

## Oprawy oświetleniowe ze źródłami światła LED i ich stosowanie w oświetleniu drogowym

**Streszczenie:** Opisano w sposób poglądowy budowę i zasadę działania diod półprzewodnikowych LED i możliwość ich zastosowania do budowy opraw oświetleniowych drogowych. W oparciu o dotychczasowy rozwój technologiczny tych źródeł światła sformułowano zalety i wady diod LED w oświetleniu drogowym. W podsumowaniu podano przewidywania co do tworzenia się nowych standardów w oświetleniu związanych z dynamicznym rozwojem tych półprzewodnikowych źródeł światła.

**Abstract:** The paper visually describes the construction and operation principle of semiconductor diodes LEDs and possibilities of use them to the road luminaires construction. Based on the current technological development of these light sources, it has been reported advantages and disadvantages of LEDs in road lighting. In summary, it has been given predictions for the creation of new standards in lighting, connected with the dynamic development of the semiconductor light sources (*LED luminaires and its application in road lighting*).

**Słowa kluczowe:** technika oświetlania, oświetlenie drogowe, oprawa oświetleniowa, dioda LED.

**Keywords:** lighting technology, road lighting, lighting fitting, diode LED.

### Wstęp

Ciągły i znaczący postęp technologiczny w produkcji półprzewodnikowych źródeł światła jakimi są diody LED w ostatnich latach sprawił, że stały się już one pełnowartościowymi źródłami światła także w oświetleniu ogólnym nie wyłączając oświetlenia drogowego. Na dzień dzisiejszy jednak ograniczenia technologiczne diod LED a tym samym projektowanych z ich użyciem opraw predysponują je do obszaru zastosowań dla dróg jeszcze o stosunkowo niskich wymaganiach oświetleniowych.

### Diody LED – budowa, działanie

Podstawą działania diody LED (Light Emitting Diode) jest zjawisko elektroluminescencji zaobserwowane po raz pierwszy w 1907 roku. Ale pierwsze egzemplarze wyprodukowanych diod pojawiły się w końcu lat sześćdziesiątych XX wieku.

Diody LED są strukturami półprzewodnikowymi zawierającymi złącze p-n, emitującymi promieniowanie optyczne po wzbudzeniu złącza prądem elektrycznym. Dioda LED emituje promieniowanie (fotony) w kierunku przewodzenia, tzn. od warstwy typu p do warstwy typu n. Diody zasilane są ze źródła prądu, przy czym dla diod małej mocy wartość prądu zasilania jest rzędu 30 ÷ 100 mA (diody mocy 50 ÷ 100 mW), dla diod tzw. dużej mocy (1 ÷ 5 W) typowe wartości prądu to 0,35 A do 1,0 A.

Diody zasilane są napięciem stałym o wartości zaledwie kilku woltów. Wartość napięcia zasilającego jest zależna od energii emitowanych fotonów, im jest ona

większa tym wymagane jest większe napięcie. Stosowane są różne źródła prądowe, do najprostszych zaliczyć można te z włączonym w szereg z diodą rezystorem. Praktyczna realizacja stosowanych dziś rozwiązań opiera się na rozbudowanych układach sterowania zwykle całą matrycą diod LED, wyposażonych w czujniki temperatury jak i pozwalających sterować strumieniem świetlnym tak dla ograniczenia poboru mocy zapobiegając uszkodzeniu diody (matrycy), jak i przy zastosowaniu regulacji mocy po odpowiednim zaprogramowaniu przez użytkownika oświetlenia. Realizacja tego rodzaju układu jest zagadnieniem z teorii obwodów zapewniającym optymalną stabilizację prądu jak i możliwość jego regulacji. Tak więc problem ściemniania, rozjaśniania nie stanowi układowo dla oprawy większego problemu.

Światło diod jest w zasadzie monochromatyczne o charakterystycznym rozkładzie podobnym do krzywej Gaussa (szerokość widma  $10 \div 30$  nm). W zależności od użytego materiału do wykonania diody możliwym jest uzyskanie praktycznie dowolnej barwy światła (kolor żółty, zielony, czerwony, niebieski, pomarańczowy) – ich rozwój przypada na lata osiemdziesiąte XX wieku. Białe światło uzyskano pod koniec lat dziewięćdziesiątych poprzez zmieszanie trzech barw RGB: czerwonej, zielonej i niebieskiej. Białe światło może być wytwarzane, przy obecnych rozwiązaniach, na dwa sposoby. Jednym sposobem jest mieszanie barwnego światła z trzech diod składowych, drugim przekształcenie, przy użyciu luminoforu, światła niebieskiej diody bądź diody wytwarzającej promieniowanie UV. Wynalezienie diody UV w połączeniu z luminoforami dało możliwość wytwarzania światła białego o szerokiej gamie temperatur barwowych.

#### **Zastosowanie w oprawach oświetleniowych**

Ze względu na małą moc pojedynczych diod projektowanie opraw oświetleniowych (w oparciu o diody LED) wymaga zastosowania układów wieloźródłowych. Ilość światła wytwarzanego przez pojedynczą diodę jest zbyt mała dla celów oświetleniowych. Pojedyncze diody łączone są w większe struktury, nazywane modułami LED. Poszczególne diody są łączone ze sobą szeregowo, kolejne gałęzie równolegle.

Ponieważ oprawa oświetleniowa jest oprawą wieloźródłową niezbędnym jest zaprojektowanie wyjątkowo trudnego układu foto- optycznego dla matrycy diodowej. Bryła fotometryczna oprawy oświetlenia ulicznego jest bardzo specyficzna - inna w kierunku wzdłuż jezdni i inna w poprzek, bez symetrii obrotowej. W oprawach oświetleniowych LED rozsyły światłości uzyskuje się na kilka sposobów:

1. poprzez równomierne rozłożenie diod, o tej samej bryle fotometrycznej, na płaskiej powierzchni i montuje się na każdej diodzie soczewki odpowiednio formujące bryłę fotometryczną,

2. diody o takim samym rozsyłe montuje się na specjalnie wygiętej (liniowo lub skokowo) powierzchni i na każdej z diod montuje się uformowane odbłyśniki (reflektory),

3. i rzadko diody o tym samym rozsyłe montuje się na płaskiej powierzchni pod różnym kątem (bardzo trudne uzyskanie dokładności montażu).

Stosunkowo wąski kąt rozsyłu układów optyczno-świetlnych diod LED umożliwia uzyskanie stosunkowo małego olśnienia od tego typu opraw co jest dużą zaletą. Z kolei skuteczność świetlna diod LED, która wskazuje ile uzyskuje się strumienia świetlnego z mocy dostarczonej, na chwilę obecną jest już na przyzwoitym poziomie. Bardzo dobrej jakości diody o białej barwie światła osiągają w warunkach produkcyjnych wartość  $90$  lm/W i więcej. A więc na poziomie najlepszych lamp wysokoprężnych sodowych o żółtej barwie światła i przewyższają już

## **VI Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2010**

uzyskiwane poziomy skuteczności świetlnej wysokoprężnych lamp metalohalogenkowych o białej barwie światła.

Układy matryc LED zasilane są niskim napięciem stałym 10 V lub 24 V z układów zasilających, te z kolei zasilanie są napięciem sieciowym 230 V 50 Hz. Stosowane rozbudowane elektroniczne układy zasilające realizują i nadzorują wszystkie istotne parametry związane z prawidłowym działaniem matryc diodowych takich jak: stabilizacja prądu przewodzenia, temperatura pracy matrycy diodowej, sterowanie poziomem mocy pobieranej w zależności od warunków termicznych w oprawie - zmniejszanie poziomu strumienia świetlnego, regulacja mocy pobieranej co w konsekwencji powoduje zmniejszanie poziomu natężenia oświetlenia lub luminancji w porze ciemnej, gdy natężenie ruchu pojazdów jest niskie (zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 13 201: 2007).

Diody LED nie emitują ani promieniowania ultrafioletowego ani promieniowania podczerwonego. Oznacza to konieczność odprowadzenia dużych ilości ciepła z obudów złącz p-n. Realizuje się to poprzez stosowanie w oprawie radiatorów zapewniających dostatecznie szybkie odprowadzanie ciepła. Radiatorem często jest odpowiednio zaprojektowana obudowa oprawy. Termiczne warunki pracy diody są bardzo ważnym czynnikiem wpływającym na parametry fotometryczne i jej trwałość.

### **Zalety i wady diod LED w oświetleniu drogowym**

Diody oświetleniowe LED są kolejną generacją sztucznych źródeł światła. Ciągły ich rozwój pozwala przypuszczać, że w niedalekiej przyszłości wyprą wiele rodzajów używanych dziś źródeł światła. Pod względem technicznym można wymienić szereg ich cech:

1. bardzo duża trwałość. Producenci, o uznanej renomie, podają średnią trwałość na poziomie 30 000 ÷ 50 000 godzin, przy czym trwałość diod białych jest nieco niższa od średniej dla diod o innych kolorach. W odniesieniu do dotychczas stosowanych źródeł światła zwykle trwałość podaje się jako czas, po którym połowa (50 %) źródeł światła wygasa. Dla diod LED tak zdefiniowany parametr nie ma zastosowania, ponieważ świecić one będą w bardzo długim czasie z coraz mniejszym strumieniem świetlnym. Dlatego dla diod LED przyjęto kryterium spadku strumienia świetlnego do określonego poziomu. Najczęściej jest to 70 % początkowej wartości (oznaczenie symbolem  $L_{70}$ ). Trwałość diod LED jest już wyższa niż najlepsze znane wysokoprężne lampy sodowe i kilkakrotnie przewyższająca trwałość wysokoprężnych lamp metalohalogenkowych. Należy także zaznaczyć, że o trwałości oprawy z diodami LED decydują nie tylko same elementy świecące ale również elementy układu zasilania, systemu odprowadzania ciepła, układy optyczne, itp.

2. skuteczność świetlna diod emitujących białe światło jest aktualnie (dla warunków produkcji przemysłowej uznanych producentów) na poziomie 80 ÷ 120 lm/W. Każdy miesiąc przynosi nowe informacje o postępie technologicznym poprawiającym także ten parametr. Widzimy więc, że wartości skuteczności świetlnej diod dużej mocy są już porównywalne do lamp wysokoprężnych sodowych emitującymi żółte światło i przewyższające wartość tego parametru dla lamp wysokoprężnych metalohalogenkowych emitujących białe światło.

3. istotnym parametrem jest zachowanie się strumienia świetlenia z upływem czasu eksploatacji. Jest to bardzo ważna kwestia, gdyż od tej cechy zależy jak duży zapas strumienia świetlnego należy przewidzieć w chwili oddawania oprawy oświetleniowej do użytku, tak by pod koniec okresu eksploatacji pozostała wielkość strumienia gwarantowała odpowiedni do potrzeb poziom oświetlenia - dobór

odpowiedniej wartości współczynnika zapasu. Na obecną chwilę diody LED dużej mocy charakteryzują się gorszą stabilnością utrzymania strumienia świetlnego niż lampy sodowe i lepszą niż lampy metalohalogenkowe.

4. długi, bezobsługowy okres eksploatacji jest oparty głównie na przewidywanej trwałości diod LED wyznaczanej w warunkach laboratoryjnych. Co do trwałości pozostałych istotnych układów tak elektronicznych jak i osprzętu na dziś jeszcze brak doświadczeń.

5. ze względu na stosunkowo nieduże moce diod LED, w porównaniu do klasycznych lamp stosowanych w oświetleniu drogowym, oprawy oświetlenia ulicznego muszą być oprawami wieloźródłowymi. A więc układ optyczny musi być zrealizowany jako matryca diodowa, w której grupę diod świecą w różnym kierunku. Może się zdarzyć, że spośród tej liczby diod ulegnie statystycznie awarii jedna (grupa diod). Oprawa nadal będzie działała, ponieważ układy sterowania i regulacji czuwać będą nad prawidłowym zasilaniem i temperaturą pracy pozostałych sprawnych elementów świecących oprawy. Niemniej kierunek, dla uszkodzonej diody, dla którego zaplanowano świecenie będzie pozbawiony światła.

6. bryła fotometryczna oprawy oświetlenia ulicznego jest bardzo specyficzna i pozbawiona symetrii obrotowej, jest także inna w kierunku wzdłuż jedni i inna w poprzek tej jezdni. Po kilku latach wyťažonej pracy, żmudnych prób i badań, wysiłki w zakresie konstrukcji układu optycznego zaowocowały w końcu opracowaniami spełniającymi wymagania rozkładu oświetlenia na jezdni. W dalszym ciągu dla wielu rozwiązań opraw oferowanych na rynku jest brak dostępu do danych fotometrycznych (bryła fotometryczna, wykresy izoluksów). Stąd niezbędna ostrożność przy rozpatrywaniu ofert przed zakupem opraw.

7. chromatyczność, rozkład widmowy promieniowania oraz oddawanie barw. Diody LED to przede wszystkim monochromatyczne źródła światła o bardzo wąskim zakresie widma (użyteczna szerokość widma wynosi ok. 20 nm). Są one zatem bezpośrednim źródłem światła barwnego co jest jedną z największych zalet. Oferta barwnych diod LED została uzupełniona diodami o barwie białej. W zależności od sposobu mieszania składowych podstawowych barw RGB jak i dobranego luminoforu (dwa sposoby uzyskiwania barwy białej) uzyskuje się dość niski wskaźnik oddawania barw ( $R_a < 60$ ) jak i dobre oddawanie barw ( $R_a > 60$ ). Obecnie stosowane luminofory pozwalają na uzyskanie współczynnika oddawania barw na poziomie

$80 \div 85$ , przy czym standardem jest  $R_a = 75$ .

8. odporność na wstrząsy, uderzenia i wibracje. Zwarta konstrukcja diody półprzewodnikowej (brak wrażliwych na wstrząsy elementów metalowych lub szklanych dla typowych źródeł światła) eliminuje uszkodzenia mechaniczne tak podczas transportu a także montażu i późniejszej eksploatacji opraw z tymi źródłami światła. Ma to szczególne znaczenie dla pracy na przeprawach mostowych podlegających zwykle dużym drganiom jak i dla drogach o dużym natężeniu ruchu. Nie wpływa to na zarówno na ich trwałość jak i na ich strumień świetlny.

9. natychmiastowe bezzwłoczne zadziałanie. Po chwilowym braku napięciu zasilania działanie diod (matrycy diodowej) w oprawie jest natychmiastowe. Ma to także znaczenie przy zastosowaniu czujników ruchu dla dróg, na której pojawił się użytkownik tej powierzchni ruchu. Tej zalety nie posiadają wysokoprężne lampy wyładowcze.

10. brak szkodliwej dla środowiska naturalnego rtęci. Rtęć jest używana w produkcji wyładowczych źródeł światła.

## **VI Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2010**

11. koszt jednostkowy opraw opartych o diody LED jest jeszcze bardzo wysoki. Koszt jest jeszcze wysoki ale wraz z upowszechnianiem powinien i będzie się obniżać.

12. biała barwa światła (krótkofalowa część widma światła widzialnego) może przemawiać za stosowaniem diod LED w oświetleniu zewnętrznym. Od szeregu lat stosowanie białego światła w tego rodzaju oświetleniu, jest przedmiotem badań i opracowań. Jak wiadomo strumień świetlny źródeł światła wyznaczany jest dla widzenia fotonowego. Reakcja układu widzenia człowieka jest zależna od poziomu i rozkładu luminancji adaptacji. Dla dróg o wysokich wymaganiach oświetleniowych poziom adaptacji odpowiada praktycznie widzeniu fotonowemu. Dla niskich poziomów luminancji adaptacja wzroku odpowiada widzeniu mezopowemu, gdzie maksimum czułości oka przesuwają się właśnie w stronę fal krótszych i dla którego stosowanie diod LED może być korzystne ze względu na widmowy rozkład ich promieniowania w tej krótkofalowej części widma. Konsekwencją tego jest powiększony strumień świetlny diod LED w porównaniu do lamp sodowych. Możliwość obniżenia wymagań oświetleniowych dla dróg o niskich wymaganiach oświetleniowych dla instalacji wykorzystujących diody LED jest jednak jeszcze w sferze badań.

**Tablica 1.** Skuteczności świetlne [lm/W] białych diod mocy LED (dane z 02.2010)

barwa	Seul Semikonduktor Korea Płd.	Cree USA	Philips Holandia	OSRAM Niemcy
zimna	106	132	100	102
neutralna	84	82	81	102
ciepła	75	70	73	102

### **Podsumowanie**

Diody elektroluminescencyjne podlegają niezwykle dynamicznemu i ciągłemu rozwojowi technologicznemu. Dzisiejsze rozwiązania są inne niż te nie tylko sprzed kilku lat ale także sprzed jednego roku. Obserwowany dynamiczny rozwój spowoduje zapewne wejście nowych rozwiązań, które pojawią się na rynku w najbliższej przyszłości. Wysoka trwałość i wysoka skuteczność świetlna diod LED jest nadzieją na energooszczędne rozwiązania oświetlenia ulicznego. Ze względu na jeszcze niestabilizowaną i rozwojową technologię źródła te nie znalazły się w aktualnych opracowaniach na szczeblu Unii Europejskiej w zakresie zaleceń i wytycznych dotyczących tzw. eko-projektu jak i efektywności energetycznej (dyrektywy: 2005/32/WE

Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 6 lipca 2005 r, 2006/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 05.04.2006, rozporządzenia: Komisji Europejskiej (WE) Nr 244/2009 z dnia 18 marca 2009 r. i Nr 245/2009 z dnia 18 marca 2009 r.). Za to w normalizacji międzynarodowej pojawiły się opracowania w zakresie wymogów bezpieczeństwa modułów LED do ogólnych celów oświetleniowych (EN 62 031: 2008, Moduły LED do ogólnych celów oświetleniowych – Wymagania bezpieczeństwa).

Oprawy oświetleniowe z tymi nowymi źródłami światła są obiecującym rozwiązaniem technicznym. Ich możliwe aplikacje w oświetleniu drogowym sprowadzają się do raczej niskich klas oświetlenia - ze względów czysto

ekonomicznych nie mogą być dziś zamiennikami klasycznych opraw oświetleniowych dla wyższych klas oświetleniowych.

Źródła światła stosowane w oświetleniu drogowym powinny charakteryzować się wysoką efektywnością energetyczną, trwałością i stabilnością parametrów w całym okresie eksploatacji. Obecny stan techniki w tym zakresie wskazuje, że diody LED spełnią w niedalekiej przyszłości wszystkie te wymagania z nadwyżką.

Przewiduje się, że diody elektroluminescencyjne, ze względu na swoje specyficzne cechy konstrukcyjne i mimo występowania jeszcze wielu problemów do rozwiązania, pozwolą na osiągnięcie zupełnie nowych standardów w oświetleniu.

#### LITERATURA

- [1]. EN 62 031:2008, Moduły LED do ogólnych celów oświetleniowych – Wymagania bezpieczeństwa, CEN, Bruksela (2008)
- [2]. materiały konferencyjne z IV Konferencji Oświetlenie drogowe. Sposoby zarządzania systemami oświetlenia na terenie kraju, PTPIREE, Wisła (2009)
- [3]. K e l m P., Projektowanie matryc LED do opraw oświetleniowych”, XVI Krajowa Konferencja Oświetleniowa Technika Świetlna '07, *Przegląd Elektrotechniczny* 1'2007, Warszawa (2007)
- [4]. T u r l e j Z., Barwy i efektywność źródeł światła LED, XVI Krajowa Konferencja Oświetleniowa, Technika Świetlna '07, *Przegląd Elektrotechniczny* 1'2007, Warszawa (2007)
- [5]. Ż a g a n W., Rzetelnie i rozważnie o LED-ach – ocena obecnych i Prognoza przyszłych aplikacji oświetleniowych diod elektroluminescencyjnych, *Przegląd Elektrotechniczny* 1'2008, Warszawa (2008)
- [6]. strony internetowe [www: cree.com](http://www.cree.com), [acriche.com](http://www.acriche.com), [nichia.com](http://www.nichia.com), [philips.com](http://www.philips.com).

**Autor:** inż. Stanisław Pieniązek, ELGO Lighting Industries S.A., ul.Kutnowska 98, 09-500 Gostynin  
E-mail: [stanislaw.pieniazek@elgo-li.pl](mailto:stanislaw.pieniazek@elgo-li.pl)