

Układy reflektorów zwierciadlanych ze źródłami światła LED

Streszczenie. Artykuł przedstawia rozważania na temat możliwych rozwiązań geometrycznych i optycznych reflektorów wykorzystujących LED-y. Wyodrębniono 3 rodzaje układów optycznych, z których jeden- reflektor łyżkowy, jest nowym pomysłem wykorzystania LED-ów w układach wzmacniających światłość. Dla tego reflektora wykonano badania symulacyjne. Obliczono rozsyły światłości i obrazy źródła światła w lustrze odbłyśnika (FJP). Nowością, jeśli idzie o wyniki, jest brak symetrii obrotowej plamy świetlnej na ekranie na rzecz kształtu owalnego. Wyniki poddano analizie wskazując na możliwość wykorzystania geometrii układu optycznego reflektora łyżkowego jako sposobu przezwyciężenia niekorzystnych następstw świecenia bezpośredniego ze źródła światła.

Abstract. This article presents reflections on possible geometric and optical conceptions of spotlight reflectors that use LEDs. It has been listed three types of optical systems, of which one- spoon spotlight reflector is a new idea of using LEDs in a light amplification systems. For this reflector simulation study was made. Distributions of light and images of the light source in a mirror spotlight reflector (FJP) has been calculated. As a novelty in the results appears the lack of rotational symmetry of a light spot on the screen and the presence of the oval shape. The results were analyzed to indicate the possibility of using the geometry of the optical system of the spoon reflector as a way to overcome disadvantages of direct lighting. (**Mirror spotlight reflector systems with LED light sources**).

Słowa kluczowe: elektrotechnika, technika świetlna, oprawy oświetleniowe, reflektory LED.

Keywords: electrical engineering, lighting technology, luminaires, LED spotlight reflector.

Wprowadzenie

Elektroluminescencyjne źródła światła(LED), poza znanymi i szeroko eksponowanymi cechami takimi jak trwałość, skuteczność świetlna, charakteryzują się bardzo wysoką luminancją (10^7 - 10^8 cd/m²) [1], [2]. W kontekście zastosowań praktycznych cecha ta jest niechętnie eksponowana, gdyż wpływa bezpośrednio na powiększenie olśnienia. Jednak jeśli popatrzeć na tą właściwość z punktu widzenia konstruowania układów opraw wzmacniających światłość, wysoka luminancja jest cechą oczekiwaną źródła światła. Ten prosty wniosek zderza się jednak w praktyce z inną właściwością fotometryczną tych źródła światła, nieznaną w przypadku tradycyjnych źródeł światła – z emisją strumienia świetlnego wyłącznie w obrębie jednej półprzestrzeni. Tradycyjne źródła emitowały strumień świetlny w całą przestrzeń (skrętki żarników, jarznik lamp wyładowczych itp.). Fakt ograniczonego do jednej półprzestrzeni rozsyłu strumienia świetlnego oraz konieczność nadzwyczajnej kontroli termicznych warunków pracy LED-ów każe nieco inaczej patrzeć na zagadnienie geometrii reflektorowych układów świetlno-optycznych LED-ów

Klasyczne rozwiązania geometryczne reflektorów

Klasyczne rozwiązania układów reflektorów zwierciadlanych, z tradycyjnymi źródłami światła, bazują najczęściej na profilach krzywych stożkowych [3] a przede wszystkim na profilu parabolicznym. Parabola po obrocie wokół prostej lub po wyciągnięciu wzdłuż prostej tworzy znane od lat trójwymiarowe powierzchnie: paraboloidę obrotową, torus paraboliczny, walec paraboliczny itp. Punkt ogniska paraboli w trakcie tych operacji przestacza się w odcinek ogniskowy, okrąg ogniskowy lub pozostaje nieruchomy tworząc punktowe ognisko profilu o symetrii obrotowej. Tak powstałe elementy geometryczne będąc efektem przekształcenia punktu ogniska w następstwie operacji obrotu lub wyciągnięcia są odpowiednie do wykorzystania rzeczywistej geometrii źródeł światła: świetlówek liniowej i kołowej, jarznika sferycznego i walcowego lamp wysokoprężnych, skrętki prostej.

Klasyczne reflektory zwierciadlane a szczególnie paraboloidalne, przedstawiają układ odbłyśnika o symetrii obrotowej, z umieszczonym symetrycznie w ognisku żarniku czy jarzników, z powierzchni których zachodzi w sposób prawie symetryczny emisja strumienia świetlnego. Można więc powiedzieć, że symetria obrotowa dotyczy zarówno geometrii układu optycznego (lustra i źródła) jak i

cech fotometrycznych użytego źródła światła (symetryczny obrotowo rozkład luminancji). Układy takich reflektorów cechuje zwykle wysoka sprawność, gdyż najczęściej kąt objęcia źródła przez odbłyśnik [3] jest duży i znacznie przekracza 180°. Podobne spostrzeżenia można odnieść do układów reflektorów w postaci walca czy też torusa parabolicznego.

Symetria geometryczna układu reflektora i symetria bryły fotometrycznej źródła światła w klasycznych rozwiązaniach, w następstwie nałożenia osi obu symetrii, generują bryłę fotometryczną reflektora również o symetrii obrotowej.

Zatem klasyczne rozwiązania reflektorów zwierciadlanych wykorzystują tradycyjne, wysokoluminacyjne źródła światła, o walcowym (jarznik, skrętka prosta) lub sferycznym kształcie ciała świecącego. Jest to zazwyczaj powierzchnia emitująca strumień świetlny o dość równomiernym rozsyłu światłości i rozkładzie luminancji. Realizowany rozsył światowości jest symetryczny obrotowo. Nieosłonięta odbłyśnikiem część przestrzeni wypromieniowania bezpośredniego strumienia świetlnego ze źródła, stanowi dla większości aplikacji dość duży kłopot. Generuje olśnienie (reflektory samochodowe), pogarsza równomierność plamy świetlnej w przypadku akcentowych aplikacji reflektorów w iluminacji itp.

Reflektory wykorzystujące LED-y

Najpopularniejsze aplikacje LED-ów do kierowania strumienia świetlnego a przede wszystkim do jego skupiania, wykorzystują układy kolimatorów masywnych, czyli mówiąc w popularnym uproszczeniu- soczewki. Istotną wadą tego typu rozwiązania jest brak możliwości ukrycia wysokoluminacyjnego obrazu świecącego chipa. Zwykle takie rozwiązania generują olśnienie na poziomie znacznie wyższym niż dotychczas i w szerszym zakresie kątowym. Ta niedogodność oraz rozwój technologii modułów LED sprawiły, że coraz wyraźniej dostrzega się równoległe rozwijającą się tendencję wykorzystywania tych źródeł światła w układach luster parabolicznych LED [5].

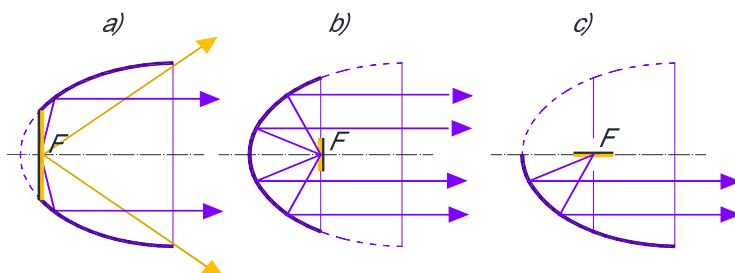
Istnieją w zasadzie trzy różniące się położeniem i ukierunkowaniem źródła światła konstrukcje układu optycznego wykorzystujący źródło wysokoluminacyjne LED (rys. 1.). Są to rozwiązania znamienne tym, że każde z nich w inny sposób kieruje strumień świetlny na lustro odbłyśnika:

- reflektor z uciętym wierzchołkiem,

- reflektor z odwróconym źródłem,
- reflektor łyżkowy.

W każdym z ww. przypadków, płaska, emitująca światło powierzchnia chipa lub modułu LED, jest umieszczona swym środkiem w ognisku, przy czym, w przypadku pierwszym, emisja ze źródła światła jest skierowana w stronę otworu wyjściowego reflektora. Zatem wiązka wypromieniowania składa się ze skupionych promieni odbitych i bezpośrednio wypromieniowanych ze źródła. Jest to sytuacja najbardziej podobna dla klasycznych rozwiązań układów reflektorów paraboloidalnych. W drugim

przypadku cały strumień świetlny wytworzony przez powierzchnię chipa jest skierowany w stronę wierzchołka paraboloidy, dzięki czemu wiązka światła wypromieniowanego nie zawiera promieni wyemitowanych bezpośrednio ze źródła. W trzecim przypadku, reflektora łyżkowego, chip LED kieruje strumień świetlny, co jest nowością, tylko na jedną połowę paraboloidalnego reflektora będąc sam umieszczony w ognisku. Na rysunku 1 pokazano schematycznie ideę każdej z tych trzech konstrukcji.



Rys. 1. Układy geometryczne reflektorów zwierciadlanych współpracujące ze źródłem światła LED

Reflektor z uciętym wierzchołkiem (rysunek 1a) przeznaczony jest raczej dla dużych powierzchniowo modułów LED. Realizowane wzmocnienie światłości jest stosunkowo niewielkie. Rozbieżność kątowna wiązki świetlnej limitowana jest przez oświetlenie bezpośrednie ze źródła światła i w przypadku tej konfiguracji układu optycznego, rozbieżność jest duża. W praktyce techniki świetlnej układ reflektora z uciętym wierzchołkiem, pokazany na rysunku 1a, ma zastosowanie w oprawach oświetleniowych typu down light, w których o wartościach światłości decyduje w zasadzie źródło światła a reflektor przede wszystkim ogranicza kąt wypromieniowania bezpośredniego.

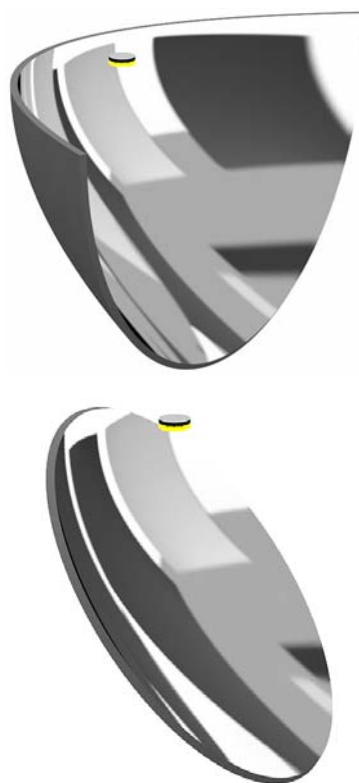
Układ optyczny z rysunku 1b jest mało praktyczny. Konieczność umieszczenia diody (chipu lub modułu LED) w punkcie ogniska, nie zasłaniając przy tym reflektora sprawia duże problemy. Wymaga to użycia elementów mocujących, co bez nieodzownego zasłonięcia przynajmniej części reflektora jest niemożliwe. Jest to układ raczej hipotetyczny niż rzeczywisty. Jego niezaprzeczalną zaletą jest duża sprawność oprawy, w praktyce zależna tylko od współczynnika odbicia lustra i pełne wykorzystanie strumienia świetlnego wyemitowanego ze źródła. Warto odnotować także, że taka konfiguracja reflektora i źródła eliminuje oświetlenie bezpośrednie ze źródła. W przypadku użycia niewielkiego gabarytami chipa można by osiągnąć bardzo dużą światłość i stosunkowo niewielką rozbieżność wiązki świetlnej

Symulacyjne badania właściwości fotometrycznych reflektora łyżkowego ze źródłem LED

O ile w przypadku dwóch pierwszych układów geometrycznych reflektorów ze źródłem LED (rys 1a i 1b), efekty ich świecenia są łatwe do przewidzenia [3],[5] gdyż niewiele różnią się od klasycznych (ten zakres wiedzy jest znany i szeroko opisany), o tyle reflektor łyżkowy jest stosunkowo nowym pomysłem a ze względu na swoją asymetrię stanowi nowe wyzwanie dla badaczy.

W celu przebadania właściwości fotometrycznych reflektora łyżkowego stworzono jego model geometryczny w przestrzeni wirtualnej. Do modelu odbłyśnika dodano model źródła światła (chip LED) z charakterystycznym rozkładem luminancji. Źródło światła umieszczono w

ognisku i skierowano świecąca stroną chipa diody w stronę łyżki. Nadając powierzchni wewnętrznej odbłyśnika cechy odbicia lustrzanego przeprowadzono obliczenia. Ich celem było wyznaczenie rozsyłów światłości i określenie charakterystycznych kształtów figur jasnych punktów (FJP) [3]. Wyniki tych obliczeń zilustrowane są na rysunkach 3 i 4

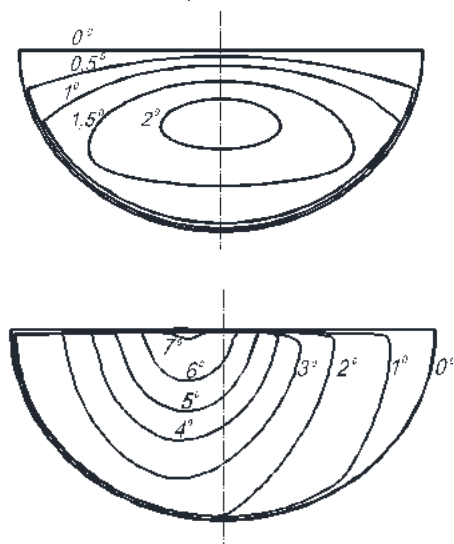


Rys. 2 Model geometryczny odbłyśnika łyżkowego w przestrzeni wirtualnej 3D. Obraz przedstawia wersje półparaboloidalną (wyżej) oraz okrągłą (niżej), która powstała jako efekt wykrojenia z powierzchni półparaboloidalnej konturu okrągłego (w widoku z kierunku osi optycznej)

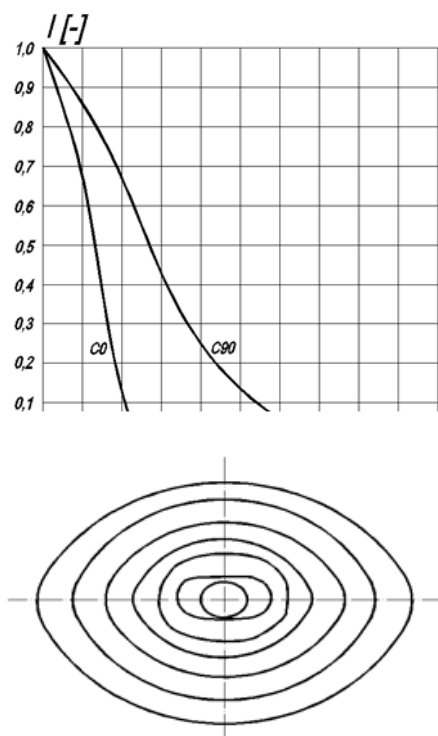
Wykresy pokazane na rysunkach 3 i 4 pozwalają na wyciągnięcie kilku ważnych wniosków.

Analiza wyników

Układ reflektora łyżkowego, ze źródłem LED, realizuje typowy skupiony rozsył światłości. Bryła fotometryczna jest niesymetryczna obrotowo. W płaszczyźnie C0-C180 jest węższa a w płaszczyźnie C90-C270 szersza. Skala niesymetrii (rozciągnięcie wiązki świetlnej) wynosi w przybliżeniu jak 1:2. Uważna analiza wyników pokazuje, że rozsyły światłości są nieco inne nawet w obrębie jednej płaszczyzny - dla półpłaszczyzn C0 i C180. Obraz plamy świetlnej na ekranie pomiarowym jest lekko spłaszczony w płaszczyźnie C0-C180. Należy się spodziewać, że bezwzględne wartości rozbieżności wiązki świetlnej w kierunku C0-C180 i C90-C270 będą wynikały z przyjęcia konkretnych wymiarów układu geometrycznego odbłyśnika (średnica i ogniskowa reflektora oraz średnica świecącego koła chipa lub modułu LED).



Rys. 3. Obrazy źródła światła w lustrze odbłyśnika łyżkowego (rysunek 2) dla poszczególnych kątów γ w płaszczyźnie C=0 (wyżej) i C90 (niżej)



Rys. 4. Krzywe światłości reflektora łyżkowego ze źródłem LED w płaszczyźnie C0 i C90 (wyżej) i kontury plamy świetlnej na ekranie pomiarowym (niżej)

Możliwe aplikacje oświetleniowe odbłyśnika łyżkowego wynikają zarówno z kształtu jego rozciągniętej plamy świetlnej ale także ze specyfiki układu geometrycznego konstrukcji reflektora. Warto zauważyć, że w tym przypadku promieniowanie bezpośrednie ze źródła światła rozchodzi się wyłącznie w obrębie jednej półprzestrzeni. Pozwala to rozwiązać niewygodny problem nadmiernej luminancji (wypalania) przy lokalizacji reflektora blisko elewacji (iluminacja) [3]. Pozwala również uniknąć olśniewania pochodzącego od bezpośredniego promieniowania ze źródła światła w układach reflektorów samochodowych [6], [7].

Pomysł na realizację układu reflektora łyżkowego charakteryzuje jeszcze jedna bardzo pożądana cecha. Jest ona związana z termicznym warunkami pracy diody, a potrzebą kontrolowania (ograniczania) temperatury pracy diody. W reflektorze łyżkowym chip świecący nie jest zamknięty w żadnej ograniczonej przestrzeni, tak jak miało to miejsce w klasycznych rozwiązaniach reflektorów. Płaszczyzna umieszczenia chipa jest wolna, może zostać zabudowana układem oddawania ciepła, który spełni równocześnie rolę elementu mocowania diody. Będzie to umiędzynawienie i zaspokojenie dwóch potrzeb przy pomocy jednego elementu konstrukcyjnego.

Autorzy: prof. dr hab. inż. Wojciech Żagan, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, e-mail: wojciech.zagan@ien.pw.edu.pl; dr inż. Rafał Krupiński, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, e-mail: rafal.krupinski@ien.pw.edu.pl; dr inż. Sławomir Zalewski, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, e-mail: slawomir.zalewski@ien.pw.edu.pl

LITERATURA

- [1] Słomiński S. Matrycowe pomiary luminancji elektroluminescencyjnych źródeł światła i opraw oświetleniowych – stan techniki, *Przegląd elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R.91 NR 7/2015, str. 81 – 84.
- [2] Słomiński S. Identifying problems with luminare luminance measurements for discomfort glare analysis, *Lighting Research and Technology*, 1477153515596374, first published on February 8, (2016) doi:10.1177/1477153515596374
- [3] Żagan W. Oprawy oświetleniowe. Kształtowanie rozsyłu strumienia świetlnego i rozkładu luminancji, *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, Warszawa (2012), ISBN 978-83-7814-054-2
- [4] Żagan W. Iluminacja obiektów, *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, Warszawa (2003), ISBN 83-7207-360-0,
- [5] Zalewski S., Żagan W., Strategia konstruowania układów odbłyśników zwierciadlanych z modułem LED, *Przegląd Elektrotechniczny*, 08/2015, ISSN 0033-2097, pp. 194-196,
- [6] Brunner Th., Hauser A., *Lichttechnik im Fahrzeug*, Vieweg+Teubner Verlag, ISBN 978-3-8348-2198-0
- [7] Peng Ge, Xiang Wang, Yang Li, Hong Wang, Reflective Optics Design for an LED High Beam Headlamp of Motorbikes, *The Scientific World Journal*, 2015; 503171. Published online 2015 Apr 15. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/503171>