nr 8, 2013, s. 241-244.

FLOODLIGHTING LUMINAIRE OPTICAL SYSTEM FOR EVEN SURFACE ILLUMINATION

Summary

This article concerns object's illumination (floodlighting), which is now becoming more common. The creation of the object's illumination require the concept and the use of appropriate lighting equipment (luminaires) to realize the proposed concept. Commercially available luminaires for floodlighting purposes, are in fact conventional lighting devices used in many other applications such as lighting of external sites. These solutions are versatile, due to the reduction of production costs. Unfortunately, a deeper analysis of the effects of the use of such luminaires in floodlighting, led us to conclusion that this is not the best solution. Due to the specific conditions arising from the illumination of the object there is a need to modify the structure currently used solutions of the optical system of a typical luminaire to better meets the requirements of object's illumination.

Keywords: floodlighting, luminaire, optical system

DOI: 10.7862/re.2013.10

Tekst złożono w redakcji: październik 2013

Przyjęto do druku: grudzień 2013