

Praktyczne zastosowanie diod świecących w oświetleniu pośrednim

Streszczenie. W referacie przedstawiono założenia konstrukcyjne oraz wyniki pomiarowe wykonanego modelu oprawy oświetlenia pośredniego. Uzyskano płynną regulację strumienia świetlnego w zakresie od 0 do 10 700 lm oraz regulację temperatury barwowej w zakresie od 2 850 do 5 100 K. Ponadto przeprowadzono badania czasowej zmiany strumienia świetlnego oprawy z radiatorem oraz bez niego w trakcie jej rozgrzewania.

Abstract. The paper presents the design principles and the measurement results of constructed model of indirect lighting luminaire. The luminous flux is infinitely adjustable in the range of 0 to 10 700 lumens and the colour temperature in the range of 2 850 K to 5 100 K. Furthermore some tests were carried out on temporary change of the luminous flux of the luminaire with and without a heat sink during its warming-up. **Practical application of LEDs in indirect lighting.**

Słowa kluczowe: oświetlenie pośrednie, diody świecące (LEDy), sprawność eksploatacyjna, temperatura barwowa.

Keywords: indirect lighting, lighting emission diode (LED), light output ratio, colour temperature.

Wstęp

Oświetlenie pośrednie jest atrakcyjne zarówno pod względem oświetleniowym, jak i estetycznym. Obserwator nie widzi bezpośrednio źródeł światła, a rozsył strumienia świetlnego kształtuje nie tylko oprawa oświetleniowa, lecz także elementy architektoniczne. Jednak problemem jest zazwyczaj mała sprawność eksploatacyjna tego typu instalacji oświetleniowych. Problem ten starano się rozwiązać, konstruując model oprawy oświetlenia pośredniego, w którym jako źródła światła wykorzystano paski LED. Wyniki badań skonstruowanego modelu oprawy są przedstawione w artykule.

Konstrukcja modelu oprawy oświetlenia pośredniego

Wybór dostępnych na rynku LED-owych źródeł światła i komponentów do ich zasilania jest bardzo duży. Istnieje możliwość zakupu tańszych elementów nieznanymi producentów, które nie mają określonych żadnych parametrów świetlnych albo ich parametry nie są potwierdzone żadnymi certyfikatami. Konstruowana oprawa miała charakteryzować się strumieniem świetlnym nie mniejszym niż 10 000 lm - bardzo dużym jak na dostępne obecnie oprawy LED-owe przeznaczone do oświetlenia wewnętrznego. Dodatkowym założeniem była możliwość zmiany barwy światła emitowanego z oprawy dzięki oddzielnej regulacji poziomu świecenia LED-ów o dwóch różnych temperaturach barwowych. Zgodnie z przyjętymi założeniami zastosowano gotowe komponenty renomowanej firmy oświetleniowej, która mogła dostarczyć zarówno dobrej jakości LED-y, jak i zasilacze z możliwością sterowania strumienia świetlnego diod. Po analizie dostępnych na rynku produktów, do konstrukcji opraw wybrano komponenty firmy Osram. Jako źródło światła zastosowano paski LED typu LINEARLight POWER Flex - LF06P2 o wskaźniku oddawania barw powyżej 80. Na podstawie analizy parametrów świetlnych stwierdzono, że w oprawie należy zastosować dwa paski typu LINEARLight POWER Flex - LF06P2, jeden o barwie cieplej, drugi o barwie neutralnej. Suma strumieni świetlnych tych pasków wynosiła 10 336 lm (tabela 1) i spełniała warunek osiągnięcia strumienia świetlnego 10 000 lm emitowanego przez oprawę.

Tabela 1. Wybrane parametry świetlne pasków LED typu LINEARLight POWER Flex - LF06P2 firmy OSRAM [1]

Typ paska LED	Temperatura barwowa [K]	Strumień świetlny [lm] (pasek o długości 3 m)
LF06P2-W5F-850	5 000	5 544
LF06P2-W5F-827	2 700	4 792

Cały pasek LED ma długość 3 m (z możliwością podziału co 15 cm), szerokość 8 mm i wysokość 3 mm. Z parametrów tych wynikało, że należy wykonać oprawę o 3-metrowej długości powierzchni świecącej dla jednej barwy światła. Jednak ze względów praktycznych postanowiono skonstruować oprawę o długości powierzchni świecącej wynoszącej 1,5 m. Na płaskowniku aluminiowym o długości 1,6 m, szerokości 50 mm i grubości 10 mm równomiernie przyklejono cztery paski LED, po dwa każdej barwy. W celu zachowania symetrii osiowej plamy świetlnej podczas zmiany barwy światła oprawy, dwa paski o temperaturze barwowej 2 700 K przyklejono bliżej brzegów płaskownika, a paski o temperaturze barwowej 5 000 K - bliżej środka. Na rysunku 1 przedstawiono elementarny fragment pasków LED o długości 15 cm po zamontowaniu w modelu oprawy.



Rys. 1. Elementarny fragment pasków LED o długości 15 cm zamontowanych w modelu oprawy

Wybrane paski LED są przystosowane do zasilania napięciem 24 V. Katalogowa moc każdego z tych pasków wynosi 68 W. Do zasilania wybrano zasilacz firmy OSRAM typ OPTOTRONIC® OT 80/220-240 DIM P, który umożliwia zasilanie paska LED o maksymalnej mocy 80 W. Ponadto jest on wyposażony w sterowanie typu 1÷10 V. Do zasilania oprawy zastosowano dwa takie zasilacze, po jednym do każdej barwy pasków LED. Do włączania i wyłączania zasilania oraz regulowania strumienia świetlnego zastosowano wyłącznik z potencjometrem typu DIM MCU P firmy OSRAM. Po zmontowaniu oprawy wraz z układem zasilania okazało się, że potencjometr ten umożliwił całkowite ściemnienie danej barwy paska LED.

Wyniki pomiarów fotometrycznych modeli opraw oświetlenia pośredniego

Pierwotnym założeniem było wykonanie oprawy, w której do dolnej powierzchni płaskownika aluminiowego byłaby przykręcona ozdobna płyta mleczna z PMMA. Przy maksymalnym strumieniu świetlnym paska LED tylko jednej barwy, temperatura aluminiowego płaskownika, który pełni

jednocześnie rolę radiatora, zbliżała się do granicznej wartości 50°C. Z tego powodu pomiary fotometryczne tej oprawy wykonano tylko przy pełnymysterowaniu pasków LED poszczególnych temperatur barwowych - 2 700 K i 5 000 K. Następnie zmieniono konstrukcję oprawy, zastępując płytę PMMA radiatorem, którego funkcję pełnił aluminiowy ceownik o wymiarach 120 × 40 × 5 mm, przykręcony do płaskownika z użyciem pasty przewodzącej ciepło. Pomiary drugiej oprawy wykonano przy maksymalnym strumieniu pasków LED obu temperatur barwowych oddzielnie oraz łącznie. Bryłę fotometryczną światłości zmierzono, po ustabilizowaniu się parametrów świetlnych opraw, fotogoniometrem, na którym oprawa była zawieszona w pozycji pionowej. Odległość pomiarowa wynosiła 7 m. Wymiar ten w stosunku do długości powierzchni świecącej oprawy, wynoszącej 1,5 m, był wystarczający, aby zapewnić poprawność pomiarów. Pomiary wykonywano w płaszczyznach C 0 ÷ C 90 co 15° oraz symetrycznie w płaszczyznach C 180 ÷ C 270. Ze względu na bryłę fotometryczną LED-ów, zbliżoną do rozsyłu lambertowskiego, mierzone od osi kąty γ zmieniano co 5°.

Parametry świetlne oprawy z paskami LED o temperaturze barwowej 2 700 K z przesłoną PMMA ustabilizowały się po ok. 60 min od włączenia (rys. 2). W tym czasie rosła temperatura płaskownika oraz naklejonych na nim pasków i jednocześnie o 14,3% zmalał strumień świetlny oprawy. Wartość strumienia świetlnego, obliczona na podstawie zmierzonej bryły fotometrycznej oprawy, wyniosła 5 166 lm.

Podobnie było po włączeniu oprawy z przesłoną PMMA z paskami LED o temperaturze barwowej 5 000 K. Jej parametry świetlne ustabilizowały się po ok. 60 min od włączenia (rys. 3), a strumień świetlny oprawy zmalał o 14,7%. Jego wartość, obliczona na podstawie zmierzonej bryły fotometrycznej oprawy, wyniosła 5 717 lm.

Parametry świetlne oprawy z radiatorem i paskami LED o temperaturze barwowej 2 700 K ustabilizowały się po ok. 70 min od włączenia (rys. 2). Zastosowanie radiatora spowodowało mniejszy spadek strumienia świetlnego oprawy, który wynosił 8,9%. Obliczona wartość strumienia świetlnego wyniosła 5 464 lm. Wartość ta była o 5,8% większa niż w oprawie bez radiatora, co wyraźnie pokazuje jak ważne jest obniżenie temperatury pracy LED-ów.

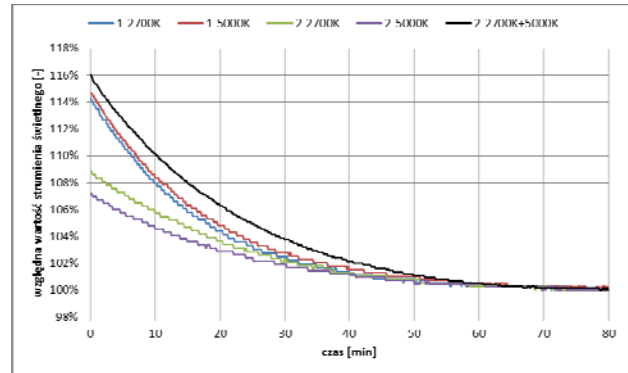
Czas ustabilizowania się strumienia świetlnego oprawy z radiatorem i paskami LED o temperaturze barwowej 5 000 K wyniósł 70 min od jej włączenia (rys. 2). W tym czasie wartość strumienia świetlnego zmalała o 7,2%. Obliczona wartość strumienia świetlnego wyniosła 6 034 lm i była o 5,5% większa niż w oprawie bez radiatora.

Po zastosowaniu radiatora zmierzono parametry oprawy z maksymalnieysterowanym strumieniem świetlnym obu pasków LED - o temperaturze barwowej 2 700 K i 5 000 K. Parametry świetlne tej oprawy ustabilizowały się po ok. 70 min od włączenia (rys. 3). W tym czasie wartość strumienia świetlnego spadła o 16,0%. Obliczona wartość strumienia świetlnego wyniosła 10 700 lm.

Analiza uzyskanych wyników pomiarowych modeli opraw oświetlenia pośredniego

Zmierzone parametry oprawy z płytą PMMA różnią się od parametrów oprawy z radiatorem. Ze względu na temperaturę, pierwszego typu opraw nie możnaysterować na pełną moc. Należy podkreślić, że parametry świetlne obu typów modeli opraw stabilizują się w dość długim czasie - od 60 do 70 min (rys. 2). Charakter spadku strumienia świetlnego jest we wszystkich przypadkach podobny, ale jego zakres po zastosowaniu radiatora jest

zdecydowanie mniejszy niż przyysterowaniu pasków LED o jednej barwie.



Rys. 2. Porównanie charakterystyk czasowych zmiany strumienia świetlnego opraw: 1 - z płytą PMMA, 2 - z radiatorem

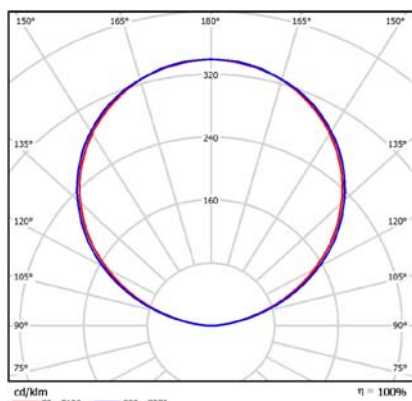
Końcowe parametry opraw zależą także od ich budowy. W tabeli 2 zestawiono podstawowe zmierzone parametry modelowych opraw oświetlenia pośredniego z LED-ami, po stabilizacji ich parametrów świetlnych. Po zastosowaniu radiatora oprawy pobierały moc większą o 2,3% i emitowały o ok. 5,5% większy strumień świetlny. Związane to było z mniejszą temperaturą pracy diod w oprawie z radiatorem. Ysterowanie na pełną moc wszystkich LED-ów w oprawie z radiatorem spowodowało zwiększenie temperatury pracy diod. W rezultacie strumień świetlny tej oprawy był o 6,7% mniejszy niż suma zmierzonych strumieni świetlnych pasków LED o poszczególnych barwach. Należy podkreślić, że we wszystkich przypadkach zmierzona wartość strumienia świetlnego była większa niż deklarowana przez producenta.

Tabela 2. Zmierzone parametry modelowych opraw oświetlenia pośredniego LED

Typ oprawy	Temperatura barwowa [K]	Moc [W]	Strumień świetlny [lm]
z płytą PMMA	2 850	70,5	5 166
z płytą PMMA	5 100	70,6	5 717
z radiatorem	2 850	72,1	5 464
z radiatorem	5 100	72,2	6 034
z radiatorem	3 800	141,1	10 727

Temperaturę barwową pasków LED zmierzono za pomocą miernika Chroma Meter CL-100 firmy Minolta. Wartość temperatury barwowej oprawy przy maksymalnymysterowaniu wszystkich LED-ów wyniosła 3 800 K. Jest to barwa jak najbardziej akceptowalna w pomieszczeniach biurowych. Należy zwrócić uwagę na fakt, że wartości pomiarowe były nieco wyższe od deklarowanych przez producenta - odpowiednio: 2 850 K zamiast 2 700 K oraz 5 100 K zamiast 5 000 K.

We wszystkich przypadkach uzyskano bardzo podobną bryłę fotometryczną światłości. Z tego powodu na rysunku 3 przedstawiono tylko zmierzony rozsył światłości (przeliczony na 100% sprawności) oprawy z radiatorem przy pełnymysterowaniu pasków LED o barwach 2 700 K i 5 000 K. Jak należało się spodziewać, rozsył ten jest bardzo zbliżony do rozsyłu lambertowskiego. Chociaż jest on praktycznie obrotowo-symetryczny, to opracowane pliki, wykorzystywane później do symulacji instalacji oświetlenia pośredniego, mają założoną symetrię w dwóch płaszczyznach i w odniesieniu do nich wprowadzono dokładne dane. Wynikało to z faktu, że tylko wtedy można było w plikach podać inną długość i szerokość oprawy, tzn. wartości rzeczywiste.

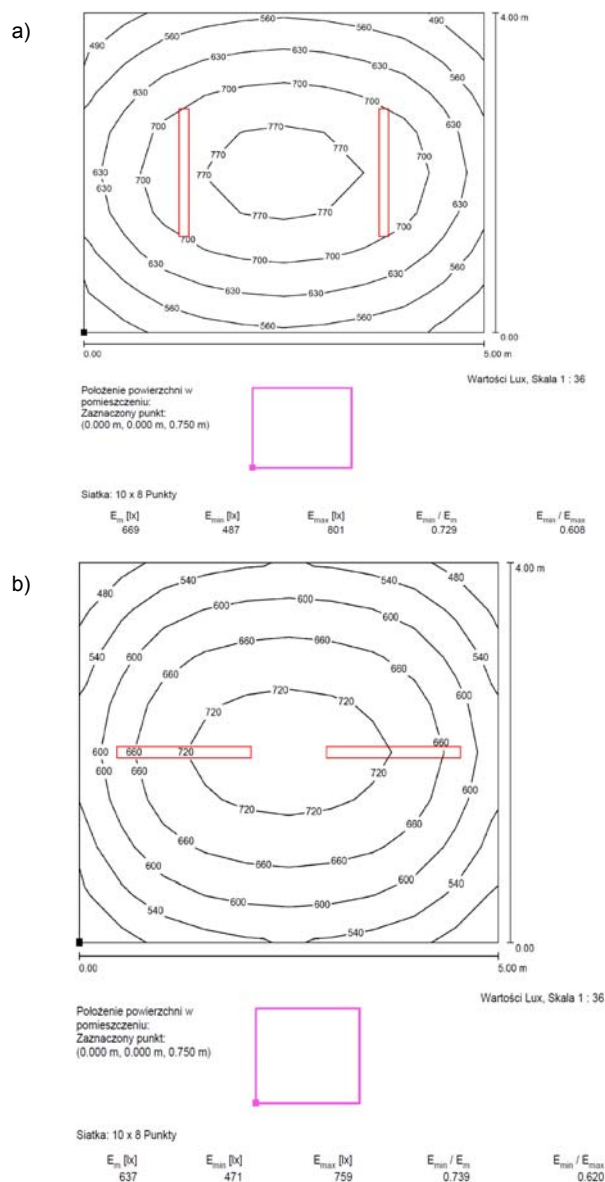


Rys. 3. Zmierzone rozsyły światłości oprawy z radiatorem przy pełnym wystawieniu pasków LED o barwach 2 700 K i 5 000 K

Skuteczność świetlna modelu oprawy, obliczona jako iloraz zmierzonej wartości strumienia świetlnego w układzie z wystawionymi na pełną moc wszystkimi LED-ami w oprawie z zamontowanym radiatorem do zmierzonej łącznej mocy pobieranej przez układ sterowania i źródła LED-owe, wynosi 76 lm/W. Wynik ten jest bardzo dobry, zwłaszcza że zastosowane paski LED są zasilane napięciowo, a stabilizacja prądu jest zrealizowana na opornikach zamontowanych na pasku, przez co powstają dodatkowe straty.

Założenia projektowe dotyczące wymaganej minimalnej wartości strumienia świetlnego jednej oprawy (nie mniej niż 10 000 lm) wynikały z oszacowania strumienia świetlnego, jaki powinny mieć dwie modelowe oprawy, aby oświetlić pomieszczenie o wymiarach 4 × 5 m i wysokości 3,2 m, w którym wartości współczynników odbicia sufitu, ścian i podłogi wynoszą odpowiednio: 0,9; 0,7 i 0,2. Oprawy umieszczono na zwieszakach o długości 0,3 m od sufitu. Analizując uzyskane wyniki należy uwzględnić współczynnik utrzymania równy 1,0, który przyjęto po to, aby obliczone wartości odzwierciedlały parametry nowej instalacji oświetleniowej. W programie Dialux wykonano symulacje komputerowe dwóch sposobów umieszczenia opraw: wzdłuż i w poprzek pomieszczenia (rys. 4). W obu przypadkach, na powierzchni roboczej umieszczonej na wysokości 0,75 m nad powierzchnią podłogi, uzyskano zbliżone, wysokie wartości natężenia oświetlenia, spełniające z odpowiednim zapasem wymagania dotyczące oświetlenia pomieszczeń biurowych (500 lx) [2]. Interesujące jest, że przy poprzecznym usytuowaniu opraw (rys. 4 a) obliczona średnia wartość natężenia oświetlenia jest o 5% większa niż przy typowym usytuowaniu podłużnym (rys. 4 b).

Oba sposoby usytuowania opraw umożliwiają uzyskanie zbliżonych i wyższych niż wymagane w normie [2] wartości równomierności oświetlenia (0,6) na stanowiskach pracy biurowej (stanowiska pracy CAD/DSE - p. 5.26.4 oraz pisanie, pisanie na maszynie, czytanie, przetwarzanie danych - p. 5.26.2). Ponadto, przy stosowaniu oświetlenia pośredniego nie są widoczne nieoświetlone elementy źródeł światła, więc nie występuje zjawisko olśnienia bezpośredniego. Zgodnie ze wzorem obliczeniowym na UGR, luminancja oprawy w kierunku obserwatora wynosi zero, więc również wartość UGR będzie wynosiła zero, czyli formalnie olśnienie nie wystąpi. I taka wartość będzie podana w projekcie oświetleniowym. Należy jednak pamiętać, że w tym przypadku sufit jest wtórnym źródłem światła i w zależności od strumienia świetlnego źródeł światła zamontowanych w oprawie, jego luminancja może przyjmować różne wartości, które nie są sprecyzowane w normie. Pomimo tego aspektu, opisane w artykule oprawy są jak najbardziej odpowiednie do oświetlania stanowisk pracy z monitorami ekranowymi.



Rys. 4. Wyniki symulacji w programie Dialux oświetlenia płaszczyzny roboczej pomieszczenia o wymiarach 4 × 5 m i wysokości 3,2 m z dwoma modelowymi oprawami umieszczonymi: a) w poprzek pomieszczenia, b) wzdłuż pomieszczenia

Publikacja opracowana na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” dofinansowywanego w latach 2011-2013 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

LITERATURA

- [1] <http://www.osram.pl/appsinfo/pdc/pdf>
- [2] PN-EN 12464-1:2012 Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach

Autorzy: mgr inż. Andrzej Pawlak, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, e-mail: anpaw@ciop.pl; dr hab. inż. Krzysztof Zaremba, Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny, ul. Wiejska 45D, 15-893 Białystok, e-mail: k.zaremba@pb.edu.pl