

Andrzej PAWLAK  
Krzysztof ZAREMBA

## ANALIZA PARAMETRÓW MIESZANINY ŚWIATŁA DIOD ELEKTROLUMINESCENCYJNYCH O BARWIE BIAŁEJ Z DIODĄ O BARWIE CZERWONEJ LUB CZERWONO-POMARAŃCZOWEJ

**STRESZCZENIE** *W artykule przedstawiono badania symulacyjne dotyczące możliwości zastosowania diod elektroluminescencyjnych (LED) o barwie czerwonej lub czerwono-pomarańczowej w mieszaninie z diodami o barwie białej. Na podstawie analizy rozkładów widmowych promieniowania takich mieszanin oceniano możliwości regulacyjne temperatury barwowej oraz wskaźnika oddawania barw. Założeniem tych analiz było uzyskanie ciepłej barwy światła oraz wskaźnika oddawania barw o wartości co najmniej 80. Znacząco lepsze rezultaty osiągnięto po zastosowaniu w mieszaninie diod o barwie czerwono-pomarańczowej niż o barwie czerwonej.*

**Słowa kluczowe:** *diody elektroluminescencyjne, diody świecące, LED, temperatura barwowa, wskaźnik oddawania barw*

---

**mgr inż. Andrzej PAWLAK**  
e-mail: [anpaw@ciop.pl](mailto:anpaw@ciop.pl)

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy  
Prochownia Promieniowania Optycznego

**dr inż. Krzysztof ZAREMBA**  
e-mail: [zaremba@pb.edu.pl](mailto:zaremba@pb.edu.pl)

Politechnika Białostocka, Katedra Promieniowania Optycznego

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 237, 2008

## 1. WSTĘP

---

Diody elektroluminescencyjne (LED – Light Emitting Diode) są nowoczesnymi źródłami światła, które, jak się prognozuje, w niedalekiej przyszłości wyprą większość z używanych źródeł światła. Obecnie jednak zastosowanie diod świecących (LED) do celów oświetleniowych powinno być poprzedzone analizą ich parametrów. W przypadku konieczności stosowania światła o określonej barwie, jak to ma miejsce np. w sygnalizacji, diody te mają przewagę nad źródłami światła białego. Związane jest to z tym, że diody wytwarzają bezpośrednio światło prawie monochromatyczne o danej barwie, dzięki czemu w oprawach nie występuje konieczność stosowania filtrów barwnych. Dodatkową zaletą tych diod jest ich duża skuteczność świetlna oraz trwałość. Przełomem w zastosowaniu diod w oświetleniu było opracowanie technologii produkcji diod świecących o białym świetle i związany z tym spadek ich cen. Pomimo wielu zalet diod świecących wytwarzających światło białe w porównaniu z tradycyjnymi źródłami światła ich zastosowanie w technice świetlnej jest jeszcze stosunkowo ograniczone.

## 2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA DIOD ŚWIECĄCYCH

---

Światło białe może być wytwarzane dwiema metodami: przez zmieszanie światła trzech diod o barwach: czerwonej, zielonej i niebieskiej (RGB) lub przez zastosowanie odpowiednich luminoforów w diodach emitujących światło niebieskie lub promieniowanie UV. Mieszanie światła diod barwnych: zielonej, czerwonej i niebieskiej wykorzystywane jest obecnie tylko w przypadkach, gdy celem jest osiągnięcie oświetlenia o zmiennej barwie. Uzyskiwanie światła białego tą metodą jest utrudnione ze względu na różny strumień świetlny diod emitujących poszczególne pasma (barwę achromatyczną uzyskuje się mieszając barwy RGB w proporcjach 1:4,59:0,06). Utrudnia to efektywne mieszanie barw, uzyskiwanie jednorodnych odcieni i dużej skuteczności świetlnej. Druga metoda polega na wykorzystaniu światła niebieskiego lub promieniowania nadfioletowego (UV) do wzbudzenia luminoforu, podobnie jak ma to miejsce w świetlówkach. Sposób ten jest prostszy niż mieszanie trzech barw, choć sprawność takiego przetwarzania wynosi maksymalnie 80 %, ponieważ część światła jest tracona na rozpraszanie i absorpcję w luminoforze. Białe światło

diod z luminoforem charakteryzuje się wysoką temperaturą barwową, odpowiadającą barwie dziennej i wskaźnikiem oddawania barw tylko na poziomie 70 [1]. Obecnie występują trudności w wytwarzaniu ciepłego światła białego o niskiej temperaturze barwowej i dużym wskaźniku oddawania barw z dostatecznie dużą skutecznością.

### 3. DIODY ŚWIECĄCE DUŻEJ MOCY FIRMY LUMILEDS

Firma LUMILEDS wydaje się być obecnie największym z producentów diod świecących dużej mocy. Na jej stronach internetowych ([www.lumileds.com](http://www.lumileds.com)) dostępne są informacje, na podstawie których można przeanalizować obecny stan rozwoju oświetleniowych tych diod. Szybkość zmian dostępnych produktów (co kilka miesięcy pojawiają się wiadomości o nowych rozwiązaniach) świadczy o prowadzonych intensywnych pracach w tym zakresie. Najpopularniejsze obecnie produkty firmy LUMILEDS [3] to diody o mocach 1 i 3 W (rys. 1).



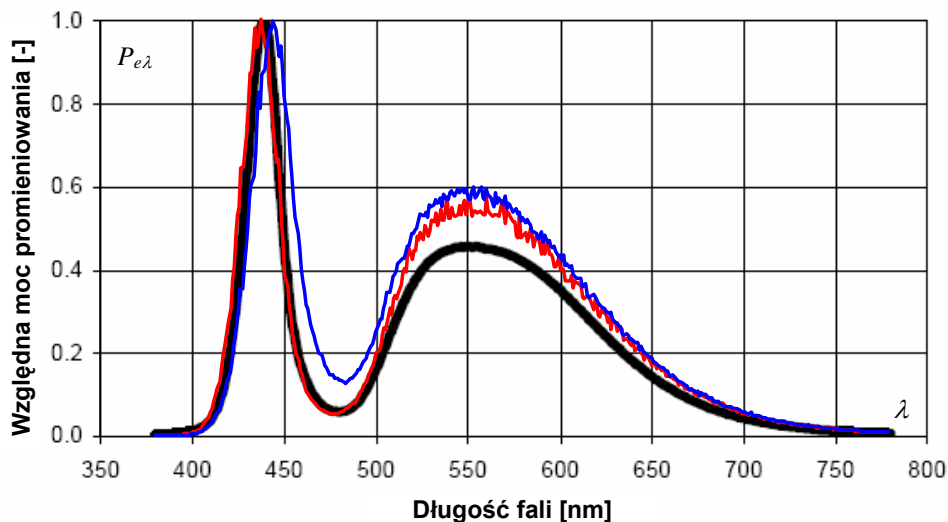
Rys. 1. Widok nowoczesnych diod dużej mocy firmy LUMILEDS [3]

Technologia produkcji tych diod jest ciągle rozwijana, o czym świadczy powstawanie kolejnych typów o coraz większym strumieniu świetlnym. Jeszcze niedawno katalogowy strumień świetlny diody o świetle białym i mocy 1 W (LXHL-MWGC) wynosił 25 lm, później 31 lm, a obecnie diody takie mają strumień świetlny 45 lm. Oznacza to, że skuteczność świetlna tego typu diod wzrosła z ok. 21 lm/W do 45 lm/W, czyli prawie dwukrotnie. Obecnie diody te są już bardziej energooszczędne niż żarówki halogenowe. Najbardziej jednak rozwijana jest technologia diod o świetle białym i mocy 3 W. Dioda ta ma znamionowy prąd pracy 700 mA przy napięciu zasilającym 3,7 V, czyli moc 2,6 W. W tych warunkach emituje ona strumień świetlny o wartości 66 lm. Dioda ta może także pracować przy prądzie 1 000 mA i napięciu 3,9 V (3,9 W) i emituje wtedy strumień 80 lm. Diody o mocy 3 W (LXHL-LW3C), których skuteczność

światlna jest znacznie lepsza od tych o mocy 1 W, wysyłają duże ilości światła niebieskiego i zielonożółtego, w wyniku czego temperatura barwowa ich promieniowania jest wysoka, bo wynosi 5 500 K (barwa dzienna). Przy czym producent dopuszcza bardzo duży przedział rozrzutów temperatury barwowej od 4 500 K i 10 000 K. Wskaźnik oddawania barw tych diod jest rzędu 80. Typowy rozkład widmowy strumienia świetlnego diody białej przedstawiono na rysunku 2 – linia czarna.

#### 4. ANALIZA MOŻLIWOŚCI STEROWANIA TEMPERATURĄ BARWOWĄ W OPRAWACH Z DIODAMI ŚWIECĄCYMI DUŻEJ MOCY

Badania wpływu zastosowania diod o barwie czerwonej na wartość wypadkową temperatury barwowej mieszanki diod o barwie białej i czerwonej przeprowadzono na wykonanym modelu oprawy złożonym z diod o mocy 3 W – 30 szt. o barwie białej (LXHL-LW3C) i 6 o barwie czerwonej (LXHL-LD3C) [2]. Obliczone teoretycznie, na podstawie katalogowego rozkładu widmowego (rys. 2 – linia czarna), parametry tego typu diody białej wynosiły:  $T_c = 6177$  K i  $R_a = 67$ . Producent jako standardową temperaturę barwową  $T_c$  podaje wartość 5 500 K, która jest niższa od obliczonej teoretycznie.



**Rys. 2. Rozkład widmowy względnej mocy promienistej  $P_{elr}$  promieniowania diod LED typu LXHL-LW3C o barwie białej dziennej:**

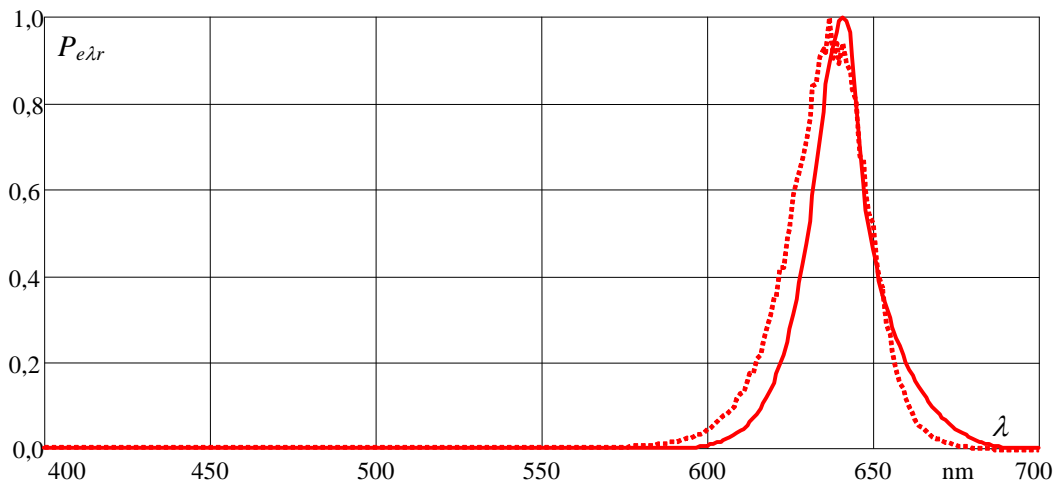
- linia czarna (ciągła, gruba) – katalogowy rozkład widmowy [3],
- linia czerwona (średkowa) – dioda z serii produkcyjnej zastosowanej w oprawie modelowej,
- linia niebieska (najwyższa) – dioda zakupiona rok wcześniej

#### 4.1. Analiza wpływu rozrzutu parametrów diod świecących na jakość światła

Użyte w modelowej oprawie diody o barwie białej charakteryzują się temperaturą barwową wynoszącą 5 528 K (zmierzoną kolorymetrem Minolta CL 200), czyli zbliżoną do wartości katalogowej (5 500 K), a nie obliczonej teoretycznie (6 177 K). Oznacza to, że katalogowy rozkład widmowy tych diod nie odzwierciedla rzeczywistego ich rozkładu. Rozkłady widmowe dwóch diod typu LXHL-LW3C zmierzono za pomocą spektrometri OL 750 firmy Optronic Laboratories Inc. Jedna dioda pochodziła z serii, którą zastosowano w oprawie modelowej (rys. 2 – linia czerwona), a drugą zakupiono rok wcześniej (rys. 2 – linia niebieska). Rozkłady widmowe obu zmierzonych diod różnią się zarówno między sobą, jak i są różne od rozkładu katalogowego. Różnice dotyczą głównie zakresu widmowego, który wytwarzany jest przez luminofor, czyli światła barwy zielonej, zielono-żółtej i żółtej. Wyznaczonym rozkładom widmowym diod białych odpowiadają również różne wskaźniki oddawania barw ( $R_a$ ). Katalogowy rozkład widmowy charakteryzuje wskaźnik oddawania barw  $R_a = 67$ , podczas gdy diody zastosowane w oprawie modelowej mają  $R_a = 65$ , a dioda zakupiona rok wcześniej  $R_a = 71$ . Wszystkie wyznaczone wskaźniki  $R_a$  są bliskie 70, która to wartość podawana jest czasami przez producentów jako dobra.

Oprawa modelowa charakteryzuje się wyższą temperaturą barwową (3 702 K) niż wyliczona teoretycznie (2 709 K), co musi wynikać nie tylko z przedstawionych różnic parametrów diod białych, ale również diod czerwonych. Występowanie różnic tylko w diodach białych prowadziłoby bowiem do zmniejszenia teoretycznej temperatury barwowej, a nie do jej zwiększenia, tak jak zmierzono. Różnice parametrów diod czerwonych mogą dotyczyć ich rozkładu widmowego oraz ilości strumienia świetlnego wysyłanego przez diodę. Oba rodzaje różnic zostały stwierdzone po wykonaniu pomiarów spektrometrycznych promieniowania diody czerwonej typu LXHL-LD3C z serii zastosowanej w oprawie. Zmierzony rozkład widmowy jest przesunięty w kierunku fal krótszych (rys. 3), a wyznaczona wartość strumienia świetlnego wynosiła 57,6 lm i była mniejsza od wartości 85 lm założonej podczas wykonywania symulacji komputerowych [2].

Obie przedstawione różnice w parametrach promieniowania diody czerwonej prowadzą prawdopodobnie do zwiększenia temperatury barwowej oprawy modelowej. Strumień diody czerwonej jest mniejszy niż założony, czyli w mniejszym stopniu wpływa na obniżenie temperatury barwowej, a jej promieniowanie jest bardziej krótkofalowe, czyli w mniejszym stopniu zwiększające temperaturę barwową mieszanki.



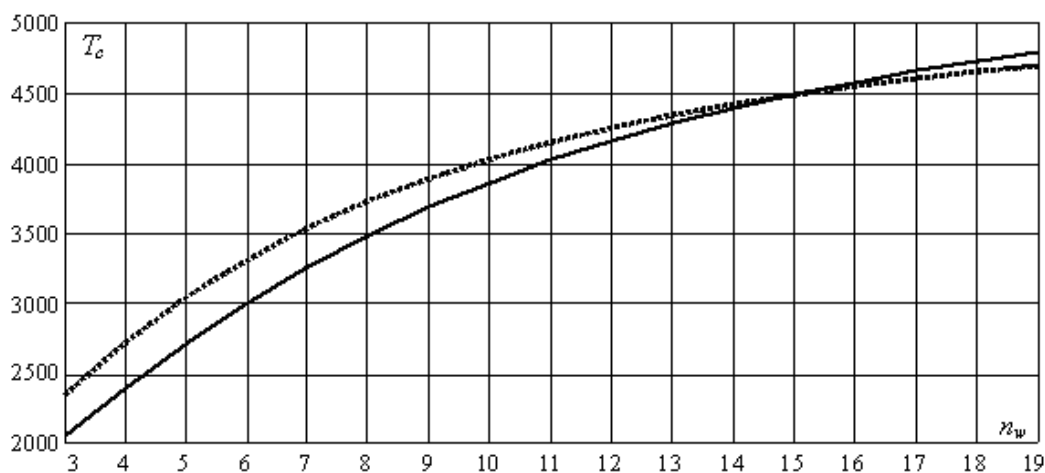
**Rys. 3. Rozkład widmowy względnej mocy promienistej  $P_{e\lambda r}$  promieniowania diody czerwonej:** linia ciągła – rozkład katalogowy, linia kropkowana – wyniki pomiarowe

#### 4.2. Analiza parametrów mieszaniny światła diod białych z diodą o barwie czerwonej

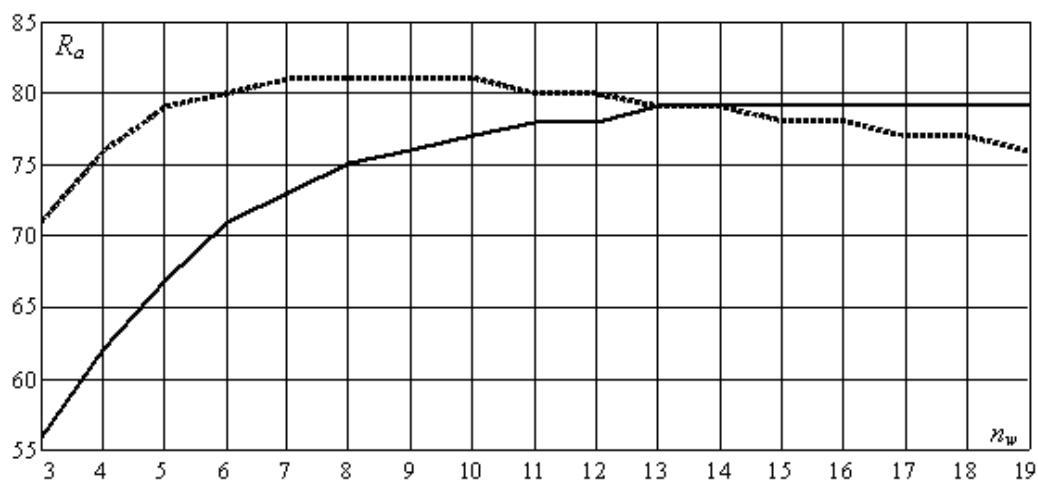
Na rysunku 4 przedstawiono zależność temperatury barwowej mieszaniny promieniowania jednej diody czerwonej z różną ilością  $n_w$  promieniowania diod białych. Gdy w mieszaninie jest do 14 diod białych i jedna czerwona, wówczas temperatura barwowa mieszaniny z diodami rzeczywistymi (rys. 4 – linia przerywana) jest wyższa niż z diodami o rozkładzie katalogowym (rys. 4 – linia ciągła). Powyżej tego zakresu sytuacja jest odwrotna, co oznacza, że dokładny wpływ rozkładu widmowego na temperaturę barwową mieszaniny może być wyznaczony tylko na podstawie symulacji komputerowych a nie prostych analiz.

Uwzględnienie w obliczeniach rzeczywistego rozkładu widmowego diod białych i diody czerwonej spowodowało również znaczące zmiany w charakterystykach wskaźnika oddawania barw ( $R_a$ ) światła mieszaniny różnej ilości  $n_w$  światła diod białych i jednej diody czerwonej (rys. 5).

W zakresie do  $n_w = 10$ , gdy temperatura barwowa mieszaniny nie przekracza 4 000 K, wskaźnik oddawania barw rzeczywistej mieszaniny (rys. 5 – linia kropkowana) jest znacznie większy niż obliczony dla rozkładów katalogowych (rys. 5 – linia ciągła). W tym zakresie wskaźnik oddawania barw  $R_a$  jest bliski 80, co jest minimalną normatywną wartością w większości zastosowań oświetleniowych.

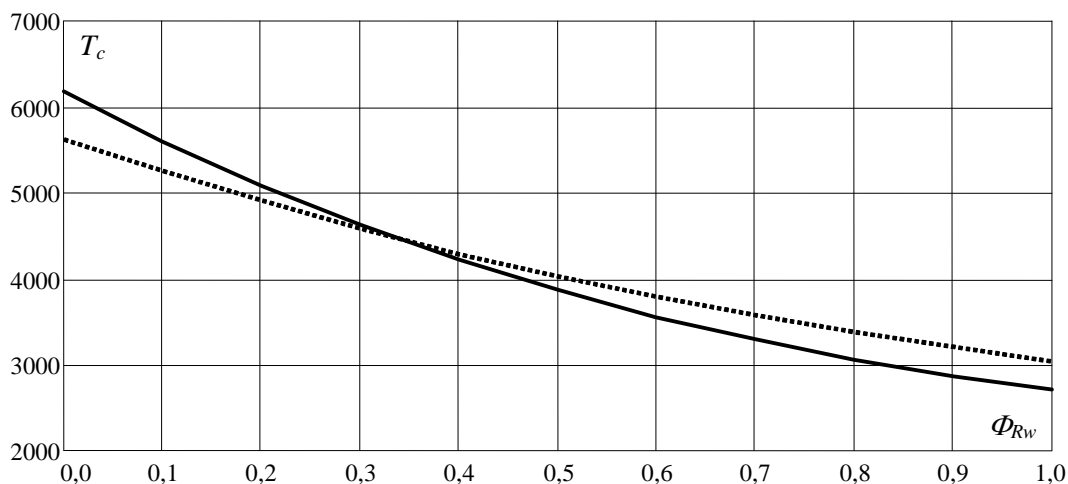


**Rys. 4. Temperatura barwowa  $T_c$  mieszanki promieniowania jednej diody czerwonej z różną ilością  $n_W$  promieniowania diod białych:**  
linia ciągła – dane katalogowe, linia kropkowana – dane pomiarowe



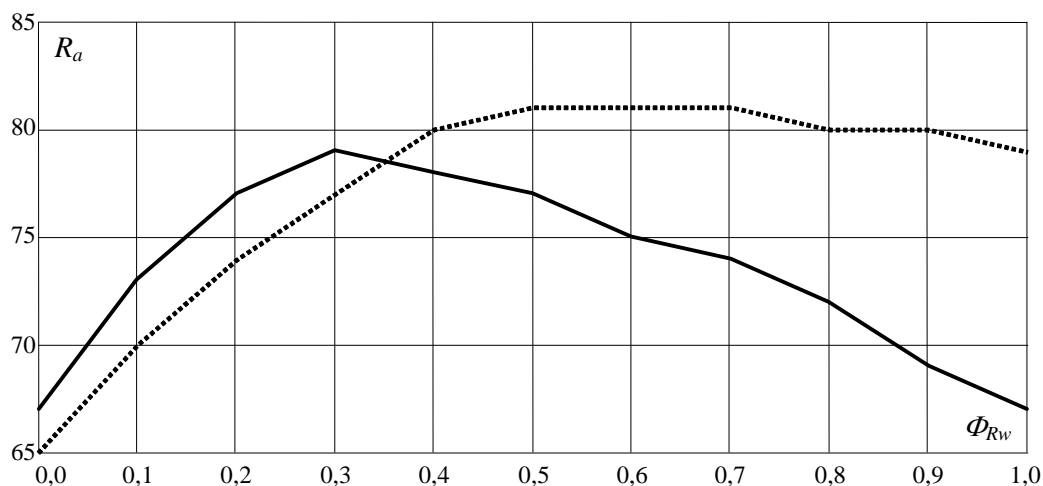
**Rys. 5. Wskaźnik oddawania barw  $R_a$  mieszanki promieniowania jednej diody czerwonej z różną ilością  $n_W$  promieniowania diod białych:**  
linia ciągła – dane katalogowe, linia kropkowana – dane pomiarowe

Różnice w parametrach diody czerwonej i diod białych wpływają również na zmianę przebiegu charakterystyk regulacyjnych oprawy. Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono teoretyczne charakterystyki regulacyjne temperatury barwowej i wskaźnika oddawania barw w zależności od względnej wartości znamionowego strumienia świetlnego  $\Phi_{Rw}$  jednej diody czerwonej zastosowanej w mieszanku z pięcioma diodami LED o barwie białej.



**Rys. 6. Temperatura barwowa  $T_c$  mieszanki promieniowania pięciu diod o barwie białej z różną względną ilością  $\Phi_{Rw}$  promieniowania jednej diody czerwonej:** linia ciągła – dane katalogowe, linia kropkowana – dane pomiarowe

Uwzględnienie w obliczeniach rzeczywistych rozkładów widmowych diod (linie przerywane) wpłynęło znacząco zarówno na charakterystykę zmian temperatury barwowej (rys. 6), jak i wskaźnika oddawania barw (rys. 7).



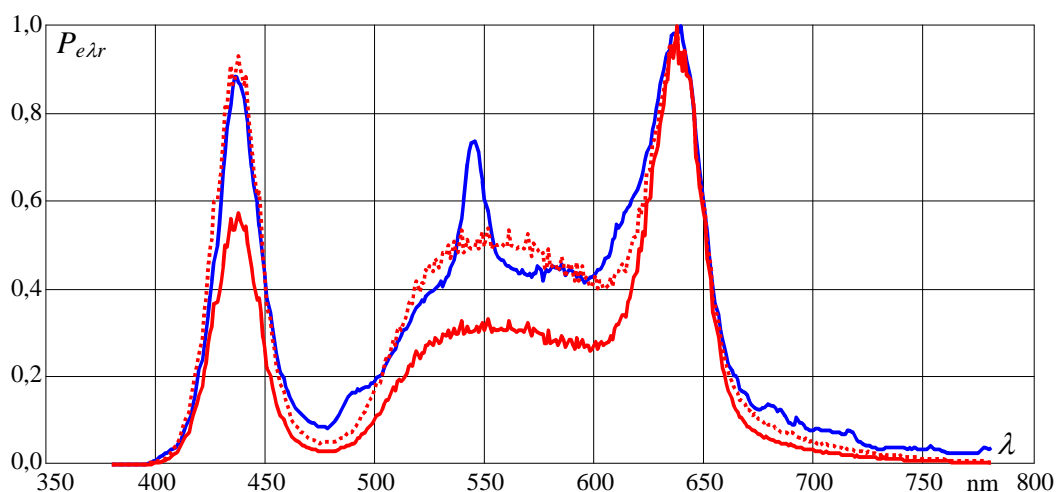
**Rys. 7. Wskaźnik oddawania barw  $R_a$  mieszanki promieniowania pięciu diod o barwie białej z różną względną ilością  $\Phi_{Rw}$  promieniowania jednej diody czerwonej:** linia ciągła – dane katalogowe, linia kropkowana – dane pomiarowe

Zakres regulacyjny temperatury barwowej zmniejszył się i zawiera się w przedziale od 3 042 K (barwa ciepło-biała) do 5 627 K (barwa dzienna). W oprawie nie można zatem otrzymać światła o barwie ciepłej, ale i tak zakres możliwości regulacyjnych oprawy obejmuje większość stosowanych w praktyce



barw światła białego. Charakterystyka zmian temperatury barwowej jest natomiast bardziej liniowa. Wskaźnik oddawania barw w dużym zakresie zmian strumienia świetlnego diody czerwonej, tj. od 0,4 do 1,0 jej względnego strumienia świetlnego  $\Phi_{Rw}$ , utrzymuje się na poziomie 80. Przy mniejszej ilości strumienia świetlnego diody czerwonej wskaźnik oddawania barw szybko maleje dążąc do wartości 65 odpowiadającej samej diodzie białej.

W odniesieniu do oprawy modelowej, w której zastosowano  $n_w = 5$  diod białych na każdą diodę czerwoną symulacje komputerowe pokazały, że oprawa powinna charakteryzować się temperaturą barwową wynoszącą 3 042 K, czyli większą niż obliczoną na podstawie rozkładów katalogowych (2 709 K), ale niższą niż zmierzona kolorymetrem (3 702 K). Ostateczną odpowiedź co do przyczyn tej różnicy dały pomiary rozkładu widmowego strumienia świetlnego emitowanego przez wykonany model oprawy (rys. 8 – linia niebieska). Pomiary wykonywano z odległości 3,5 m.



**Rys. 8. Rozkład widmowy względnej mocy  $P_{e\lambda r}$  promieniowania:**

- oprawy modelowej – zmierzony – linia niebieska ciągła, gładka,
- mieszanki jednej diody czerwonej i 5 białych – obliczony – linia czerwona ciągła,
- mieszanki jednej diody czerwonej i 3 białych – obliczony – linia czerwona kropkowana

Zmierzony rozkład widmowy oprawy modelowej (rys. 8 – linia niebieska gładka), charakteryzujący się temperaturą barwową  $T_c = 3\,726$  K i wskaźnikiem oddawania barw  $R_a = 83$ , różni się od rozkładu teoretycznego (rys. 8 – linia czerwona ciągła). Wprawdzie maksima pochodzące od diod białych (440 nm) i od diody czerwonej (640 nm) występują w tych samych miejscach, to jednak ich proporcje są różne. Odpowiada to większej ilości strumienia diod białych w porównaniu z czerwonymi. Dodatkowo występuje maksimum w 545 nm, którego pochodzenie jest zupełnie niezrozumiałe. Zakładając, że nie jest to błąd

miarowy, na co wskazuje fakt, że podczas powtórzonych pomiarów maksimum to też występowało, może ono pochodzić tylko od selektywnego odbicia promieniowania od powierzchni odbłyśnika w oprawie. Temperatura barwowa obliczona na podstawie rozkładu widmowego (3 726 K) jest zbliżona do zmierzonej kolorymetrem CL 200 (3 702 K).

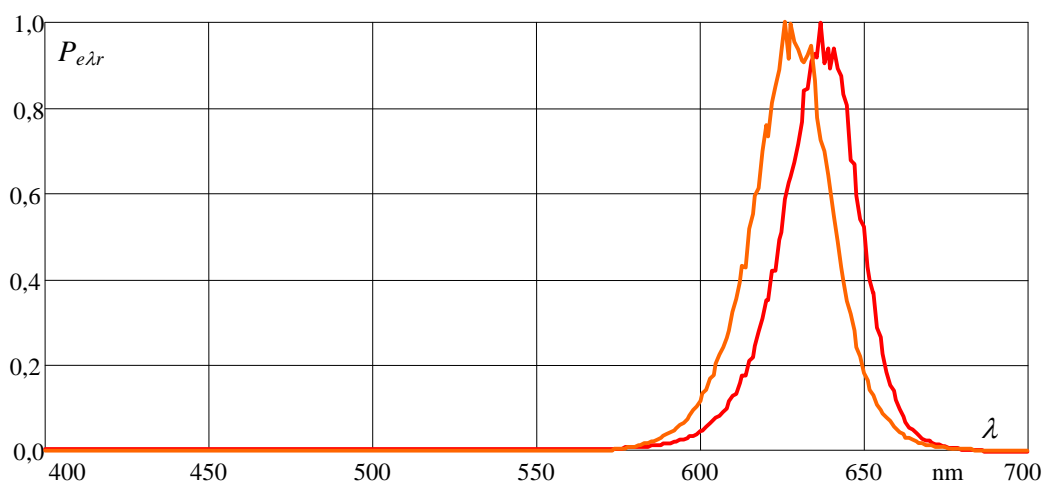
Analiza teoretycznych rozkładów widmowych mieszaniny promieniowania różnej ilości diod białych z jedną diodą czerwoną doprowadziła do wniosku, że zmierzony rozkład widmowy jest najbardziej podobny do mieszaniny światła 9 diod białych i jednej czerwonej (rys. 8 – linia czerwona kropkowana). Teoretycznie otrzymuje się wtedy temperaturę barwową  $T_c = 3\,889\text{ K}$  i wskaźnik oddawania barw  $R_a = 81$ , czyli parametry zbliżone do wyników pomiarowych. W zmierzonym rozkładzie widmowym promieniowania oprawy modelowej jest proporcjonalnie mniej światła czerwonego niż wynika to z proporcji diod białych do czerwonych zastosowanych w oprawie (5:1). Może to być spowodowane różnymi właściwościami powierzchni odbłyśników zastosowanych w oprawie modelowej, co na pewno przełożyło się na proporcje promieniowania diod białych i czerwonych padającego na otwór pomiarowy spektrometru.

#### 4.3. Analiza parametrów mieszaniny światła diod białych z diodą o barwie czerwono-pomarańczowej

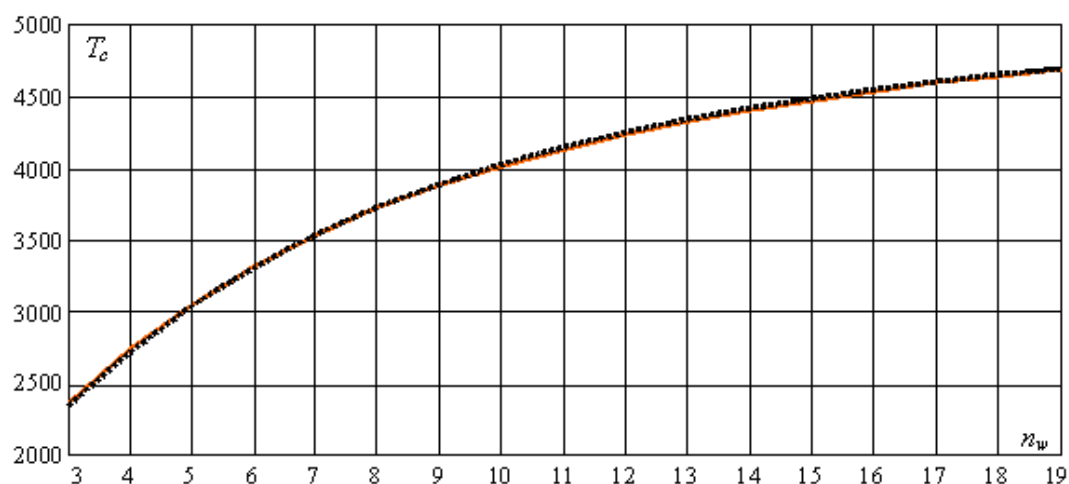
Wyniki otrzymane podczas analizy parametrów rzeczywistych rozkładów promieniowania mieszaniny światła diod białych i czerwonych skłoniły do przeprowadzenia badań symulacyjnych nad możliwością zastosowania w mieszaninie diod o barwie światła czerwono-pomarańczowej (LXHL-LH3C). Spodziewano się przy tym dalszego zmniejszenia możliwości regulacyjnych temperatury barwowej oprawy oraz poprawy wskaźnika oddawania barw.

Zmierzony rozkład widmowy względnej mocy diody czerwono-pomarańczowej typu LXHL-LH3C (rys. 9 – linia pomarańczowa) jest podobny do zmierzonego rozkładu diody czerwonej typu LXHL-LD3C (rys. 9 – linia czerwona), tylko przesunięty o 10 nm w stronę fal krótszych.

Różnice w rozkładach widmowych tych diod praktycznie nie wpływają na temperaturę barwową  $T_c$  mieszaniny ich promieniowania z diodami białymi (rys. 10), gdyż różnice temperatury barwowej, w obu przypadkach, nie przekraczają  $\pm 20\text{ K}$ . Zupełnie inaczej, niż w przypadku temperatury barwowej, kształtują się wykresy wskaźników oddawania barw  $R_a$  mieszaniny promieniowania (rys. 11).



**Rys. 9. Zmierzone rozkłady widmowe względnej mocy  $P_{e\lambda r}$  promieniowania:**  
 – diody LXHL-LD3C (czerwona) – linia czerwona,  
 – diody LXHL-LH3C (czerwono-pomarańczowa) – linia pomarańczowa – przesunięty w lewo

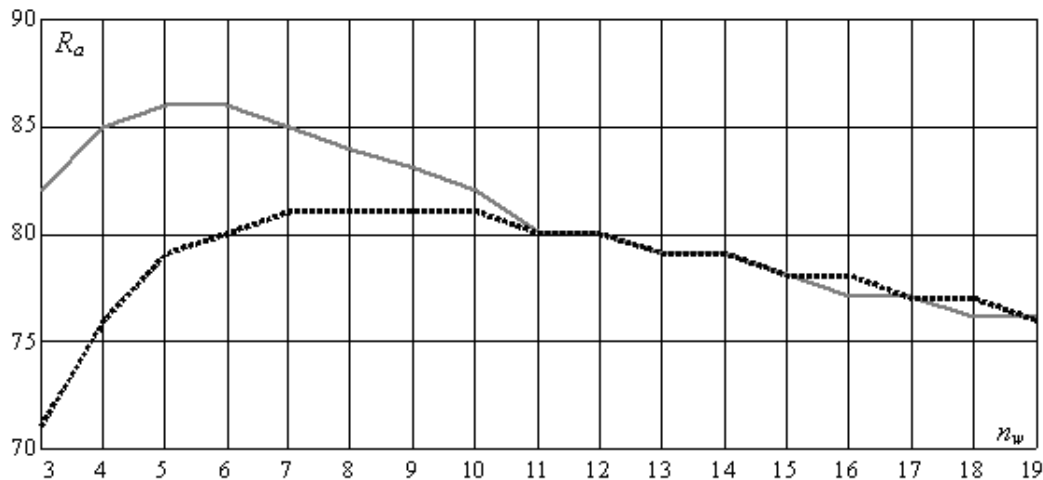


**Rys. 10. Temperatura barwowa  $T_c$  mieszanki promieniowania jednej diody czerwonej (linia czarna kropkowana) lub jednej diody czerwono-pomarańczowej (linia pomarańczowa) z różną ilością  $n_w$  promieniowania diod białych**

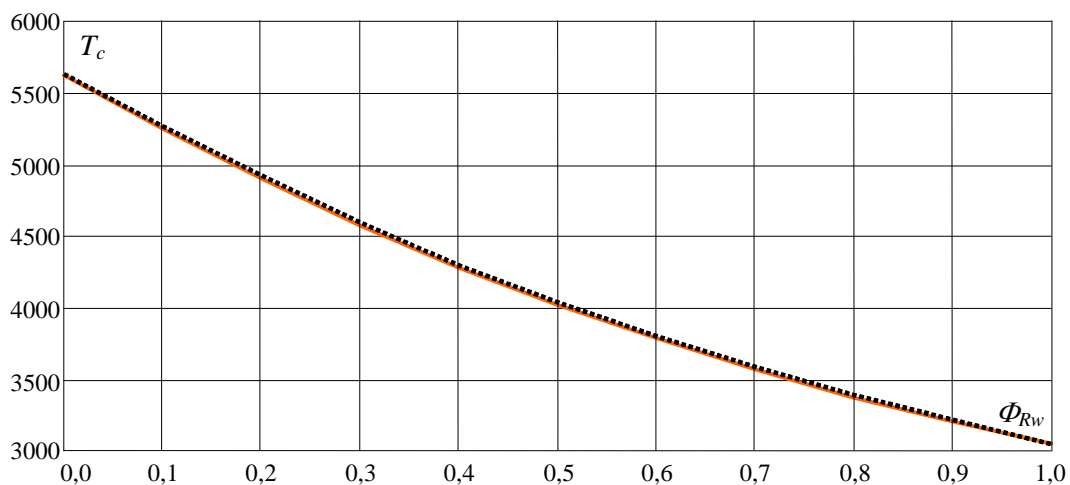
Niewielka, bo wynosząca tylko 10 nm, różnica w rozkładach widmowych promieniowania diody czerwonej i czerwono-pomarańczowej, wpływa zdecydowanie na poprawę wskaźnika oddawania barw.

Wartości  $R_a$  w przypadku zastosowania diody czerwono-pomarańczowej (rys. 11 – linia pomarańczowa ciągła), w najważniejszym pod względem prak-

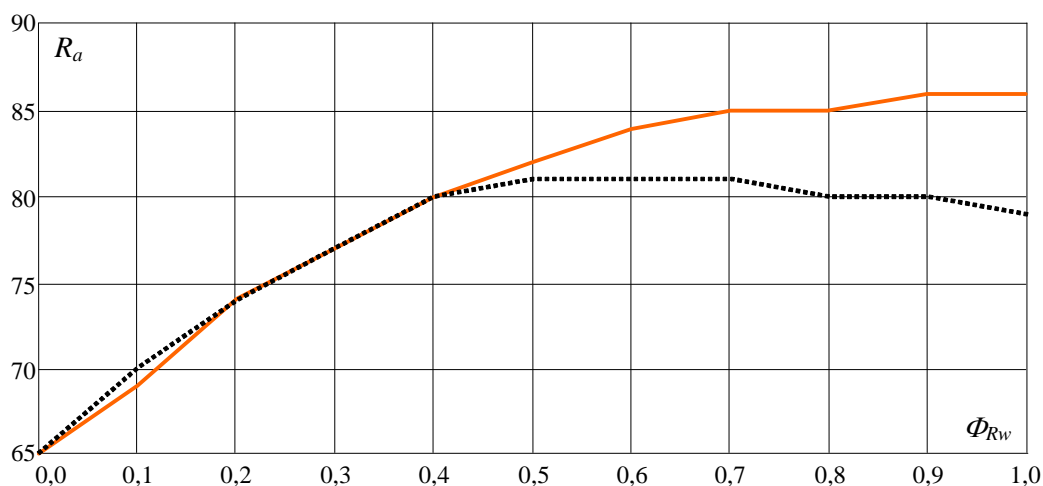
tycznym zakresie, czyli do  $n_w = 10$ , są większe niż w przypadku diody czerwonej (rys. 11 – linia czarna kropkowana). W całym tym zakresie mieszanka promieniowania diod białych z diodą czerwono-pomarańczową ma wartości wskaźnika oddawania barw większe niż 80 i sięga 86 dla liczby  $n_w$  diod białych wynoszącej 5 i 6, czyli takiej, która występuje również w oprawie modelowej ( $n_w = 5$ ) [2].



Rys. 11. Wskaźnik oddawania barw  $R_a$  mieszanki promieniowania jednej diody czerwonej (linia czarna kropkowana) lub jednej diody czerwono-pomarańczowej (linia pomarańczowa) z różną ilością  $n_w$  promieniowania diod białych



Rys. 12. Temperatura barwowa  $T_c$  mieszanki promieniowania pięciu diod o barwie białej z różną względną ilością  $\Phi_{Rw}$  promieniowania jednej diody czerwono-pomarańczowej (linia pomarańczowa ciągła) lub czerwonej (linia czarna kropkowana)



**Rys. 13.** Wskaźnik oddawania barw mieszanki promieniowania pięciu diod o barwie białej z różną względną ilością  $\Phi_{Rw}$  promieniowania jednej diody czerwono-pomarańczowej (linia pomarańczowa) lub czerwonej (linia czarna kropkowana)

Zastosowanie diody czerwono-pomarańczowej zamiast czerwonej nie wpływa na charakterystyki regulacyjne temperatury barwowej  $T_c$  oprawy (rys. 12). Wykres odnoszący się do diody czerwono-pomarańczowej (rys. 12 – linia pomarańczowa ciągła) praktycznie pokrywa się z wykresem diody czerwonej (rys. 12 – linia czarna kropkowana). Zastosowanie diody czerwono-pomarańczowej wpływa natomiast na charakterystyki regulacyjne wskaźnika oddawania barw (rys. 13). Zastosowanie diody czerwono-pomarańczowej nie zwiększyło zakresu względnej ilości  $\Phi_{Rw}$  promieniowania jednej diody, w którym utrzymują się wysokie wartości wskaźnika oddawania barw. Wynosi on w obu przypadkach od 0,5 do 1,0. Jednak w przedziale tym, po zastosowaniu diody czerwono-pomarańczowej zamiast czerwonej, uzyskiwane wartości wskaźnika oddawania barw są znacznie wyższe.

## 4. WNIOSKI

Przeprowadzone badania pokazały, jak duży wpływ mają rozrzuty rozkładów widmowych diod białych i czerwonych na parametry jakościowe mieszanki ich światła. Rezultaty teoretyczne, otrzymane na podstawie rozkładów katalogowych, okazały się znacznie gorsze niż te uzyskane na podstawie zmierzonych rozkładów widmowych diod. Rzeczywista mieszanka promieniowania pięciu diod białych i jednej czerwonej, choć nie pozwalała na uzyskanie ciepłej barwy światła, a tylko ciepło-białej, charakteryzowała się dobrym ogólnym wskaźni-

kiem oddawania barw  $R_a$  większym niż 80. Znacząco lepsze rezultaty osiągnięto po zastosowaniu w mieszaninie diody o barwie czerwono-pomarańczowej zamiast o barwie czerwonej. Pomimo że dioda o barwie czerwono-pomarańczowej ma maksimum przesunięte w stronę fal krótszych tylko o 10 nm, to zmiana ta wpływa na wzrost wskaźnika oddawania barw do wartości 86.

## LITERATURA

1. Brown D., Nicol D., Ferguson I.: Investigation of the spectral properties of LED-based MR16 bulbs for general illumination, *Opt. Eng.*; 44(11), 111310-1-4 (2005).
2. Pawlak A. Zadanie badawcze nr 1.A.08 pn. „Badanie wpływu parametrów świetlnych i użytkowych opraw oświetleniowych ze źródłami nowej generacji (diodami elektroluminescencyjnymi – LED) na warunki pracy wzrokowej”, realizowanego w ramach Programu Wieloletniego (II etap) pn. „Dostosowywanie warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej”. Część A: Program realizacji badań naukowych i prac rozwojowych. CIOP-PIB, Zakład Techniki Bezpieczeństwa, Warszawa, 2005-2007. [Praca niepublikowana].
3. [www.lumileds.com](http://www.lumileds.com)

Rękopis dostarczono dnia 10.04.2008 r.

**Opiniował: prof. dr hab. inż. Władysław Dybczyński**

## ANALYSIS OF LIGHT MIXTURE PARAMETERS FOR WHITE LED TOGETHER WITH RED OR RED-ORANGE LED

Andrzej PAWLAK, Krzysztof ZAREMBA

**ABSTRACT** *This paper presents simultaneous research of possibility of implementation red or red-orange lighting emitting diodes (LEDs) mixed with white LEDs. Analysis of the radiation's spectral distribution of such mixture helped to assess possibilities of regulation colour temperature and colour rendering index. Presumption for this analysis was receiving warm light colour and colour rendering index no less than 80. Considerably better results were achieved in the mixture of red-orange LEDs than in only red one.*

**Mgr inż. Andrzej Pawlak** – absolwent Politechniki Warszawskiej – Wydział Elektryczny – specjalizacja – Technika Świetlna. Obecnie asystent w Pracowni Promieniowania Optycznego CIOP-PIB. Działalność zawodowa to prace badawcze oraz ekspertyzy z zakresu oświetlenia elektrycznego oraz promieniowania optycznego.



**Dr inż. Krzysztof Zaremba** – adiunkt w Katedrze Promieniowania Optycznego Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej. Specjalizuje się w projektowaniu opraw oświetleniowych.