



*Federation of National Manufacturers Association for
Luminaires and Electrotechnical Components for
Luminaires in the European Union*

**Przewodnik CELMA dla firm OEM oraz producentów opraw
oświetleniowych opartych o technologię LED**

Wersja 1, wrzesień 2009
Dokument: CELMA/LED/AH/002C

www.celma.org

Członek CELMA w Polsce
www.pollighting.org; e-mail: biuro@pollighting.pl



SPIS TREŚCI

WPROWADZENIE	3
1. Pierwsza fundamentalna decyzja.....	3
2. Druga fundamentalna decyzja	3
3. Efekt oświetleniowy	3
4. Temperatura barwowa (CCT)	4
5. Wskaźnik oddawania barw (CRI)	5
6. Otoczenie i temperatura	6
7. Normy	7
8. Skuteczność świetlna	7
9. Projekt oprawy	7
10. Wymogi dotyczące niezawodności oraz żywotności lampy lub oprawy	8
11. Zarządzanie ciepłem	9
12. Sterowanie diodą LED.....	9
13. Optyka wtórna	10

WPROWADZENIE

Projektowanie i produkcja opraw opartych o technologię LED wymaga określonej wiedzy i kwalifikacji. Niniejszy dokument porusza niektóre ważne zagadnienia, które powinny być uwzględniane przez producentów OEM oraz wytwórców opraw LED.

Wybór odpowiedniego partnera do współpracy pomoże odpowiedzieć na poniższe istotne pytania i odpowiednio dobrać firmę, rynek, zastosowanie, lampę oraz oprawę.

1. Pierwsza fundamentalna decyzja

W celu zaprojektowania oprawy oświetleniowej LED należy określić, czy:

- ❖ Zakład posiada wystarczające doświadczenie i zasoby
- ❖ Zakład zamierza współpracować z firmą z doświadczeniem w branży diod LED, ich komponentów i wyposażenia elektronicznego

2. Druga fundamentalna decyzja

Czy zakład zamierza

- ❖ Zakupić „silniki świetlne” LED i wbudować je w istniejące lub nowe lampy bądź oprawy?
- ❖ Stworzyć oprawę złożoną z modułów LED z pomocą czy bez pomocy stron trzecich?

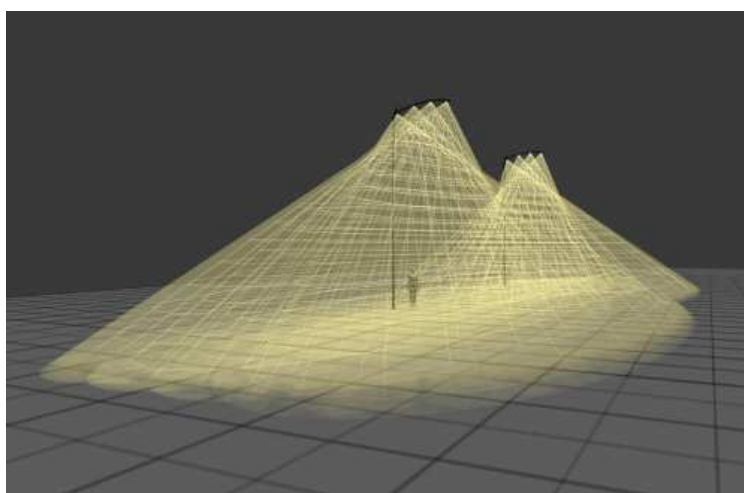
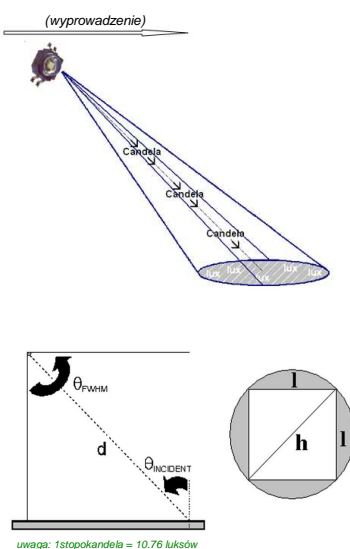
Decyzja powinna być podjęta w oparciu o:

- ❖ Główną specjalność zakładu; czy jest to projektowanie elektroniczne, czy wytwarzanie elementów metalowych?
- ❖ Czas potrzebny do wprowadzenia na rynek
- ❖ Posiadane zasoby

3. Efekt oświetleniowy

Cel:

Znając docelowy poziom oświetlenia można określić wymaganą do jego uzyskania liczbę diod LED oraz kombinację wielkości strumieni świetlnych.



Należy uwzględnić:

- ❖ Strumień świetlny diody LED, zwykle podawany w lumenach (lm)
- ❖ Efekty optyczne
 - ❖ Dioda LED 90 lm bez optyki wtórnej daje efekt oświetleniowy zupełnie inny niż taka sama LED z 15° optyką wtórną
- ❖ Straty
 - ❖ Niektórzy producenci LED podają wartości strumienia świetlnego w oparciu o test „błysku”, wykonywany w końcowych etapach produkcji. Test błysku przeprowadzany jest w ciągu ułamka sekundy, przy temperaturze (często określanej jako temperatura złącza, T_j) 25°C. W celu obliczenia wartości strumienia świetlnego oprawy, należy posłużyć się wartością strumienia świetlnego dla spodziewanej T_j (podanej w materiałach producenta).
 - ❖ Straty cieplne: Kiedy dioda LED osiąga temperaturę roboczą, o stratach cieplnych decyduje odpowiednie zarządzanie ciepłem (*thermal management*) (tj. ograniczenie oporu cieplnego, rozpraszanie ciepła itd.).
 - ❖ Straty sterownika: Odpowiednio skonstruowany i zoptymalizowany sterownik oraz źródło zasilania podniosą sprawność systemu.
 - ❖ Straty optyczne: Wtórne elementy optyczne, czy są to soczewki, odbłyśniki czy rozpraszacze, mają wpływ na wydajność. Odpowiednio skonstruowane i wdrożone elementy optyczne minimalizują te straty i zwiększają sprawność lampy lub oprawy w obrębie danego zastosowania.

Znaczenie ma także prąd zasilający, ponieważ zwiększa on temperaturę diody LED, co powoduje dalsze zmniejszenie skuteczności świetlnej (lm/W).

Należy uwzględnić:

- ❖ Czy skuteczność świetlna (lm/W) jest priorytetem? Zastosowanie większej liczby diod LED pracujących przy zoptymalizowanym prądzie zasilającym (~350mA), w celu maksymalizacji sprawności lampy lub oprawy, może mieć wpływ na zestawienie materiałowe (BoM)
- ❖ Zastosowanie mniejszej liczby diod LED, pracujących przy wyższych prądach zasilających (~700mA), może w rzeczywistości zmniejszyć koszt BoM, ale także okazać się mniej wydajne (lm/W)
- ❖ O wyborze sposobu postępowania powinno zdecydować zastosowanie produktu

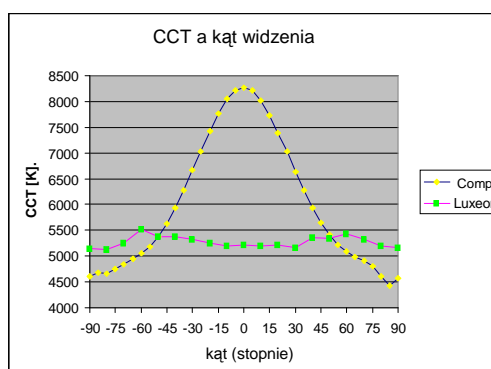
4. Temperatura barwowa (CCT)

Cel:

Wybór temperatury barwowej odpowiedniej dla danego zastosowania, która jest jednocześnie gwarantowana i dostępna w całym łańcuchu dostaw, oraz przez cały czas działania produktu.

Należy uwzględnić:

- ❖ Jaki jest wymagany strumień świetlny. Może to mieć wpływ na wybór zakresu CCT, np. niektóre białe diody LED o bardzo ciepłej barwie (~2700 K) osiągają pożądaną wartość CCT kosztem strumienia świetlnego.
- ❖ Czy dostawca diod LED może zapewnić gwarancję dla wybranego zakresu CCT bądź binu diody?
- ❖ Czy wartości te są zapewnione przez cały czas działania lampy bądź oprawy?
- ❖ Wymagania w zakresie wskaźnika oddawania barw (CRI), które również mogą mieć wpływ na wybór CCT. W przypadku niektórych producentów LED, im cieplejsza biel światła, tym większa wartość CRI. Należy jednak zweryfikować to w oparciu o dane producenta dla określonego produktu.
- ❖ Jednolitość barwy w obrębie kąta widzenia.
- ❖ Należy wiedzieć, jaka jest wartość CCT zależnie od kąta widzenia oraz jak wpłynie to na dane zastosowanie produktu. Należy także uwzględnić fakt, że dodanie optyki wtórnej może również nadmiernie zwiększyć różnicę w CCT. Trzeba wziąć



- ❖ pod uwagę wrażliwość ludzkiego oka, która jest różna dla różnych wartości CCT.
- ❖ Znajomość procesu produkcyjnego białych diod LED umożliwi odpowiednią optymalizację systemu.

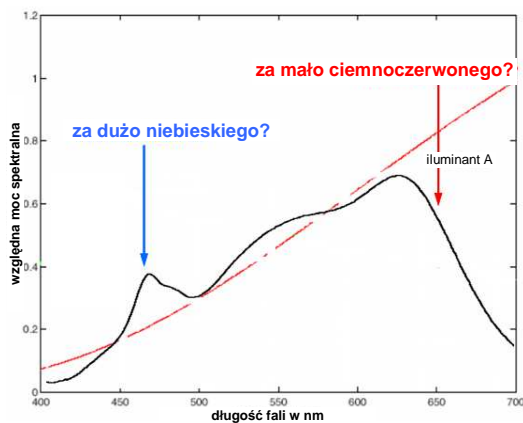
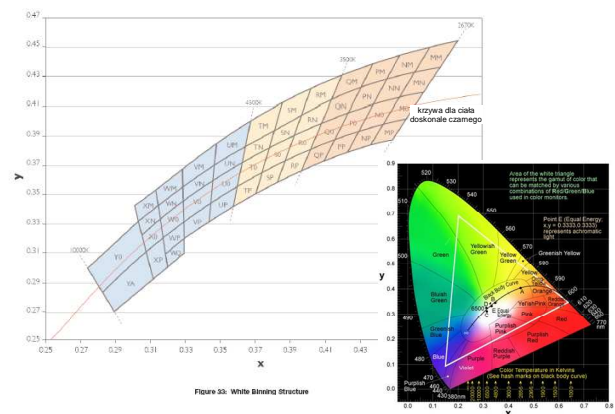
Istnieją dwa sposoby wytworzenia światła białego wysokiej intensywności za pomocą diod LED. Pierwszy polega na wykorzystaniu pojedynczych diod LED, które emitują barwy podstawowe, np. czerwoną, zieloną i niebieską, a następnie połączeniu tych barw w proporcjach dających światło białe. Drugi sposób obejmuje wykorzystanie luminoforu, zamieniającego światło monochromatyczne diody LED niebieskiej lub UV na szerokopasmowe światło białe. Dodatkowe efekty można uzyskać poprzez połączenie diod LED wytwarzających światło białe (przetworzone przez luminofor) z diodami LED wykorzystującymi barwy podstawowe.

Niestabilność produkcji nadal jednak powoduje, że uzyskanie określonych wartości CCT na rozkładzie promieniowania ciała doskonale czarnego ma ograniczoną precyzję. Producenci LED wytwarzają diody, których światło przypada na biny powyżej i poniżej krzywej promieniowania ciała doskonale czarnego.

Większość prac rozwojowych prowadzonych przez różnych producentów LED skupia się na poprawie precyzji uzyskiwania określonej wartości CCT. Na tym ważnym polu należy się spodziewać ciągłych postępów.

- ❖ Czy dane zastosowanie wymaga światła białego o stabilnej temperaturze barwowej
- ❖ Czy może wymagana jest regulowana temperatura barwowa, umożliwiającą osiągnięcie różnych efektów

charakterystyka binów dla diody białej



5. Wskaźnik oddawania barw (CRI)

Cel:
Spełnienie wymogów CRI konstrukcji lampy lub oprawy, poprzez wybór odpowiedniej diody LED bądź kombinacji diod LED.

Należy uwzględnić:

- ❖ Fakt, że białe diody LED mają ustaloną wartość CRI.

wskaźnik oddawania barw CRI

R1		jasnoszarawo-czerwony
R2		ciemnoszarawo-żółty
R3		mocny żółto-zielony
R4		umiarkowany żółtawo-zielony
R5		jasnoniebieskawo-zielony
R6		jasnoniebieski
R7		jasnofioletowy
R8		jasnoczerwonawo-różowy
R9		mocny czerwony
R10		mocny żółty
R11		mocny zielony
R12		mocny niebieski
R13		jasnożółtawo-różowy (kolor cery)
R14		umiarkowany oliwkowozielony (zielen liści)
R15		„japońska cera”

- ❖ Łączenie diod LED (białych i kolorowych) może oddziaływać na wartość CRI, jak również całkowity strumień świetlny oraz skuteczność świetlną (lm/W).
- ❖ Czy proponowany projekt jest przeznaczony dla pojedynczych diod LED, czy też umożliwia łączenie diod LED różnego koloru (białych jak i kolorowych)?
- ❖ Należy uważnie przestudiować dokumentację producenta. Czy podana wartość CRI stanowi: średnią dla wszystkich wartości Ra, dla niektórych wartości Ra, czy też określoną wartość Ra. Jakich parametrów wymaga dane zastosowanie?

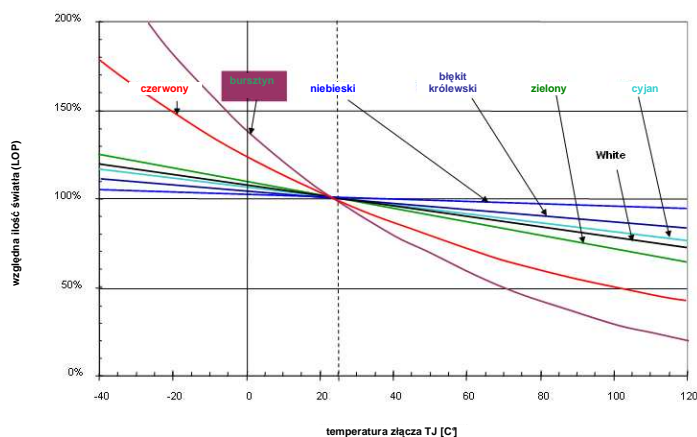
6. Otoczenie i temperatura

Cel:

Otoczenie, a w szczególności jego temperatura powinny być ważnymi czynnikami brany pod uwagę w odniesieniu do temperatury złącza (T_j) diody LED.

Należy uwzględnić, że:

- ❖ Ilość produkowanego przez diody LED światła spada w wyższych temperaturach. Technologia „AlInGaP” (światło czerwone, bursztynowe) powoduje większe straty światła w wyższych temperaturach roboczych niż technologia „GaN” (światło niebieskie, zielone i białe).
- ❖ Punkt barwy (światła kolorowego lub białego) może zmieniać się wraz ze wzrostem temperatury. Technologia AlInGaP, a w szczególności diody LED bursztynowe wiążą się z istotnym przesunięciem barwowym
- ❖ Producenci LED podają w swojej dokumentacji wartości odnoszące się do maksymalnych temperatur złącza (T_j), zwykle w odniesieniu do niezawodności i zachowania strumienia świetlnego.
- ❖ Część producentów LED w swojej dokumentacji określa niektóre cechy diod LED dla temperatury otoczenia. Wartości temperatury otoczenia są często skorelowane z temperaturą złącza diody LED. Ta temperatura otoczenia nie określa temperatury otoczenia oprawy. Jest to zazwyczaj temperatura powietrza otaczającego moduł. Dla łatwego pomiaru tej temperatury producent modułu LED definiuje punkt odniesienia t_c .
- ❖ Temperatura złącza, konstrukcja cieplna oraz rozpraszanie ciepła mogą oddziaływać na wygląd jak i koszt BoM lampy bądź oprawy.



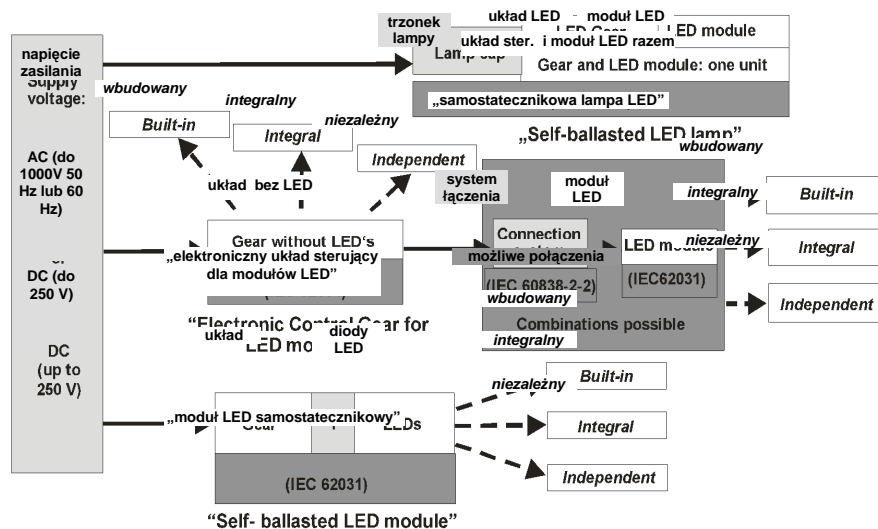
Określone zastosowanie i projekt mogą, lecz nie muszą wymagać szczególnej dbałości o czynniki temperaturowe. Na przykład oprawa zewnętrzna zainstalowana na Środkowym Wschodzie, gdzie temperatury otoczenia osiągają wysokie wartości, może być zaprojektowana w sposób bardzo odmienny od oprawy stosowanej w niższych temperaturach na północy Europy.

7. Normy

Cel:

CELMA wydała osobny przewodnik odnoszący się do właściwych norm dla projektowania i wytwarzania lamp i opraw LED.

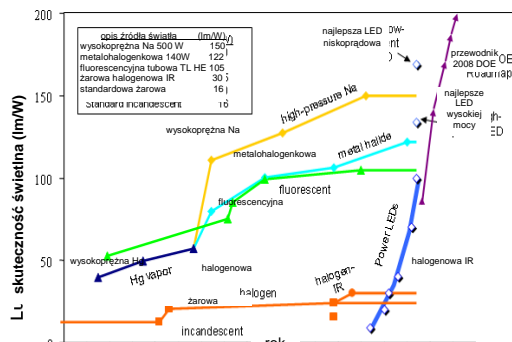
Schematycznie zostało to przedstawione na poniższym rysunku:



Należy odwołać się do pełnego przewodnika CELMA, pt. „Normy dotyczące LED” („LED related standards”).

8. Skuteczność świetlna

Cel:
 Technologia LED, a w szczególności diody LED produkujące światło białe, przetworzone przez luminofor, znacząco zwiększyła strumień świetlny i skuteczność świetlną (lm/W). Prace badawczo-rozwojowe koncentrują się właśnie na tym polu, a w szczególności na polepszeniu wydajności kwantowej QE (wewnętrznej i zewnętrznej). Niektórzy producenci LED pracują także m.in. nad: zmniejszeniem napięcia przewodzenia (Vf), które ma bezpośredni wpływ na zużycie energii, oraz zmniejszeniem efektu „opadania” (droop effect), związanego z wyższymi prądami zasilającymi. Dodatkowo obszary zainteresowania prac badawczo-rozwojowych obejmują technologię luminoforów.



- projektowane ~ 100 lm/W białe diody LED z luminoforem
- przewiduje się, że w ciągu 3-5 lat sprawność diod LED wyniesie ~150 lm/W diod
- Expect ~ 150 lm/W power LED performance within the next 3-5 years

Należy uwzględnić:

- ❖ Uwagi wymienione w rozdziale 3 niniejszego dokumentu
- ❖ Fakt, że konstrukcja oprawy, optyka wtórna (patrz rozdz. 14), sterownik oraz temperatura złącza mają istotny wpływ na skuteczność świetlną systemu oprawy.
- ❖ Mając na uwadze zastosowanie, jaka jest docelowa wartość minimalnej skuteczności świetlnej LED (lm/W)?
- ❖ Zapewnienie stałej gwarancji uzyskania określonego strumienia świetlnego.
- ❖ Fakt, że optymalizacja prądu zasilającego oraz liczby diod LED w lampie lub oprawie może mieć wpływ na całkowity koszt BoM (zestaw materiałów) dla danego zastosowania.

9. Projekt oprawy

Cel:
 Jako źródło światła diody LED dają projektantowi możliwość skonstruowania bardzo różnych opraw.

Należy uwzględnić:

Czy oprawa może być stosowana jako rozpraszacz ciepła?

- ❖ Jaki jest wymagany efekt oświetleniowy? (patrz też rozdz.3.)
- ❖ Czy wymagana jest specjalna obudowa chroniąca przed trudnymi warunkami zewnętrznymi (klasa IP)?
 - ❖ Diody LED wysokiej mocy zwykle występują w dwóch postaciach:
 - ❖ Źródło punktowe, zwykle 1mm²
 - ❖ matryce LED

Każda z nich ma własną charakterystykę optyczną, która może być uwzględniona w projekcie i (lub) optyce wtórnej.



Projektanci powinni także uwzględnić:

- ❖ Czas przeznaczony na działania promocyjne
- ❖ Ilość zasobów
- ❖ Główną specjalność zakładu
- ❖ Wykorzystanie gotowego „silnika świetlnego”
- ❖ Lub stworzenie własnego silnika świetlnego



Źródła światła LED naprawdę dają możliwość bycia innym!



10. Wymagania w zakresie niezawodności oraz żywotności lampy lub oprawy

Cel:

Producenci LED podają dane o niezawodności i czasie działania w odniesieniu do temperatury złącza (T_j) LED, temperatury t_c oraz prądu zasilającego.

Za powszechną definicję czasu działania diody LED przyjęto wskaźnik L70, czyli czas działania do momentu, gdy strumień świetlny spadnie do 70% strumienia wyjściowego.

Należy uwzględnić:

- ❖ Temperaturę otoczenia; ma ona wpływ na ogólną temperaturę lampy lub oprawy
- ❖ Opór cieplny konstrukcji; ma wpływ na zdolność lampy bądź oprawy do odprowadzania ciepła ze złącza LED
- ❖ Czy wybrany dostawca LED podaje dane dla całkowitego czasu działania w postaci B_x i dla zachowania strumienia świetlnego w postaci L_x ?
- ❖ Należy zweryfikować te dane; czy odnoszą się do testów teoretycznych, czy praktycznych?
- ❖ Czy do wyznaczenia danych dotyczących czasu działania producent LED zastosował odpowiedni model matematyczny?
- ❖ Dla jakiej temperatury złącza oraz prądu zasilającego wyprowadzono dane dotyczące niezawodności?
- ❖ Jaka jest seria próbna dla danych o niezawodności?
- ❖ Czy można zmienić konstrukcję rozpraszacza ciepła na rzecz optymalizacji kosztów BoM, w celu spełnienia wymogów czasu działania dla danego zastosowania?
- ❖ Jaki wpływ na firmę mają potencjalne awarie pracy lampy lub obudowy?
- ❖ Czy dostawca diod LED dysponuje danymi dotyczącymi występowania usterek w ppm lub FIT (uszkodzenia w czasie)? Czy jest to zgodne z wymaganym poziomem uszkodzeń samoistnych <10ppm?

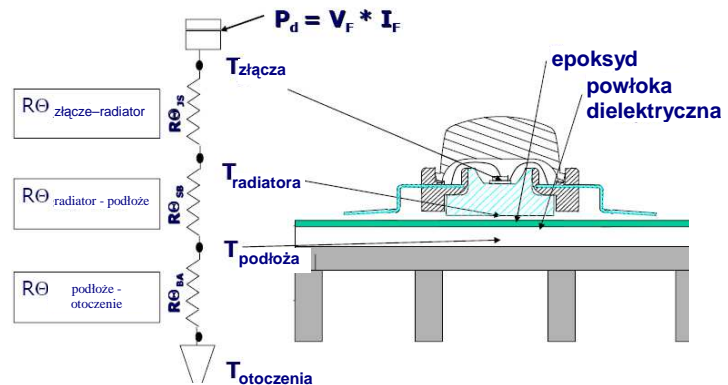
Odpowiednia firma współpracująca objaśni dane dotyczące niezawodności pracy. Niektóre firmy partnerskie mogą udostępnić modele ilustrujące: prąd zasilania, T_j oraz wykresy niezawodności, odpowiednie dla danego zestawu warunków.

11. Odprowadzanie ciepła (*thermal management*)

Cel:

Tempo konwersji elektronów na fotony w diodzie LED wyraża się wydajnością kwantową. Obecnie najlepsze diody LED osiągają wydajność kwantową 45%. Niezbędne jest zatem odprowadzenie nadwyżki energii w postaci ciepła ze złącza LED. Producenci LED skupiają swoje działania badawczo-rozwojowe na wewnętrznej wydajności kwantowej (IQE) oraz zewnętrznej wydajności kwantowej (EQE) diod LED, w celu poprawy skuteczności świetlnej LED (lm/W). Skuteczność najlepszych dostępnych obecnie diod LED zbliża się do 100 lm/W, jednak należy pamiętać, że istnieją inne powiązane straty, zilustrowane w rozdziale 3.

Ogólnym celem przy poprawnie zaprojektowanej lampie lub oprawie jest utrzymanie T_j na poziomie zdecydowanie niższym niż zalecany przez producenta, i odpowiednim dla danego zastosowania oraz oczekiwań dotyczących żywotności lampy bądź oprawy.



Należy uwzględnić:

- ❖ Jaka jest oczekiwana żywotność produktu?
- ❖ Czas działania diody LED zależy od temperatury złącza T_j . Maksymalna wartość tej temperatury ($T_j \max$) nie może być przekroczona, aby nie uszkodzić diody LED. Jako punkt odniesienia w module LED definiuje się punkt t_c .
- ❖ Jaka jest maksymalna wartość t_c podana przez producenta LED? (Istnieje rozróżnienie między wartością t_c związaną z określonym czasem działania a absolutną maksymalną wartością t_c , której przekroczenie powoduje uszkodzenie diody LED.)
- ❖ Jaki jest opór cieplny układu, od diody LED do rozpraszacza ciepła?
- ❖ Czy są dostępne zasoby niezbędne do przetestowania materiału rozpraszacza i różnych konstrukcji?
- ❖ Czy istnieje możliwość wykorzystania oprogramowania do modelowania parametrów rozpraszacza oraz warunków dla danego zastosowania?
- ❖ Czy jest dostępne odpowiednie wyposażenie do prześwietlenia złączy lutowanych i ścieżki cieplnej promieniowaniem rentgenowskim?
- ❖ Jakie materiały mogą lub mogłyby być użyte w projekcie PCB i rozpraszacza ciepła?
- ❖ Czy mogą zostać zoptymalizowane tak, by spełniały ograniczenia BoM?

Zagadnienie to jest uznawane za najistotniejszy aspekt projektowania lamp i opraw. Istnieją potencjalni partnerzy, dysponujący doświadczeniem i oprogramowaniem modelującym mogącym wspomóc ten etap projektowania i stworzyć rozwiązanie odpowiednie dla danego zastosowania.

12. Sterowanie LED

Cel:

Istnieją dwa podstawowe rozwiązania: wykorzystanie gotowych stateczników lub zaprojektowanie własnego sterowania.

Należy uwzględnić:

- ❖ Jaka jest topologia sterownika i czy jest ona właściwa dla danego zastosowania?
- ❖ Czy wymagana jest możliwość ściemniania diod LED?
- ❖ Czy sterowanie dotyczy diody jednego koloru, czy kombinacji kolorów?
- ❖ Jakie są wymogi sprawności dla danego rozwiązania?

- ❖ Czy istnieją jakiegokolwiek ograniczenia przestrzenne, które należy uwzględnić w projekcie?
- ❖ Jakie jest napięcie wejściowe?
- ❖ Ogólnie, wydajność podwójnych sterowników napięciowych o napięciu wejściowym np. 110/230v AC jest niższa niż wydajność dedykowanego pojedynczego sterownika napięciowego. Czy wymagany jest podwójny sterownik napięciowy?
- ❖ Ile diod LED będzie podlegało sterowaniu? Czy sterownik jest zoptymalizowany dla tej liczby diod LED
- ❖ Czy dany sterownik umożliwia ciepłe sprzężenie zwrotne, dzięki któremu zbyt wysoka temperatura zmniejsza prąd zasilający i ryzyko zniszczenia LED?
- ❖ Czy planowana jest integracja sterownika do oprawy, czy też niezbędny jest statecznik zewnętrzny (ze względu na konserwację bądź czynniki temperaturowe)?
- ❖ Sterownik ma istotny wpływ na czas działania oprawy. Dlatego należy dbać o właściwą kontrolę ciepła i dokładnie analizować dane dotyczące czasu działania podane przez dostawcę.

Istnieją potencjalne firmy partnerskie, które mogą dostarczyć sterowniki końcowe lub projekty sterowników referencyjnych.

Wybór odpowiedniego partnera ułatwi odpowiedź na powyższe pytania i pomoże określić odpowiedni projekt sterownika dla danej firmy, rynku, zastosowania, lampy oraz oprawy.

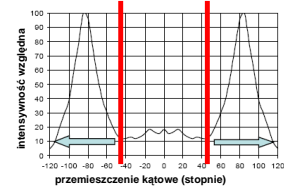
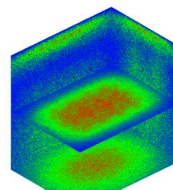
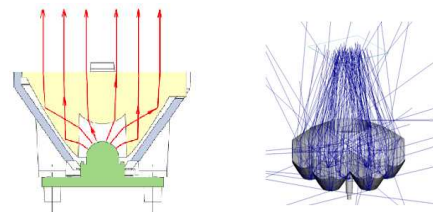
13. Optyka wtórna

Cel:

Diody LED wysokiej mocy zwykle występują w dwóch postaciach: źródło punktowe, zwykle 1mm², lub zestawy LED. Każda z nich ma swoją własną charakterystykę optyczną, która może być włączona do projektu i (lub) optyki wtórnej.

Istnieje szereg podstawowych kwestii, które należy rozstrzygnąć:

- ❖ Nie stosować żadnej optyki wtórnej
- ❖ Stosować gotowe soczewki wtórne
- ❖ Stosować gotowe odbłyśniki wtórne
- ❖ Stosować dyfuzor bądź włókno światłowodowe
- ❖ Zaprojektować własny, indywidualny układ optyczny



Należy uwzględnić:

- ❖ Jaki ma być pożądany efekt?
- ❖ Czy niezbędna jest optyka wtórna?
- ❖ Czy możliwe jest włączenie elementu optycznego do innej części projektu produktu?
- ❖ Jakie są straty optyczne związane z optyką wtórną?
- ❖ Czy optyka wtórna jest łatwa w produkcji i montażu?
- ❖ Czy budżet BoM (zestaw materiałów) pozwala na zastosowanie optyki wtórnej?
- ❖ Czy dostawca LED podaje niezbędne dane o zbiorze promieni (*ray-set data*), umożliwiające zaprojektowanie własnych systemów optycznych?

Istnieją potencjalne firmy partnerskie, które oferują optykę wtórną lub indywidualne rozwiązania projektowe.