

## **Postęp technologiczny opraw oświetlenia drogowego z zastosowaniem LED**

**Abstract:** *The text provides information about changes in the development of manufacturing technology of high power LEDs and in design of luminaires in which these light sources are applied. The facts about the normative documents, procedures and technical and designing guidelines which aim at establishing the principles and rules of placing them on the market were also mentioned here.*

**Słowa kluczowe:** oświetlenie, oprawy oświetleniowe, lampy LED.

### **Wstęp**

Do najszybciej rozwijających się technologii źródeł światła należą obecnie diody elektroluminescencyjne. Uzyskiwane coraz lepsze parametry fotometryczne i kolorymetryczne powodują, że lampy LED wkracają w nowe obszary zastosowań oświetleniowych, w tym także do oświetlenia drogowego. Zastosowanie diod elektroluminescencyjnych w drogowych oprawach oświetleniowych jest przyszłościowym kierunkiem rozwoju w tego rodzaju aplikacjach. Już obecnie oprawy drogowe z LED stanowią alternatywę do opraw z tzw. konwencjonalnymi źródłami światła. Przy coraz wyższych cenach energii elektrycznej, w aspekcie zmniejszenia kosztów eksploatacyjnych stosowanie półprzewodnikowych źródeł światła będzie coraz powszechniejsze. Pewną barierą jeszcze dziś stanowi cena tego typu oświetlenia, ale na przestrzeni ostatnich kilku lat można zaobserwować szybkie obniżanie się cen i w związku z tym w najbliższej przyszłości możliwą coraz większą ich dostępność. Już dziś najczęściej okazuje się, że inwestycje oświetleniowe wykonane w oparciu o technologię LED są inwestycjami stosunkowo szybko zwrotnymi. Można śmiało stwierdzić, że oświetlenie wykonane w technologii LED w najbliższej przyszłości odegra kluczową rolę, jako podstawowe oświetlenie efektywne energetycznie.

### **Konstrukcja opraw**

Dotychczasowe rozwiązania stosowane w oprawach z tzw. konwencjonalnymi źródłami światła o znacznych gabarytach i dużych mocach nie mogą być wykorzystane do tych nowych źródeł światła. Projektowanie opraw do tych nowoczesnych źródeł należy rozpoczynać od nowa, uwzględniając specyficzne cechy diod. Konstrukcje opraw z zastosowaniem LED w ciągu ostatnich kilku lat szybko ewoluowały proponując inwestorom coraz lepsze rozwiązania. Każde nowe opracowania wykorzystywały doświadczenia z poprzednich eliminując niedoskonałości bądź wprowadzając w życie nowe pomysły. Wprowadzenie soczewek odpowiednio formujących bryłę fotometryczną równomiernie rozłożone na płaskiej powierzchni w miejsce odpowiednio ukształtowanych odbłyśników na specjalnie wygiętej powierzchni montażowej oprawy, zmiana systemów chłodzenia diod półprzewodnikowych znacząco poprawiły właściwości eksploatacyjne opraw.

Dużym problemem przy projektowaniu opraw ulicznych jest uzyskiwanie różnych brył fotometrycznych dla jednego typu oprawy. W oprawach z wyładowczymi źródłami światła jest to realizowane poprzez zmianę położenia odbłyśnika względem lampy.

Poprzez różne konfiguracje ustawień położenia odbłyśnika a także oprawy lampy w oprawie można uzyskać kilkadziesiąt różnych charakterystyk fotometrycznych dla tego jednego wykonania. W oprawach z diodami LED rozwiązanie tego problemu polega na zaprojektowaniu różnych systemów optycznych (montowanych na każdej diodzie). Jest to dużym utrudnieniem w projektowaniu opraw oświetleniowych przy potrzebie uzyskania różnych charakterystyk fotometrycznych. Pewnym pocieszeniem w realizacjach oświetleniowych jest stosowanie rzadko, w rzeczywistości krajowej, innych ustawień emisji światła niż standardowe wykonane fabrycznie. Nie znaczy to wcale, że jest to właściwe postępowanie, ponieważ uniemożliwia wybranie optymalnego ustawienia rozsyłu strumienia świetlnego. Powszechnie za to wykorzystuje się możliwość regulacji strumienia poprzez zmianę nachylenia oprawy na elementach wsporczych oświetlenia (stupy oświetleniowe).

### **Skuteczność świetlna opraw z LED-energooszczędność instalacji oświetleniowych**

Miernikiem dającym możliwość oszacowania możliwych oszczędności w zużyciu energii elektrycznej jest skuteczność świetlna opraw oświetleniowych. Skuteczność świetlna będąca miarą wydajności energetycznej nie jest jedynym parametrem dającym poprawną ocenę dobranych poziomów mocy zainstalowanych systemów oświetleniowych w rzeczywistych warunkach oświetlenia ulicy. Należy zauważyć, że w powszechnej praktyce poszukiwania oszczędności zaniedbuje się właśnie nagminnie możliwości tkwiące w racjonalnych systemach konserwacji, wykorzystania korzystnych (czytaj: zazwyczaj jasnych) rodzajów nawierzchni jezdni i optymalnych sprawnościach oświetlenia, czyli stopniem wykorzystania użytecznego strumienia (docierającego do powierzchni jezdni). Wydajność energetyczna, jaką jest ilość wypromieniowanego światła na jednostkę mocy pobieranej przez urządzenie oświetleniowe, może być istotnym parametrem mogącym w prosty sposób bezpośrednio porównać, pod względem ekonomicznym, koszty eksploatacji różnego typu opraw ze względu na zużycie energii elektrycznej.

Naturalną kolejną rzeczą, w miarę rozwoju technologii LED, jest przeprowadzanie porównań i analiz techniczno-ekonomicznych w odniesieniu do nazywanych obecnie tzw. konwencjonalnych źródeł światła. Tymi konwencjonalnymi źródłami światła są lampy wyładowcze wysokoprężne metalohalogenkowe i sodowe. Do porównań bierze się zazwyczaj lampy sodowe, jako, że są najbardziej popularnymi źródłami światła w oświetleniu drogowym, ale i ze względu na najwyższe osiągnięte wartości skuteczności świetlnej przy ich jednoczesnym długim czasie życia jak i niskim spadkiem strumienia świetlnego w czasie. W Tablicy 1 przedstawiono porównanie opraw z diodami LED i opraw z lampami wysokoprężnymi sodowymi w zakresie wydajności energetycznej. Przyjęto do porównania osiągnięte parametry produktów CREE, Osram i ELGO.

Pewnego komentarza wymaga istotna zależność strumienia świetlnego LED od temperatury - im temperatura na diodzie jest wyższa tym gwałtowniej spada wartość jej strumienia świetlnego a zatem i skuteczność świetlna. Podawane w katalogach parametry świetlna optyczne diod LED i opraw oświetleniowych z lampami LED są określane dla temperatury + 25 °C, czyli temperatury, która bardzo odbiega w rzeczywistych warunkach pracy diod. Należy, więc tę cechę zależności strumienia świetlnego od temperatury uwzględniać przy wyznaczaniu faktycznej skuteczności świetlnej diod LED a więc i oprawy dla warunków eksploatacyjnych.

W uzyskiwaniu dodatkowych oszczędności na energii elektrycznej funkcjonujących instalacji oświetleniowych może być wykorzystanie cechy diod, jaką jest natychmiastowe zadziałanie po załączeniu napięcia zasilania. Tej cechy nie posiadają żadne źródła światła wyładowcze, posiada ją natomiast zwykła żarówka (lampa inkandescencyjna). Może to być wykorzystane do stosowania w sterowaniu oświetleniem przy użyciu czujników ruchu.

## VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012

**Tablica 1.** Skuteczności świetlne opraw oświetleniowych

parametr	oznaczenie	oprawy z diodami LED	oprawy do lamp wysokoprężnych sodowych	
			70 W	150 W
Skuteczność świetlna źródła tzw. katalogowa dla $T_{a,j} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\eta_k$ [lm/W]	132	95	115
Sprawność zasilacza w oprawie	$\eta_z$ [%]	90	85	90
Sprawność układu optycznego	$\eta_o$ [%]	85	80	83
Ubytek strumienia diody ze względu na temperaturę pracy diody dla $T_j = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\Delta\eta_k$ [%]	6	-	-
Wynikowa skuteczność świetlna oprawy	$\eta_c$ [lm/W]	95	65	85
Wzrost skuteczności świetlnej opraw z LED w odniesieniu do opraw z lampami sodowymi	[%]	/	46	12
$\eta_c = \eta_k \cdot \eta_z \cdot \eta_o \cdot (100 - \Delta\eta_k) \cdot 10^{-6}$				

A więc jest możliwe całkowite wygaszenie oświetlenia na odcinkach drogi (powierzchni ruchu) w czasie, kiedy nie znajduje się na nim żaden użytkownik. Stosowanie takich rozwiązań wymaga jednak ustalenia szczegółowych zasad i formalnego usankcjonowania przez przepisy normalizacyjne (normy techniczne).

### **Trwałość sprzętu oświetleniowego**

Inwestorzy przed pojęciem decyzji o zakupie zainteresowani są wiedzą jak długo będzie można użytkować zainstalowany sprzęt oświetleniowy. W przypadku opraw z diodami LED istotne jest tempo spadku strumienia świetlnego diod z upływem czasu. Z zasady działania diody wynika, że prawidłowo eksploatowana dioda teoretycznie nie powinna nigdy wygasnąć, przy czym za trwałość diody przyjmowany jest czas świecenia, po którym strumień świetlny spada do 70 % wartości początkowej (oznaczany, jako L70). Powszechnie podawane są deklaracje trwałości opraw wraz ze źródłami światła LED rzędu kilkudziesięciu tysięcy godzin pracy a więc są one znacznie dłuższe od jakichkolwiek konwencjonalnych lamp wyładowczych. W praktyce dane te jednak nie są zweryfikowane w praktyce – opierać się musimy na podawanych przez producentów diod na podstawie prognozowanego zachowania się strumienia świetlnego zgodnie z ustaloną formułą z określonego czasu gromadzenia tych danych.

Wobec braku norm przemysłowych, w amerykańskim programie oszczędzania energii Energy Star, ustalono progi prognozy zachowania się strumienia świetlnego w czasie oparte na prostym modelu matematycznym. Twórcą programu Energy Star jest Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska oraz Departament Energii Stanów Zjednoczonych. Dla osiągnięcia większych efektów i rozszerzenia działań rząd Stanów Zjednoczonych podpisał umowę ze Wspólnotą Europejską. Założeniem programu jest maksymalizowanie oszczędności energii i korzyści dla środowiska naturalnego poprzez stymulowanie podaży i popytu na produkty energooszczędne.

**Tablica 2.** Względny strumień świetlny LED po 6 000 godzinach świecenia

	Minimalny strumień świetlny po 6 000 h (% strumienia początkowego, -3% tolerancji) [%]	Maksimum L <sub>70</sub> - czas życia [h]	ENERGY STAR status zatwierdzenia trwałości
Minimum dla dekoracyjnych	86,7	15 000	Pełna akceptacja (bez dodatkowych testów zachowania strumienia)
Opcjonalnie dla dekoracyjnych	89,9	20 000	
Minimum dla niestandardowych, bezkierunkowych, kierunkowych, opcjonalnie dla dekoracyjnych	91,8	25 000	
Opcjonalnie dla wszystkich typów lamp	93,1	30 000	Akceptacja wstępna (do czasu zakończenia pełnego wymaganego okresu prób)
	94,1	35 000	
	94,8	40 000	
	95,4	45 000	
	95,8	50 000	

W programie tym progi względnej wartości strumienia świetlnego podaje się po upływie 6000 godzin a obliczanie trwałości oparte jest o prostą zależność matematyczną. W tablicy 2 przedstawione są wartości progów strumienia świetlnego i przewidywaną trwałość zgodnie z wymaganiami Energy Star. Eksperti nie zgadzają się z zasadami podanymi przez Energy Star uważając, że są niemiarodajne i należy zmienić reguły oceny. W październiku 2008 IESNA (the Illuminating Engineering Society of North America) ogłosiła standard LM-80 dotyczący metod badania strumienia świetlnego diod LED. Celem tego standardu było ustanowienie zunifikowanych metod badawczych zachowania się strumienia świetlnego, co pozwoliłoby na możliwość porównywania wyników badań wykonywanych w różnych laboratoriach. Jednak po roku stosowania procedury LM-80 wywnioskowano, że wyniki badań uzyskiwane po pierwszych kilku tysiącach godzin użytkowania nie są dalej wiarygodne do prognozowania czasu, po jakim strumień świetlny osiągnie poziom 70 % wartości początkowej. Dla rozwiązania tego problemu specjalna grupa, w IESNA Testing Procedure Committee podjęła na nowo prace nad metodami obliczania trwałości produktów LED w oparciu o wyniki uzyskane podczas badań według LM-80. Prace zaowocowały powstaniem dokumentu oznaczonego, jako, TM-21, który obecnie jest jeszcze na etapie uzgodnień (wejście w życie planowane jest jeszcze w 2011 roku). W dalszym ciągu przy podejściu statystycznym wyniki badań zachowania strumienia świetlnego odnoszą się do badań z 6 000 godzin. Wielu ekspertów jednak twierdzi, że okres 6 000 godzin jest zbyt krótki dla stworzenia dokładnego modelu matematycznego dla wiarygodnej prognozy. Podniesienie jednak progu, do np. 10 000 godzin lub wyżej spowodowałoby dodatkowe obciążenia dla producentów diod i opóźniło wprowadzanie na rynek nowych produktów i nowocześniejszych technologii. Rozważanych jest kilka alternatywnych rozwiązań. Jednym jest pozostawienie progu 6000 godzin i określenie trwałości, jako danych

## **VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012**

pro wizorycznych, które ulegną weryfikacji, jeśli będą dostępne dane uzyskane po dłuższym okresie badań. Innym rozwiązaniem jest wiedza, jaką producenci posiadają by można było obiektywnie prognozować zachowanie strumienia świetlnego w dłuższym okresie czasu. Wtedy wzory przy pomocy, których można wyznaczyć prognozę mogą być publikowane razem z wynikami LM-80. Norma TM-21 ogranicza jej stosowanie dla testów, według LM-80, dotyczących tylko diod. Jednak nie tylko dioda jest krytycznym elementem czy podzespołem oprawy oświetleniowej.

### **Krytycznymi elementami składowymi oprawy są także:**

1. radiator (układ odprowadzający ciepło z diody, z zasilacza, z oprawy) – filar całego systemu konstrukcyjnego. Jeśli jest błędnie zaprojektowany negatywnie wpływa na inne elementy i podzespoły oprawy a w szczególności na strumień świetlny użyteczny jak i na trwałość diod oznaczaną, jako L70. Diody muszą być dobrze chłodzone a temperatura złącza kontrolowana na bieżąco. Układ chłodzenia powinien być zaprojektowany i wykonany na najcięższe warunki pracy. Długotrwała praca w górnym zakresie temperatur prowadzi stopniowo do degradacji struktury p-n diody i ma wpływ na skrócenie trwałości, wartości strumienia świetlnego a także w małym stopniu na barwę światła.
2. zasilacz (elektroniczny) - obecnie jeden ze słabszych ogniw oprawy, przodujący producenci zasilaczy podejmują wysiłki celem sprostania wysokim wymaganiom trwałości zbliżającym je do trwałości diod LED;
3. system optyczny - z upływem długiego okresu czasu przy stosowaniu tworzyw sztucznych o ograniczonej odporności na promieniowanie optyczne, na elementy kształtujące rozsył światła, może wystąpić efekt żółknięcia pogarszający sprawność oprawy.

### **Instalacje oświetleniowe**

W chwili obecnej w Polsce jest jeszcze bardzo niewiele instalacji oświetleniowych z oprawami wyposażonymi w diody LED. Jest kilka przyczyn takiej sytuacji. Są to rozwiązania nowe, mało przetestowane w praktyce. Brak jest doświadczeń eksploatacyjnych, których wyniki mogłyby radykalnie wpłynąć na wzrost zainteresowania inwestorów. Kolejną przyczyną jest stosunkowo wysoka cena zakupu opraw. Ceny opraw zbudowanych z diod LED są kilkukrotnie wyższe od cen opraw z tzw. konwencjonalnymi źródłami światła, jakimi są lampy wyładowcze wysokoprężne. Gruntownej analizie poddawana jest ich energooszczędność w odniesieniu do konwencjonalnych opraw drogowych. Stąd inwestorzy, którzy albo od ręki decydują się na zakup tego oświetlenia bez przeprowadzania gruntownych analiz techniczno-ekonomicznych, albo wstrzymują się z zakupem próbując ocenić celowość realizacji inwestycji w oparciu o doświadczenia innych inwestorów. Istniejące w kraju już obecnie instalacje oświetleniowe to w zasadzie instalacje testowe. Ze względu na swój charakter te instalacje mają ilościowo ograniczoną liczbę opraw. Instalacje te monitorowane są przez służby zajmujące się eksploatacją oświetlenia miejskiego, które mogą potwierdzić ich walory w rzeczywistych warunkach poligonowych. Monitorowanie stanu oświetlenia jak i właściwości konstrukcyjnych opraw dają możliwość miarodajnej oceny przydatności oświetlenia tak dla inwestorów jak i dla producenta sprzętu oświetleniowego. Takie rozwiązania testowych instalacji oświetlenia ulicznego opartego o źródła światła LED funkcjonują obecnie w różnych miastach. Należy nadmienić, że coraz więcej dużych miast w świecie przystępuje do modernizacji oświetlenia ulicznego opartego o LED. Spektakularnym przykładem jest tu Los Angeles w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej, gdzie podjęto się wymiany w ciągu 5 lat 140 000 opraw (cała sieć

oświetleniowa to 209 000 opraw oświetleniowych). Przewidywane oszczędności na energii elektrycznej kształtują się na poziomie 55 %.

Należy stwierdzić, że oświetlenie wykorzystujące technologię LED jest w stanie realizować założone funkcje oświetleniowe pod warunkiem zachowania dokładności i staranności montażu opraw zgodnie z obliczeniami projektowymi. Nie powinno dokonywać się bezpośredniej wymiany opraw diodowych w miejsce opraw z konwencjonalnymi źródłami światła bez przeprowadzenia dokładnych obliczeń i symulacji. Niestaranne wykonanie obliczeń i brak dokładności w montażu może przyczynić się do niezrealizowania założonych funkcji oświetleniowych. Wyniki pomiarów pokazują, że w okresie miesięcy zimowych (przy coraz niższych temperaturach zewnętrznych otoczenia) następuje lekki, kilkuprocentowy, wzrost poziomu oświetlenia wraz z niższymi temperaturami otoczenia w kolejnych miesiącach, natomiast w miesiącach wiosenno-letnich (przy wzroście zewnętrznych temperatur otoczenia) podobnej wielkości lekki spadek poziomów oświetlenia. Potwierdzać to może cechę charakterystyczną dla diod LED dotyczącą zależności wartości strumienia świetlnego diody od temperatury otoczenia. Wraz ze wzrostem temperatury na obudowie diody (na złączu p-n) maleje wielkość emitowanego strumienia świetlnego. Typową zależnością jest spadek strumienia świetlnego o około 7 % przy wzroście temperatury (od katalogowej) na złączu diody o około 30°C. A więc w oświetleniu drogowym spotykamy się z nowym doświadczeniem niewielkich zmian poziomów oświetlenia zależnych od temperatury zewnętrznej otoczenia. Przy powszechnie eksploatowanych oprawach z wyładowczymi lampami wysokoprężnymi takie zjawisko nie występuje - zmiany temperatury otoczenia nie mają wpływu na wartość emitowanego strumienia świetlnego przez źródło światła.

Spróbujmy prześledzić sytuację polegającą na wymianie dotychczasowego oświetlenia na oprawy wystarczająco oświetlające ulicę o stosunkowo niskich wymaganiach oświetleniowych (ulica o ruchu lokalnym). Dla oświetlenia tej ulicy z reguły wystarczają oprawy do lamp wysokoprężnych sodowych o mocy nominalnej 70 W. Odpowiadające im oprawy z diodami to konstrukcje o mocy znamionowej 48 W. Opłacalność zastosowania opraw opartych o diody LED zamiast opraw z lampami sodowymi oszacowano w Tabelicy 3. W analizie uwzględnione zostały dodatkowe efekty ekonomiczne związane z długą, 7-letnią gwarancją producenta dla opraw LED jak i koniecznością w tym czasie wymiany lamp sodowych (wymiana grupowa lamp w odstępach 4-letnich). Koszt obsługi konserwacyjnej opraw do lamp sodowych przyjęto 8 zł miesięcznie za jeden punkt świetlny od 4tego do 7go roku eksploatacji, dla pierwszych trzech lat gwarancji połowę tego kosztu. Połowę kosztu dla pierwszych trzech lat przyjęto, jako analogia do udzielanych 3letnich gwarancji dla opraw z lampami sodowymi – koszty konserwacji w czasie trwania gwarancji standardowo negocjonowane są na podobnych zasadach (połowa ceny podstawowej). Przedstawione oszacowanie opłacalności zastosowania opraw ze źródłami LED na obecnym etapie rozwoju technologii i dostępności opraw z diodami LED wskazują już na ich konkurencyjność w odniesieniu do konwencjonalnych lamp wysokoprężnych lamp sodowych. A jeszcze kilka lat temu można je było traktować, jako drogie niczym racjonalnym nieuzasadnione inwestycje.

## **Podsumowanie**

Jesteśmy świadomi nadchodzącej zmiany generacji źródeł światła w oświetleniu drogowym. Oprawy współpracujące z wysokoprężnymi lampami oświetleniowym, kreatywne podejście do projektowania takich urządzeń oświetleniowych. Prawdopodobnie w najbliższych latach tego rodzaju oprawy na stałe zagospodzą w dużych projektach jak i późniejszych dużych realizacjach oświetleniowych.

**VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012**

**Tablica 3.** Oszacowanie opłacalności zastosowania opraw opartych o LED zamiast LED opraw z lampami wysokoprężnymi sodowymi

<b>ZAŁOŻENIA:</b>		
Roczny czas świecenia [h]	4024	
Cena energii elektrycznej wg taryfy C12b*:		
taryfa dzienna WT [zł/kWh]	0,78	
taryfa nocna NT [zł/kWh]	0,41	
Średnia cena energii [zł/kWh] **	0,53	
<b>ROZWIĄZANIE ENERGOOSZCZĘDNE z LAMPAMI SODOWYMI:</b>		
Typ oprawy oświetleniowej	<b>ACRON 100S1-70</b>	
Producent oprawy	ELGO	
Znamionowa moc źródła światła	70 W	
Całkowity pobór mocy przez oprawę	82 W	
<b>ROZWIĄZANIE ENERGOOSZCZĘDNE z LED:</b>		
Typ oprawy oświetleniowej	<b>ADQUEN OU-048GR5-042CA-NUS-P00-061</b>	
Producent oprawy	ELGO	
Znamionowa moc źródła światła	48 W	
Całkowity pobór mocy przez oprawę	53 W	
<b>ROZWIĄZANIE ENERGOOSZCZĘDNE z LED:</b>		
Rozwiązanie standardowe [zł]	175,00	
Rozwiązanie z diodami LED [zł]	113,00	
<b>A</b>	<b>OSZCZĘDNOŚĆ ROCZNA NA ENERGII ELEKTRYCZNEJ opraw LED w porównaniu do lamp sodowych 70 [W]</b>	<b>62,00</b>
<b>B</b>	<b>ZAKUP OPRAWY STANDARDOWEJ 70 W (oprawa + źródło światła), cena netto</b>	<b>390,00</b>
<b>C</b>	<b>ZAKUP OPRAWY z diodami LED, cena netto</b>	<b>1 440,00</b>
<b>D</b>	<b>Różnica w nakładach pomiędzy oprawami sodowymi a LED [B - C]</b>	<b>- 1 060,00</b>
<b>E</b>	<b>Dodatkowy zakup 2 egz. lamp sodowych niezbędnych w czasie eksploatacji (wymiana grupowa)</b>	<b>55,00</b>
<b>F</b>	<b>Oszczędności na koszcie serwisowania opraw LED w czasie 7letniej gwarancji</b>	<b>588,00</b>
<b>G</b>	<b>Łączne dodatkowe nakłady zastosowania oprawy LED w czasie jej 7letniej gwarancji [C - (B + E + F)]</b>	<b>407,00</b>
<b>CZAS ZWROTU PONIESIONYCH NAKŁADÓW</b>		<b>6,5</b>
		[lata]
* - cena energii elektrycznej Koncernu Energetycznego „ENERGA” S.A., Oddział Płock		
** - cena średnia energii wyliczona z zależności $C_{sr} = (0,636 \cdot NT) + (0,364 \cdot WT)$		

**Literatura**

1. EN 62 031: 2008: „Moduły LED do ogólnych celów oświetleniowych Wymagania bezpieczeństwa”, CEN, Bruksela, 2008.
2. Jianzhong Jiao: “TM-21 seeks methods for lumen-maintenance prediction”, www. LEDsmagazine.com, February 2011.

3. Materiały konferencyjne z XIX Krajowej Konferencji Oświetleniowej „Technika Świetlna ‘2010”, Polski Komitet Oświetleniowy, Warszawa, 2010.
4. Materiały konferencyjne z V Konferencji Oświetlenie drogowe. Sposoby zarządzania systemami oświetlenia na terenie kraju, PTPiREE, Kazimierz Dolny, 2011.
5. Sławomir Zalewski: „Właściwości świetlne opraw drogowych”. Kwartalnik: Oświetlenie LED” nr1/2011, Warszawa, 2011.
6. Wojciech Żagan: „Rzetelnie i rozważnie o LED-ach – ocena obecnych i prognoza przyszłych aplikacji oświetleniowych diod elektroluminescencyjnych”, Przegląd Elektrotechniczny nr 1/2008, Warszawa, 2008.
7. Strony internetowe [www:cree.com](http://www.cree.com), [acriche.com](http://acriche.com), [nichia.com](http://nichia.com), [philips.com](http://philips.com), [ledsmagazine.com](http://ledsmagazine.com), [myleightingguide.com](http://myleightingguide.com); [ci.la.ca.us/bsl/](http://ci.la.ca.us/bsl/).
8. materiały firmowe ELGO Lighting Industries S.A. ;

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