

ROZKŁAD TEMPERATURY WIELOŹRÓDŁOWEJ OPRAWY OŚWIETLENIOWEJ W TECHNOLOGII LED

Streszczenie

W artykule przedstawiono możliwość wykorzystania metody elementów skończonych do analizy termicznej oprawy oświetleniowej ze źródłami LED. Dostępne oprogramowania symulacyjne bazujące na powyższej metodzie, umożliwiają wyznaczenie rozkładu temperatury oprawy oświetleniowej zawierającej w swojej strukturze wiele źródeł LED, które równocześnie stanowią źródła ciepła. Wyznaczona w ten sposób temperatura, która znacząco wpływa na podstawowe parametry świetlne, jest nieodzownym elementem prawidłowego projektowania drogi przepływu ciepła w oprawie, jak również podstawą do oceny poprawności pracy całego układu

WSTĘP

Półprzewodnikowe źródła światła, będące zamiennikami źródeł tradycyjnych, zyskują coraz większe znaczenie w technice oświetleniowej i według szacunków do 2025 r. źródła te staną się dominującą technologią [1]. Źródła LED posiadają liczne zalety dzięki czemu znalazły zastosowanie w wielu obszarach techniki świetlnej, zarówno w oświetleniu wewnętrznym, jak również w oświetleniu zewnętrznym. Do powyższych zalet zaliczyć można m.in.: wysoką skuteczność świetlną, długą żywotność, odporność na wstrząsy mechaniczne czy niewielkie wymiary [2].

Oprócz wymienionych zalet, źródła te posiadają również pewne ograniczenia, do których, w szczególności dla źródeł LED wysokiej mocy, zaliczyć można wysoką temperaturę złącza, która wpływa na podstawowe parametry, takie jak, strumień świetlny, temperatura barwowa czy żywotność źródła [3,4,5].

W celu zachowania stałości wyżej wymienionych parametrów świetlnych, czy uzyskania jak najdłuższej żywotności źródła, istotnym zagadnieniem jest optymalne zarządzanie ciepłem poprzez uwzględnienie oporów termicznych poszczególnych elementów i dobór odpowiedniego radiatora, który zapewni będzie skuteczny przepływ ciepła. Do przeprowadzenia analizy termicznej projektowanej oprawy oświetleniowej wykorzystane mogą być metody symulacyjne, które uwzględniają procesy przepływu ciepła zachodzące w półprzewodnikowych źródłach światła.

W źródłach LED największe znaczenie mają dwa główne rodzaje przepływu ciepła, a mianowicie przewodnictwo oraz konwekcja cieplna. Przewodnictwo cieplne występuje podczas przepływu ciepła ze źródła LED do radiatora, natomiast konwekcja w trakcie wymiany ciepła pomiędzy radiatorem a otoczeniem [5]. Przy projektowaniu systemów oświetleniowych zawierających wiele źródeł LED zainstalowanych na wspólnym radiatorze, uwzględnić należy również wzajemne sprzężenia termiczne występujące pomiędzy diodami.

W artykule przedstawiono analizę termiczną przykładowego panelu oświetleniowego ze źródłami LED. Powyższa analiza przeprowadzona została symulacyjnie z wykorzystaniem oprogramowania Ansys Workbench bazującego na metodzie elementów skończonych.

1. LED – ŹRÓDŁO CIEPŁA

W półprzewodnikowych źródłach światła tylko część mocy zamieniana jest bezpośrednio w strumień świetlny, natomiast pozostająca część mocy tracona jest w postaci ciepła, co przedstawia poniższy wzór [6]:

$$P_{thLED} = (1 - \eta) U_F * I_F \quad (1)$$

gdzie: P_{thLED} - moc wydzielona w postaci ciepła, η - sprawność diody, U_F, I_F - znamionowa wartość napięcia oraz prądu przewodzenia diody.

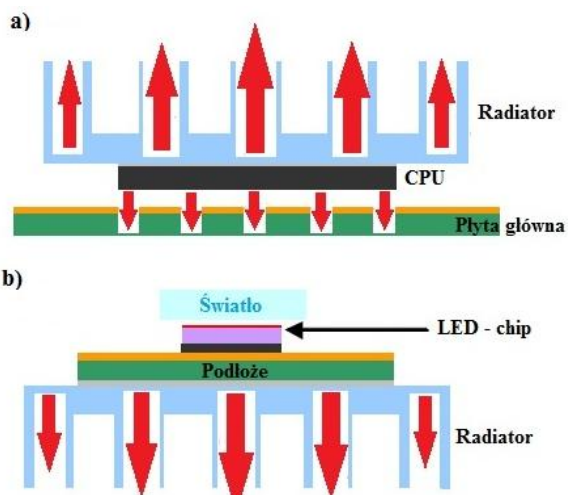
Obecnie sprawność źródeł LED szacuje się na poziomie 15÷30%, z czego wynika, że około 70÷85% mocy dostarczonej do źródła zamieniane jest na ciepło, które następnie odprowadzone jest do otoczenia. Źródła LED w porównaniu z tradycyjnymi źródłami światła nie zawierają w swoim widmie promieniowania podczerwonego oraz ultrafioletowego, całkowita moc tracona w źródle zamieniana jest na ciepło w postaci kondukcji oraz konwekcji co przedstawiono w tabeli 1 [7].

Tab. 1. Procentowy udział mocy w wybranych źródłach światła

	Źródła żarowe	Światłówki	Lampy metalohalogenkowe	LED
Promieniowania widzialne	8%	21%	27%	15 – 30%
Promieniowanie podczerwone	73%	37%	17%	0%
Promieniowanie ultrafioletowe	0%	0%	19%	0%
Ciepło (konwekcja + kondukcja)	19%	42%	37%	70 - 85%
Suma	100%	100%	100%	100%

Dla źródeł LED charakterystyczna jest również, w porównaniu z innymi elementami elektronicznymi wysokiej mocy, droga rozpraszania ciepła, jak przedstawiono na rysunku 1.

W przypadku innych urządzeń elektronicznych dużej mocy, takich jak np. CPU, odbiór ciepła przeważnie odbywa się dwoma drogami przepływu: pierwszą - poprzez płytę, na której jest zainstalowany, a drugą - poprzez radiator, który jest bezpośrednio zamocowany na chipie, tak jak pokazano na rys. 1. W tym przypadku, większość ciepła rozpraszana jest poprzez radiator ze względu na dużą wartość rezystancji termicznej na styku chipu i płyty.



Rys. 1. Droga przepływu ciepła: a) w typowym układzie elektronicznym wysokiej mocy, b) w źródle HP LED

W przypadku źródeł LED radiator nie może być umieszczony bezpośrednio na chipie ze względu na emisję świetlną w tym miejscu, w związku z tym, źródła LED posiadają tylko jedną główną drogę przepływu ciepła poprzez radiator, który mocowany jest z drugiej strony - do podłoża, na którym zainstalowany jest chip.

Ponadto, gdy typowa wartość strumienia ciepła dla CPU wynosi mniej jak 100 W/cm^2 , to dla źródeł LED może przyjmować wartość dochodzącą nawet do 500 W/cm^2 . W przypadku opraw oświetleniowych ze źródłami LED, na wartość temperatury złącza poszczególnych źródeł, wpływają również wzajemne sprzężenia termiczne pomiędzy nimi.

W celu zwiększenia sumarycznej mocy oprawy, a co za tym idzie, uzyskania żądanej wartości strumienia świetlnego, często instalowanych jest wiele źródeł LED w bliskiej odległości na wspólnym radiatorze. Źródła zainstalowane w taki sposób oddziałują cieplnie na siebie, konsekwencją czego jest wzrost temperatury złącza poszczególnych źródeł.



Rys. 2. Oprawa drogowa z zainstalowanymi źródłami w bliskim sąsiedztwie

Na rysunku 2 przedstawiony został przykład oprawy drogowej z występującymi sprzężeniami termicznymi pomiędzy źródłami. W oprawie tej, w bliskim sąsiedztwie zainstalowanych zostało 240 źródeł LED o sumarycznej mocy 391 W [8].

2. ANALIZA TERMICZNA PANELU LED NA PODSTAWIE METODY ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH

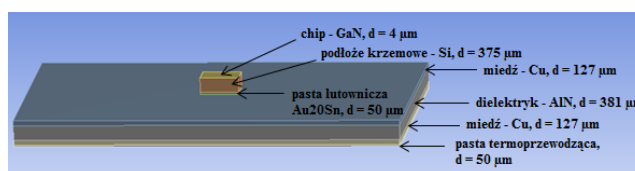
Poprawna praca oprawy oświetleniowej zapewniająca stałość parametrów świetlnych związana jest bezpośrednio z efektywnym zarządzaniem ciepła i utrzymywaniem temperatury złącza w bezpiecznych granicach. Deklarowana zazwyczaj przez producentów

wartość temperatury złącza, powyżej której nastąpić może nieodwracalna degradacja półprzewodnika, przyjmowana jest na poziomie 150°C .

W celu prawidłowej analizy termicznej wieloźródłowej oprawy oświetleniowej, uwzględniającej wzajemne sprzężenia termiczne pomiędzy źródłami, wykorzystana może zostać metoda elementów skończonych. Metoda ta jest szeroko stosowana do rozwiązywania złożonych problemów inżynierskich m.in. do wyznaczania wytrzymałości konstrukcji, odkształceń czy obliczeń termicznych związanych z przepływem ciepła. Zaletą powyższej metody jest możliwość analizy w przestrzeni trójwymiarowej, jak również duża dostępność oprogramowania bazującego na metodzie elementów skończonych.

Na podstawie powyższej metody, z wykorzystaniem oprogramowania Ansys Workbench przeprowadzono symulacyjnie przykładową analizę termiczną panelu oświetleniowego ze źródłami LED.

W celu uzyskania wiarygodnych obliczeń należy w sposób precyzyjny sparametryzować budowę badanych źródeł LED oraz ich wymiary. Do symulacji przyjęto przykładową budowę źródła LED wysokiej mocy przedstawioną na rysunku 3[8].



Rys. 3. Przykładowa budowa źródła LED wysokiej mocy wykorzystana w obliczeniach symulacyjnych

Wymiary chipu wynosiły $1 \times 1 \text{ mm}^2$, natomiast podłoża do odprowadzania ciepła $10 \times 10 \text{ mm}^2$. Jako radiator, na którym instalowane były źródła LED, w symulacji przyjęto płytę aluminiową o wymiarach $100 \times 100 \text{ mm}^2$ i grubości $d=10 \text{ mm}$. Do przeprowadzenia analizy termicznej wykorzystano również współczynniki przewodzenia ciepła poprzez zadanie odpowiednich współczynników materiałowych przedstawionych w tabeli 2.

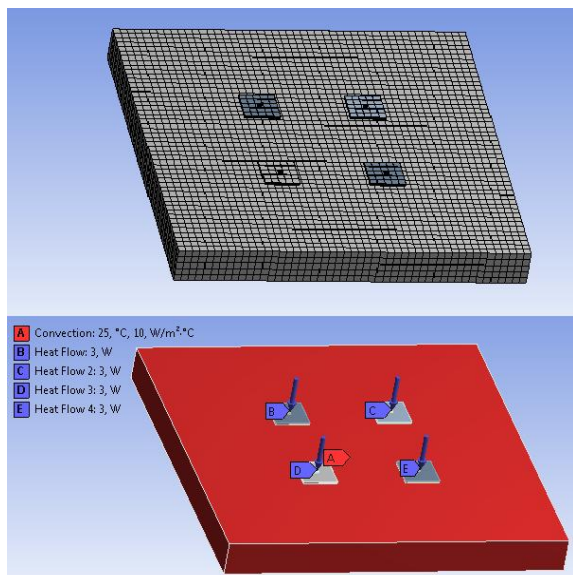
Tab. 2. Rodzaje materiałów i ich współczynnik przewodzenia ciepła

	Material	Współczynnik przewodzenia ciepła
		[W/mK]
Pasta termoprzewodząca	G-751	3
Podłoże DBC	Cu	385
	AlN	180
	Cu	385
Pasta lutownicza	Au20Sn	57
Podłoże krzemowe	Si	301
Chip	GaN	130
Radiator	Al	200

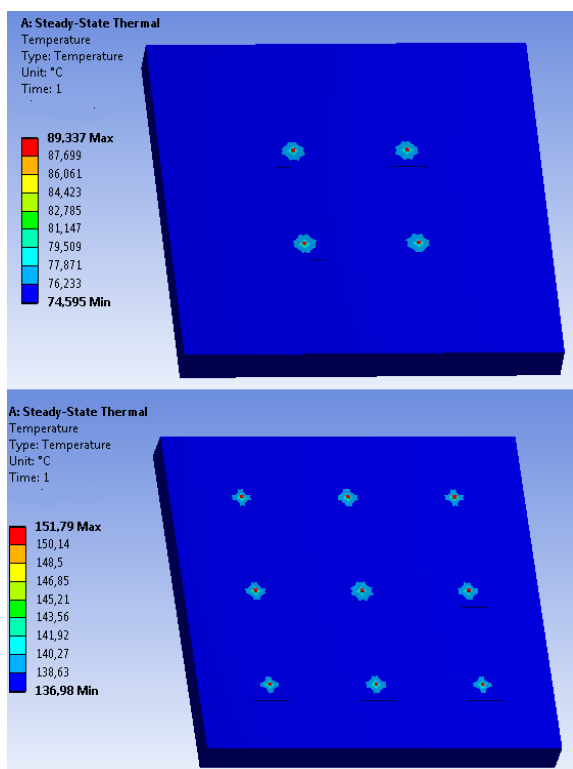
Podczas symulacji współczynnik przejmowania ciepła przyjęto dla konwekcji naturalnej na poziomie $10 \text{ W/m}^2\text{K}$, natomiast temperatura otoczenia wynosiła 25°C .

Przykładowa siatka dyskretyzacyjna oraz warunki brzegowe dla symulowanego panelu LED z zainstalowanymi czterema źródłami LED o mocy cieplnej pojedynczego źródła 3 W przedstawiono na rysunku 4.

W przeprowadzonej analizie na płycie aluminiowej zainstalowanych zostało odpowiednio jedno, dwa, cztery oraz dziewięć źródeł LED, a moc cieplna pojedynczego źródła wynosiła 3W. Odległość pomiędzy zainstalowanymi źródłami wynosiła 20 mm.



Rys. 4. Siatka dyskretyzacyjna oraz warunki brzegowe symulowanego panelu LED



Rys. 5. Rozkład temperatury dla panelu z zainstalowanymi czterema oraz dziewięcioma źródłami LED

W przypadku, gdy zainstalowane zostało jedno źródło LED maksymalna temperatura złącza wyniosła $51,8^{\circ}\text{C}$, natomiast temperatura płyty aluminiowej 37°C . Wraz ze wzrostem liczby zainstalowanych źródeł LED temperatura złącza wzrastała i dla zainstalowanych dwóch źródeł wyniosła $64,3^{\circ}\text{C}$, dla czterech $89,3^{\circ}\text{C}$ i dla dziewięciu $151,8^{\circ}\text{C}$.

PODSUMOWANIE

Analiza termiczna opraw oświetleniowych ze źródłami LED jest jednym z kluczowych elementów oceny poprawności pracy oprawy. Wymieniona analiza umożliwia wyznaczenie rozkładu temperatury oprawy, która wpływa na podstawowe parametry świetlne źródeł LED.

Jedną z metod symulacyjnych umożliwiającą analizę termiczną paneli LED jest metoda elementów skończonych. Metoda ta umożliwia oszacowanie temperatury w każdym punkcie badanej oprawy, dzięki czemu istnieje możliwość wyznaczenia bezpośrednio temperatury złącza źródeł LED, która w rzeczywistych warunkach jest trudna do zmierzenia.

W przedstawionej analizie, zgodnie z oczekiwaniami, najwyższa wartość temperatury panelu LED, została wyznaczona w złączu półprzewodnikowym źródeł LED. Wraz ze zwiększaniem liczby zainstalowanych źródeł, wzrastała temperatura złącza poszczególnych źródeł, co związane jest z występowaniem wzajemnych sprzężeń termicznych pomiędzy źródłami.

BIBLIOGRAFIA

1. Alan M.: Lighting: the progress & promise of LEDs', III-V Rev., str. 39-41, 2004
2. Wiśniewski A. „Lampy LED – ocena podstawowych parametrów „Przeгляд Elektrotechniczny, nr 5a/2012, str 166 – 168.
3. Oleksy M., Kraśniewski J., Janke W. „Wpływ temperatury na charakterystyki optyczne i elektryczne diod LED mocy „Przeгляд Elektrotechniczny, nr 9/2014, str 83-85.
4. Khanh T., Bodrogi P., Vinh T., Winkler H. “ LED Lighting. Technology and Perception”. 2015 Wiley-VCH Verlag GmbH, Germany.
5. Cree - XLamp Thermal Management.
6. Domke K., Skrzypczak P. "Analiza cieplna układu: elektroluminescencyjna dioda mocy -element Peltiera – radiator". Przeгляд elektrotechniczny, nr 10/2009, str. 101-103.
7. Min Seok Ha, „Thermal analysis of High Power Led arrays “, PhD thesis, Georgia Institute of Technology, 2009
8. www.schreder.com/SiteCollectionDocuments/Products/AKILA/AKILA-English-Brochure-V2.pdf

MULTI-SOURCE LUMINARIES TEMPERATURE DISTRIBUTION IN THE LED TECHNOLOGY

Abstract

The article presented the possibility to use the method of finite elements for the analysis of thermal luminaries with the LED sources. Available simulation software based on the above method enables the determination of the temperature distribution of the luminaries containing many LED sources in its structure, which together constitute the heat sources. Temperature determined this way, which significantly affects the basic light parameters, is an indispensable element of the proper design of the heat flow path in the housing, as well as the basis for assessing the correct operation of the whole system.

Autorzy:

dr hab. inż. Antoni Różowicz, prof. PŚk – Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, rozowicz@tu.kielce.pl
mgr inż. Krzysztof Baran – Politechnika Rzeszowska, kbaran@prz.edu.pl