

# Trudne pytanie o LED-y

Marek Ostrowski

**N**a współczesnym rynku oświetlenia nietrudno dostrzec rosnące zainteresowanie produktami, które zawierają diody LED. Za każdym razem, gdy mamy do czynienia z nową technologią, pojawia się mnóstwo pytań. W tym przypadku przede wszystkim o rzeczywiste parametry, oszczędności, zalety i wady produktów oświetlenia diodowego. Spróbujmy odpowiedzieć na kilka z tych pytań.

Diody LED (*Light Emitting Diode*) są półprzewodnikowymi źródłami światła wykorzystującymi zjawisko elektroluminescencji odkryte na początku XX w. W środku diody, w tzw. chipie, są wytwarzane cząsteczki światła. Technologię tę nazywamy światłem IV generacji. Jest to obecnie najszybciej rozwijająca się technologia świetlna na świecie. Skąd to wiemy? Z obliczeń efektywności źródeł światła mierzonej w  $\text{lm/W}$ , czyli na podstawie wskaźnika mówiącego, jaką ilość światła generuje dane źródło przy wykorzystaniu 1 W mocy.

## Efektywność

Jeszcze kilka lat temu wyzwaniem było przekroczenie bariery 20  $\text{lm/W}$ . Po raz pierwszy udało się to należącej do koncernu Philips firmie Lumileds, która jest obecnie jednym z liderów światowej produkcji półprzewodników wykorzystywanych do celów oświetleniowych. Błyskawiczny rozwój zarówno technologii tworzenia chipów do diod LED, jak i luminoforów zaowocował ogromnym wzrostem efektywności. W lutym tego roku amerykańska firma Cree wytworzyła w laboratorium diodę o białym świetle i efektywności 208  $\text{lm/W}$  przy temperaturze barwowej 4579 K. Aby to zobrazować, należy dodać, że dzięki tej technologii tradycyjną żarówkę o mocy 100 W wystarczyłoby zamienić na diodę o mocy 5 W. To już niewiele do tzw. granicy kwantowej, czyli maksymalnej możliwej sprawności równej około 290  $\text{lm/W}$ . Oczywiście, zanim udoskonalenie procesu produkcji pozwoli nam



korzystać z produktów codziennego użytku o takich parametrach, minie jeszcze kilka lat. Co więcej, musimy brać pod uwagę, że każda lampa traci moc na zasilaniu, a światło – na optyce, cechuje się też gorszymi warunkami termicznymi niż warunki laboratoryjne, co w efekcie obniża efektywność lampy o przynajmniej kilkanaście procent, jeśli porównać to z efektywnością samych diod. Obecnie na polskim rynku możemy kupić wiele lamp importowanych z Azji, których rzeczywista sprawność (w odróżnieniu od deklarowanej przez producenta!) nie przekracza 50  $\text{lm/W}$ , lub szukać wśród polskich producentów takich jak Svar, Luzon bądź Lediko, których lampy osiągają 80–90  $\text{lm/W}$ . W tabeli przedstawiono porównanie efektywności i żywotności diod LED w porównaniu do innych źródeł światła.

Parametry zależą oczywiście od producenta, ale zasadniczo możemy przyjąć powyższe. Takie przedstawienie jest jednak o tyle fałszywe, że nie uwzględnia kątów świecenia. Wszystkie wymienione źródła światła z wyjątkiem diod LED świecą brylowo, a więc dookoła siebie, podczas gdy diody – kierunkowo, z reguły pod ką-

tem 120°. To sprawia, że sprawność lamp z użyciem diod łatwo przekracza 90% w przeliczeniu  $\text{Cd}/1000 \text{ lm}$ , podczas gdy np. w świetłówkach, nawet przy użyciu odbłyśników, rzadko jest to więcej niż 70%. Tym samym, jeśli wymienimy lampy ze świetłówkami liniowymi na ledowe (np. lampa Smart firmy Luxon), otrzymamy ponad 50% oszczędności energii elektrycznej. Najlepiej sprawdzać to w programach do projektowania oświetlenia typu Dialux lub Relux, używając plików fotometrycznych dostępnych na stronach producentów.

Warto również zwrócić uwagę na wartości pozafinansowe, takie jak komfort fizjologiczny.

Diody LED mają kilka podstawowych zalet:

- nie emitują promieni ultrafioletowych, które są szkodliwe dla człowieka. Zawarty w diodach luminofor pochłania praktycznie całe promieniowanie UV;
- nie emitują ciepła. Każda lampa wydziela ciepło związane z przepływem prądu i podobnie jest z diodami LED, nie emitują one jednak podczerwieni, która nagrzewa i wysusza otocze-

- nie. Możemy to łatwo zaobserwować w muzeach i galeriach oświetlanych halogenami, gdzie często muszą być włączone specjalne nawilżacze powietrza;
- pracują w niskim napięciu, a więc w tzw. SELV (*Safety Extra Low Voltage*);
  - nie emitują światła w falach, a więc nie występuje tzw. efekt stroboskopowy charakterystyczny dla świetlówek. Wiele osób męczy się przy długiej pracy przy świetłówkach, cierpi na bóle głowy lub nawet migreny związane z tym, że świetlówka wysyła światło w falach o częstotliwości zbyt wysokiej, aby mogło ją zarejestrować ludzkie oko, nierzadko jednak nieprzyjemnej;
  - nie wymagają specjalnej utylizacji;
  - nie przepalają się. Diody LED nie gasną nagle, tak jak żarówki, a jedynie następuje powolna degradacja ich światłości. Zanim dioda zgaśnie całkowicie, minie kilkaset tysięcy godzin.

#### Instalacja i użytkowanie Zasilanie

Największym problemem, przed którym stają producenci oświetlenia diodowego, jest konieczność stosowania zasilacza. Wyjątek stanowią tutaj niektóre diody serii Arichre firmy Seoul Semiconductors zasilane bezpośrednio z gniazd 230 V AC, źródła te nie są jednak rozpowszechnione. Większość diod pracuje w napięciu około 3 V i prądzie zależnym od wielkości diody, od 10 mA do ponad 1 A. Zarówno zasilanie napięciowe, jak i prądowe można zatem stosować z odpowiednim zasilaczem. Oprawy mogą mieć zasilacz zintegrowany lub zewnętrzny. W pierwszym przypadku musimy liczyć się z większą wagą i rozmiarami oprawy, a także z możliwością utrudnionej wymiany zasilacza w razie awarii. W drugim zasilacz musi być umieszczony



gdzieś przy lub na suficie, co nie zawsze jest proste. Pewnym rozwiązaniem pozostaje stosowanie zbiorczych zasilaczy lub wręcz poprowadzenie osobnej, niskonapięciowej instalacji. W tym miejscu warto zwrócić uwagę, że zasilanie może okazać się najsłabszym elementem dobrze skonstruowanych lamp LED. Wiele zintegrowanych systemów zasilania w popularnych zamiennikach żarówek lub lampach typu spotlight czy downlight składa się z komponentów o bardzo niskiej jakości, upchniętych na niewielkiej przestrzeni. W konsekwencji, nawet jeżeli dioda jest przygotowana do przeżycia kilkudziesięciu tysięcy godzin, zasilanie pada już po kilku, a jest niewymienne. Co więcej, w przypadku napięciowego zasilania niewielkie nawet zmiany napięcia wyjściowego powodują ogromne zmiany prądu płynącego przez diodę. Załóżmy, że kupujemy taśmę LED na 24 V, która ma siedem diod w szeregu po 3,2 V, a użyty rezystor ma wartość 80 Ohm.

$$[(3,2 \times 7) - 24] / 80 = 0,02, \text{ czyli } 20 \text{ mA}$$

Jeżeli użyjemy zasilacza kiepskiej jakości i napięcie wyjściowe obniży się tylko o 400 mV, to dioda będzie świecić dwa razy słabiej. Dlatego warto zainwestować w zasilacze sprawdzonych marek, nawet jeśli są odrobinę droższe.

Podłączenie zasilania awaryjnego w przypadku diod LED jest z reguły takie jak przy innych lampach. Co prawda, przy odpowiedniej konstrukcji można zbudować lampę, która w przypadku awarii osiąga np. 20% nominalnej jasności, z reguły jednak prościej i taniej jest podłączyć część lamp do instalacji awaryjnej i np. UPS.

#### Warunki pracy

Dobre diody są precyzyjnie kapsułowane i zabezpieczone silikonem, co sprawia, że są bardzo odporne na wilgoć. Mogą również pracować w niskim temperaturach i nie pękają tak jak np. świetlówki. W przypadku diod problemem jest, jak w przypadku wszystkich półprzewodników, wysoka temperatura. Po pierwsze, jest ona przyczyną radykalnego obniżenia żywotności źródła światła, po drugie – wywołuje spadek efektywności. Jest to duży problem w miejscach, w których oświetlenie pracuje w temperaturach często przekraczających 50°C, np. w fabrykach. W wysokich magazynach, gdzie ciepłe powietrze ucieka pod sufit, warunki pracy diod LED również nie są najlepsze. Nawet idealnie stworzona oprawa z radiatorem, w której rezystancja termiczna pomiędzy wnętrzem diody i temperaturą otoczenia będzie wynosić kilka stopni, nie da gwarancji uzyskania odpowiednich parametrów. Pamiętajmy, że producent diod, podając ich żywotność, odnosi się do danych zebranych przy temperaturze około 20°C, co nie przekłada się na parametry lampy pracującej w kilkudziesięciu stopniach. Warto w tym miejscu zaznaczyć, że jak dotąd nie powstały żadne uniwersalne normy pomiaru żywotności lamp diodowych, a każdy producent ocenia to według własnego uznania.

**Efektywność i żywotność diod LED w porównaniu do innych źródeł światła**

|            | Efektywność (lm/W) | Żywotność (h) |
|------------|--------------------|---------------|
| LED        | 100                | 60 000        |
| Halogen    | 20                 | 5000          |
| Żarówka    | 10                 | 1000          |
| Świetlówka | 100                | 10 000        |
| HPS        | 100                | 10 000        |

### Elementy determinujące parametry lamp diodowych

Generalnie diody LED możemy, raczej subiektywnie niż technologicznie, podzielić na trzy rodzaje:

1. Diody THT, czyli przewlekane. Są najstarszym rodzajem diod i obecnie producenci zdecydowanie od nich odchodzą. Ich zaletą jest możliwość łatwego ogniskowania światła, czyli uzyskiwania wąskich kątów świecenia, można jednak śmiało powiedzieć, że 90% lamp, które na nich bazują, nadaje się do wyrzucenia.
2. Drugim rodzajem są diody SMD, w tym popularne w oświetleniu diody PLCC. Ich zaletami są: łatwość montażu, lepszy rozkład ciepła, wysoka wytrzymałość oraz szeroki kąt świecenia – 120°, co jest szczególnie ważne w przypadku aplikacji oświetlenia ogólnego.
3. Trzecim rodzajem są diody mocy, czyli Power LED. Charakteryzują się dużą mocą, co pozwala na zastosowanie ich do aplikacji, w których brakuje przestrzeni na inne rozwiązania. Tego rodzaju diody mają moc od 0,5 W do nawet 50 W. Ich wadami są przede wszystkim bardzo skomplikowany proces odprowadzania ciepła oraz wysoka cena. Takie rozwiązania są jednak obecnie najpopularniejsze w dużych koncernach, np. Philips lub Osram, które tworzą nowe lampy oświetlenia ogólnego z pojedynczych diod o mocy nawet 7W [1]!

Co obecnie znajdujemy w sklepach? Kiedy zrobimy krótki przegląd produktów LED sprzedawanych w supermarketach lub nawet specjalistycznych sklepach oświetleniowych, okaże się, że w 90% produktów znajdują się bardzo stare diody przewlekane, którym nie stwarza się odpowiednich warunków funkcjonowania. W konsekwencji większość z tych produktów nie spełnia nawet 20% ze swoich deklarowanych

(głównie przez chińskich producentów!) właściwości. Przyjrzyjmy się popularnym lampkom zastępującym halogeny o trzonkach GU10 oraz GU 5.3. W większości są to gęsto upchane diody przewlekane o zintegrowanym zasilaniu, który zamienia wejściowe AC 230 na wyjściowe DC SELV [2]. Nie dość, że takim diodom jest za gorąco, to jeszcze nie ma szans, aby elektronika niezbędna do wytworzenia odpowiedniego prądu miała odpowiednią jakość na tak niewielkiej przestrzeni. Zatem, co z tego, że dioda sama w sobie ma deklarowaną żywotność na poziomie 100 000 h, jeżeli lampa jako całość żyje 1000 h. Lepszym rozwiązaniem są nieco droższe lampy z diodami mocy, ale w ich przypadku również powinniśmy być ostrożni w szafowaniu żywotnością na poziomie kilkudziesięciu tysięcy godzin.

### Czynniki odróżniające dobrą lampę diodową od kiepskiej

Aby odróżnić dobrą lampę diodową od kiepskiej, a tym samym móc obiektywnie ocenić jej parametry i przydatność w danych zastosowaniach, musimy brać pod uwagę kilka czynników.

Przede wszystkim prąd. Diody LED pracują na stałym napięciu, które dla diod białych wynosi przeciętnie 3–3,5 V. Jeżeli chodzi o prąd, to, jak już było wspomniane, znajdujemy diody od 10 mA do nawet kilku amperów. Zachowanie odpowiednich parametrów prądu jest niezwykle ważne z punktu widzenia wartości świetlnych i żywotności diody. Jak wiemy, relacja napięcia do natężenia w diodzie jest logarytmiczna i nawet niewielki wzrost napięcia powoduje znaczny wzrost natężenia i tym samym przestawanie lub przepalenie diody. Wielu producentów oszczędza na jakości i zwiększa prąd, dzięki czemu uzyskuje więcej światła za tę samą cenę, traci jednak jakość. Dlatego jeśli chcemy kupić lampy ledowe, powinniśmy mieć dostęp do specyfikacji samych diod. Wówczas możemy porównać parametry podane przez producenta źródła światła z tymi podanymi przez wytwórcę lampy. Zbyt duży prąd puszczony przez diodę spowoduje wzrost jej temperatury, spadek żywotności i zmniejszenie strumienia świetlnego. Co więcej, sterowniki prądowe zamontowane w oprawach lub zewnętrzne zasilacze powinny być zawsze najwyższej jakości. Daje to możliwość ochrony diody przed przepięciami, które mogą je momentalnie przepalić. Jest to szczególnie ważne

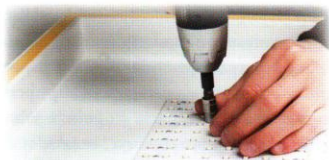
w warunkach przemysłowych oraz w miejscach, w których instalacje elektryczne są stare i zużyte. Dlatego zawsze lepszym pomysłem są zasilacze zewnętrzne renomowanych firm niż systemy zintegrowane wewnątrz niewielkich opraw.

Diody LED mogą mieć różne wskaźniki oddawania barw: od bardzo niskiego, po sięgający nawet 99%. Większość renomowanych firm oferuje lampy z CRI powyżej 80 i jest to wartość wystarczająca do oświetlenia obiektów niewymagających specjalistycznego światła. W specyfikacji każdego źródła światła powinny być umieszczone dane dotyczące wskaźnika oddawania barw. Ponieważ diody o niskim CRI są tańsze niż te o wysokim, warto sprawdzać importerów i producentów również pod tym kątem.

Diody LED mogą emitować światło dowolnego koloru. Co więcej, światło to jest monochromatyczne, co oznacza, że dioda świeci tylko taką długością fali, jakiej oczekujemy.

Jeżeli zaś chodzi o temperaturę światła białego, to możliwe jest wytwarzanie światła od bardzo ciepłego – 2500 K, poprzez dzienne – 4500 K, aż do bardzo zimnego – 6500 K. Niestety, podobnie jak w przypadku wskaźnika CRI, wytwarzanie diod o precyzyjnej – zwłaszcza ciepłej – temperaturze bieli jest bardzo drogie. Z tego powodu łatwo trafić na lampy ciepłe, których zakres temperaturowy podany w specyfikacji wynosi np. 3000–5000 K! Możemy zatem kupić dwie lampy z teoretycznie identycznej serii, które będą świecić bardzo różnie. Co więcej, źle dobrane luminofory lub materiały do kapsulowania diod sprawiają, że z upływem czasu dioda straci swoje właściwości i po kilku tysiącach godzin świeci na niebiesko lub różowo.

Jednym z najważniejszych parametrów diod jest ich żywotność, którą oblicza się, jak już wspominałem, przy pomocy pomiaru temperatury złącza w diodzie i poprzez zastosowanie algorytmów degradacji półprzewodników (bardzo podobnych przy produktach wszystkich producentów). Innymi słowy, producent mierzy bardzo dokładnie strumień świetlny diody przez dany okres czasu – z reguły dwa, trzy tysiące godzin – w precyzyjnie dobranych warunkach termicznych, a następnie ekstrapoluje wyniki i tym samym uzyskuje przewidywalną żywotność, którą podaje się z założeniem degradacji na poziomie 30%, czyli do tzw. wskaźnika L70. Producent opraw



otrzymuje takie pomiary i na ich podstawie powinien oszacować żywotność lampy, a więc zmierzyć rezystancję termiczną pomiędzy otoczeniem, oprawą, punktem lutowniczym i środkiem diody, czyli chipem. Dopiero uzyskane dane należy porównać z szacunkami, różnymi w różnej temperaturze pracy, podanymi przez producenta. Stąd konieczność projektowania opraw w taki sposób, aby stwarzały diodom możliwe najlepsze warunki pracy. Zwróćmy uwagę, że w żadnej innej technologii rodzaj oprawy nie ma wpływu na parametry źródła światła.

### Jaką oszczędność rzeczywiście dają diody?

Aby odpowiedzieć na to pytanie, musimy być przede wszystkim pewni, że porównujemy dwie lampy o tym samym (przynajmniej mniej więcej) strumieniu świetlnym. Jak już pisałem, najlepiej zrobić to w programach do projektowania oświetlenia. Co nam bowiem przyjdzie z tego, że wymienimy żarówkę o mocy 100 W na diodę o mocy 10 W, jeśli zamiast 200 lx w pomieszczeniu uzyskamy 50 lx. Oczywiście dla każdej lampy i instalacji powinno się wykonywać osobną kalkulację, przyjrzymy się jednak przykładowym obliczeniom dotyczącym świetlówek T8 w średniej klasy oprawie rastrowej oraz lampy Smart firmy Luxon.

#### Oprawa rastrowa:

4 x 18 W plus balast to około 86 W

Smart: 32 W

Cena lampy LED: około 600 zł

Liczba godzin użytkowania w tygodniu: 72

Cena prądu: 0,45 zł/kWh

Oszczędność w W/h:  $86 - 32 = 54$  W

Oszczędność w roku:

$72 \text{ h} \times 52 \text{ tyg.} \times 54 \text{ W} = 202\,176 \text{ W} = 202,2 \text{ kW}$

Oszczędność w roku w zł:

$202,2 \text{ kW} \times 0,45 \text{ zł} = 100 \text{ zł}$

Widzimy zatem, że okres spłaty lampy LED wynosi około 6 lat. Trzeba jednak zaznaczyć, że jest to okres około 22 tysięcy godzin, a więc nieco mniej niż połowa żywotności lampy. Zatem w ciągu całej swojej żywotności lampa Smart zaoszczędziłaby około 1300 zł i to przy założeniu, że ceny prądu pozostają niezmiennie, co, jak wiemy, jest niemożliwe. Inaczej również przedstawiałaby się sytuacja, gdyby światło było używane 24h na dobę – w takiej sytuacji okres spłaty z oszczędności na energii elektrycznej wynosiłby niecałe 3 lata.

Przy bardzo precyzyjnych kalkulacjach powinniśmy doliczyć jeszcze obniżenie kosztów związanych z eksploatacją, są one jednak bardzo zróżnicowane. Czynnikiem ten ma największe znaczenie w czystych pomieszczeniach lub miejscach, w których wymiana źródła światła wiąże się z pracą dźwigu lub zatrzymaniem produkcji. W takich przypadkach hermetyczne lampy LED niewymagające wymiany przez 10 lat stanowią idealne rozwiązanie.

### Przegląd produktów dostępnych na rynku

Rynek oświetlenia diodowego obfituje przede wszystkim w rozwiązania dekoracyjne. Królują tutaj produkty chińskie, zwłaszcza różnego rodzaju kolorowe taśmy lub węże. Większość z tych rozwiązań nie jest najwyższej jakości, ale spokojnie nadaje się do domowego użytku. Po drugiej stronie cenowej skali są włoskie i francuskie lampy z diodami LED, które kosztują po kilkaset euro, ale z reguły doskonale wpisują się w nowoczesną architekturę. W tym miejscu warto wspomnieć o serii Ledino firmy Philips, w której część produktów stanowi kwintesencję ledowego designu.

Jeśli chodzi o oświetlenie biurowe, to również najczęściej trafiamy na produkty importowane, niestety o bardzo niskiej jakości. Zamienniki świetlówek, zwłaszcza w wydaniu świetlówek ledowych, przypominają próbę jedzenia zupy widelcem. Takie mieszanie technologii rzadko kończy się sukcesem, a w tym przypadku jest zupełną porażką. Diody upchane na niewielkiej powierzchni grzeją się, a zasilacze schowane w końcówkach rur żyją czasem kilka tygodni. Godne zaufania są natomiast produkty europejskie lub amerykańskie. Zarówno potentaci rynku, np. Cree lub należący do Everlighta Zenaro Lighting, jak i mniejsze firmy, takie jak brytyjski Dialight, holenderski LedNed lub polski Luxon, oferują sprawdzone produkty o oprawach dostosowanych odpowiednio do diod LED. Podobnie wygląda rynek oświetlenia przemysłowego.

Oświetlenie uliczne i zewnętrzne stanowi całkowicie osobny temat, gdyż na rynku jest już ogromna konkurencja, a dobre rozwiązania technologiczne są dostępne dużo szerszej grupie odbiorców. Co więcej, średnia temperatur w Polsce w nocy wynosi 5°C, a zatem utrzymanie odpowiednich parametrów termicznych lampy jest o wiele prostsze.

Podsumowując, oświetlenie diodowe jest jednym z najszybciej rozwijających się technologii we współczesnej gospodarce i wydaje się to uzasadnione. Na obecnym etapie o zakupie produktów typu LED decydują przede wszystkim ich nowoczesność i wzornictwo, ale z dnia na dzień coraz istotniejsze staną się czynniki ekonomiczny i oszczędność diod. W ciągu najbliższych 2–3 lat będziemy mieć niewątpliwie do czynienia z wysypem produktów oświetleniowych zawierających diody LED, które prędzej czy później zdominują rynek.

[1] Warto przejrzeć serię Philips Ledino na [www.ledino.philips.com](http://www.ledino.philips.com)

[2] Safety Extra Low Voltage – napięcie o wartości do 120 V prądu stałego lub 50 V prądu zmiennego

**OPRAWY  
OŚWIECENIOWE**

PRZEMYSŁOWE IP 66 / 67  
PRZECIWWYBUCHOWE  
PRZESZKODOWE  
AWARYJNE

CE

Ex

**elektrometal**

serwis  
produkcja  
dystrybucja  
projektowanie  
doradztwo techniczne

**ELEKTROMETAL Spółka Akcyjna**  
ul. Stawowa 71, 43-400 Cieszyń, RP  
tel.: +48 33 8575 326  
fax: +48 33 8575 205  
[www.elektrometal.eu](http://www.elektrometal.eu)  
e-mail: [tgladysz@elektrometal.com.pl](mailto:tgladysz@elektrometal.com.pl)