

WPŁYW TEMPRATURY OTOCZENIA NA WŁAŚCIWOŚCI BARWOWE NISKOCIŚNIENIOWYCH LAMP RTĘCIOWYCH

TABAKA, Przemysław – TABAKA, Przemysław

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki pomiarów laboratoryjnych parametrów kolorymetrycznych świetlówek różnych mocy w funkcji temperatury otoczenia od $+25^{\circ}\text{C}$ do -25°C z krokiem co 5°C . Na podstawie zarejestrowanych rozkładów widmowych promieniowania, wyznaczono temperaturę barwową oraz wskaźnik oddawania barw. Pomiarom poddano świetlówek liniowe o mocach: 8 W, 18 W i 36 W. W odniesieniu do świetlówek o mocy 18 W uwzględniono różne barwy lamp 640, 827, 840. Oprócz tego pomiarom poddano jedną liniową świetlówkę mrozoodporną o barwie 840 oraz jedną świetlówkę kompaktową zintegrowaną o mocy 18 W z konwencjonalnym dławikiem magnetycznym. Wszystkie świetlówek liniowe współpracowały z tradycyjnym dławikiem magnetycznym.

Słowa klucze

Lampa fluorescencyjna, tempetarura otoczenia, temperatura barwowa najbliższa, ogólny wskaźnik oddawania barw

1 Wprowadzenie

Najpopularniejszymi niskociśnieniowymi lampami rtęciowymi są lampy fluorescencyjne nazywane świetlówkami. Wykorzystywane są one szeroko w oświetleniu ogólnym wewnątrz tj.: pomieszczenia biurowe, konferencyjne i administracyjne, korytarze, pomieszczenia szkolne, sklepy, supermarkety, centra handlowe, restauracje, hotele, hale sportowe i rekreacyjne, galerie i muzea, sale szpitalne, gabinety lekarskie, poczekanie, magazyny, pomieszczenia przemysłowe, domy mieszkalne (kuchnie, łazienki, piwnice), garaże. Lampy te stosowane są także w oświetleniu zewnętrznym, tj.: do oświetlania dróg z ruchem pieszych (np. przejścia podziemne), parkingów, przystanków komunikacji miejskiej, peronów autobusowych i kolejowych, do podświetlania szyldów, billboardów i kasetonów reklamowych.

Szczególną cechą świetlówek, na co zwrócono uwagę w literaturze [4, 5, 6, 7], jest uzależnienie strumienia świetlnego od temperatury otoczenia. W pracach tych odczuwa się jednak brak analizy właściwości barwowych tych źródeł światła w warunkach zmiennej temperatury otoczenia. Niniejsza publikacja poświęcona jest zagadnieniom wpływu temperatury otoczenia na właściwości kolorymetryczne niskoprężnych lamp rtęciowych.

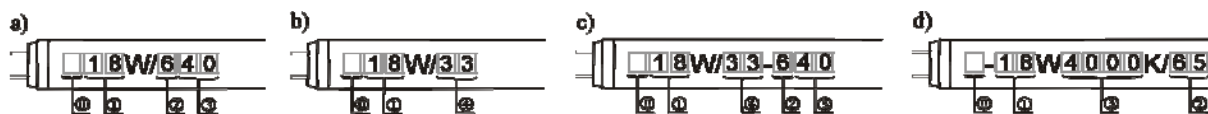
2 Sposoby oznaczania właściwości barwowych świetlówek

Właściwości barwowe świetlówek producenci podają zwykle w postaci trzycyfrowego kodu poprzedzonego symbolem określającym lampę jako świetlówkę oraz informacją nt. mocy źródła światła (rys. 1a). Symbol określający lampę jako świetlówkę (jedno lub kilku znakowy) nadawany jest indywidualnie przez każdego producenta.

Pierwsza liczba w kodzie barwy (pozycja ② rys. 1a i 1c), reprezentuje ogólny wskaźnik oddawania barw (R_a), dwie pozostałe natomiast (pozycja ③ rys. 1a i 1c) informują o temperaturze barwowej. Podana symbolika jest przyjętym przez producentów standardem oznaczania właściwości barwowych świetlówek. Przykładowe zestawienie składników trzycyfrowego kodu, dostępnych na rynku świetlówek liniowych podano w tabeli 1. Wobec faktu, że pierwsza cyfra kodu podaje jedynie przedział w jakim zawiera się wskaźnik

oddawania barw, dlatego też w celu uzyskania dokładnej informacji nt. jego wartości należy sięgnąć do katalogu.

Niektórzy producenci w celu oznaczenia barwy lampy posługują się starym systemem oznaczania barwy (rys. 1b).



Rys. 1. Przykłady kilku różnych sposobów oznaczania właściwości barwowych świetlówek liniowych: a) międzynarodowy, b) stary, c) stary w połączeniu z międzynarodowym, d) indywidualny stosowany przez jednego z producentów;

pozycja: ① - określenie lampy jako świetlówka, ② - moc lampy, ③ - ogólny wskaźnik oddawania barw, ④ - nominalna temperatura barwowa najbliższa, ⑤ - stare (dwucyfrowe) określenie barwy świetlówki

W tabeli 2. zestawiono najczęściej spotykane oznaczenia barw wraz z ich międzynarodowymi odpowiednikami.

Tab. 1. Przykładowe zestawienie składników międzynarodowego, trzycyfrowego kodu określającego barwę światła i wskaźnik oddawania barw świetlówek liniowych dostępnych na rynku

Ogólny wskaźnik oddawania barw (R_a)					
Pozycja z rys. 1a i 1c	5	6	7	8	9
wartość	50÷59	60÷69	70÷79	80÷89	90÷100
Nominalna temperatura barwowa najbliższa (T_{nc})					
Pozycja z rys. 1a i 1c	27	30	35	40	50
wartość	2700 K	3000 K	3500 K	4000 K	5000 K
Pozycja z rys. 1a i 1c	54	60	65	80	
wartość	5400 K	6000 K	6500 K	8000 K	

Tab. 2. Przykładowe sposoby oznaczania tych samych barw w starym i międzynarodowym zapisie

Stary system *)	¹⁾	25	30	20	-	10	11
	²⁾	25	29	33	35	54	-
	³⁾	125	129	133	135	154	
Międzynarodowy standard		740	530	640	535	765	860
Stary System *)	¹⁾	12	21	26	31	32	41
	²⁾	-	-	-	-	193	-
	³⁾						
Międzynarodowy standard		950	840	835	830	930	827
¹⁾ dotyczy źródeł firmy OSRAM, ²⁾ dotyczy źródeł firm: GE, PHILIPS, ³⁾ dotyczy źródeł firmy SYLVANIA							
*) – zestawienie nie obejmuje pełnej listy							

Czasem właściwości barwowe świetlówek opisane są parą liczb oddzielonych myślnikiem (rys. 1c). Pierwsza, przed myślnikiem, stanowi odwołanie do starego systemu oznaczania barwy, druga zaś do międzynarodowego. Zdarza się także, że do scharakteryzowania właściwości świetlówek producenci stosują swój własny (indywidualny) sposób oznaczeń (rys. 1d).

Producenci w celu określania najbardziej popularnych barw źródeł światła często posługują się następującymi określeniami: ciepło-biała (*ang. warm white*), biała (*ang. white*), chłodno-biała (*ang. cool white*) i dzienna (*ang. daylight*). Takie opisowe przedstawienie barwy z jednej strony jest bardzo wygodne z punktu widzenia potencjalnego klienta, nie znającego fachowych terminów funkcjonujących w technice świetlnej. Z drugiej jednak strony taki sposób przedstawienia barwy nie jest jednoznaczny. Wynika to z faktu, że przedziały temperatury barwowej przyporządkowane stosowanym w praktyce określeniom barwy światła zazębiają się (tab. 3.). Można bowiem spotkać dwie świetlówki liniowe o identycznej temperaturze barwowej wynoszącej np. 4000 K, których barwa światła została różnie określona - jako biała lub jako chłodno-biała (w zależności od producenta).

Tab. 3. Stosowane przez producentów określenia najbardziej popularnych barw źródeł światła

Przedział temperatury barwowej	określenie barwy światła
2700 ÷ 3000 K	ciepło-biała
3000 ÷ 4500 K	biała
4000 ÷ 5500 K	chłodno-biała
5500 ÷ 6500 K	dzienna

3 Przedmiot i zakres badań

Pomiarom eksperymentalnym poddano kilka świetlówek liniowych o następujących mocach: 8 W, 18 W i 36 W oraz jedną zintegrowaną świetlówkę kompaktową o mocy 18 W. W przypadku świetlówek liniowych o mocy 18 W uwzględniono różne barwy. Wszystkie lampy (ze świetlówką kompaktową włącznie) współpracowały z tradycyjnym dławikiem elektromagnetycznym. Pomiarom poddano także świetlówkę liniową mrozoodporną o mocy 18 W. Ogólne informacje dotyczące badanych źródeł światła zamieszczono w tabeli 4. Na potrzeby niniejszej pracy, badane źródła światła oznaczono umownymi symbolami od 1 do 7.

W odniesieniu do poszczególnych lamp zarejestrowano: zmiany rozkładów widmowych promieniowania oraz światłości w funkcji temperatury otoczenia w zakresie od +25 °C do -25 °C, z krokiem co ok. 5 °C.

Tab. 4. Ogólne dane niskociśnieniowych lamp wyładowczych, które poddano pomiarom

świetlówka	moc lampy	barwa	średnica rury	długość rury	symbol
liniowa	8 W	840	16 mm	288 mm	1
liniowa	18 W	827	26 mm	590 mm	2
liniowa	18 W	640	26 mm	590 mm	3
mrozoodporna	18 W	840	26/38 mm**	1125 mm	4
kompaktowa	18 W	Warm white	-	-	5
liniowa	18 W	Daylight	26 mm	590 mm	6
liniowa	36 W	840	26 mm	1199,4 mm	7

** rura świetlówki o średnicy 26 mm otoczona dodatkowo szklaną osłoną 38 mm

Wobec faktu, że w niskoprężnych lampach ciśnieniowych emitowane promieniowanie (pierwotne) przetwarzane jest przez luminofor (na promieniowanie wtórne – o dłuższych długościach fal), dodatkowo pomiary przeprowadzono w odniesieniu do specjalnej świetlówki o mocy 40 W, której wewnątrz (dla celów dydaktycznych) producent tylko do połowy pokrył luminoforem. Pozwoliło to zaobserwować wpływ temperatury otoczenia na zmiany rozkładu widmowego promieniowania pierwotnego.

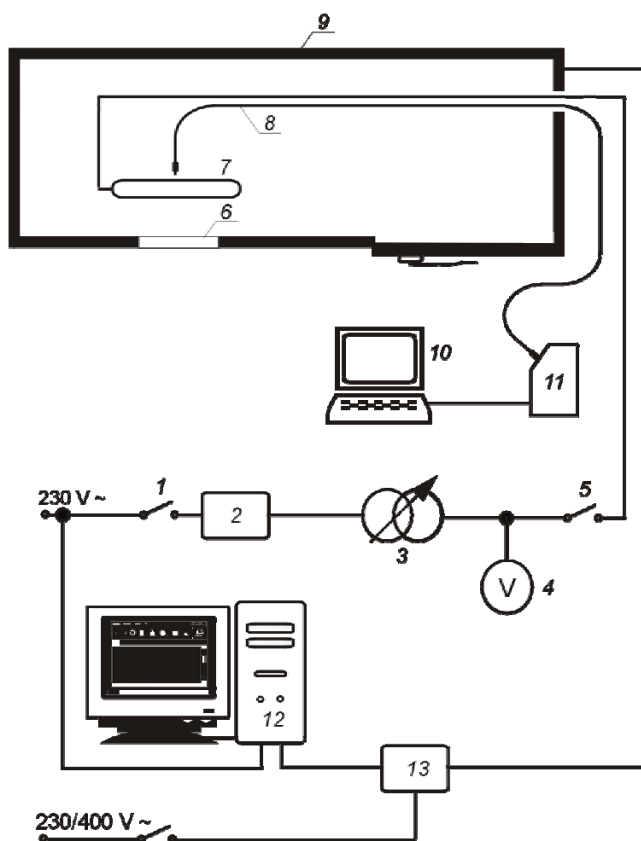
4 Układ pomiarowy

Pomiary laboratoryjne wpływu temperatury otoczenia na parametry kolorymetryczne lamp fluorescencyjnych przeprowadzono w układzie o strukturze przedstawionej na rys. 2.

Układy poszczególnych lamp (świetlówkę wraz z niezbędnym do jej prawidłowej pracy dławikiem) zasilono ze stabilizatora napięcia (2) zapewniającego stałą wartość skuteczną napięcia z dokładnością 0,1%. Za pomocą autotransformatora (3) ustawiono wartość 230 V, którą sprawdzono woltomierzem (4).

Jako temperaturę odniesienia przyjęto temperaturę pokojową o wartości 25 °C.

W celu zarejestrowania rozkładów widmowych badanych źródeł, do wnętrza komory termicznej wprowadzono światłowód (8) o średnicy rdzenia 50 μm. Jeden koniec światłowodu skierowano na światło źródła mierzonego (7), drugi zaś połączono do spektrometru typu CCD (11), umieszczonego na zewnątrz komory. Komunikacja spektrometru z komputerem została zrealizowana przy wykorzystaniu interfejsu USB 2.0.



Rys. 2. Schemat ideowy stanowiska pomiarowego do wyznaczania charakterystyk świetlnych niskoprężnych lamp fluorescencyjnych w funkcji temperatury:

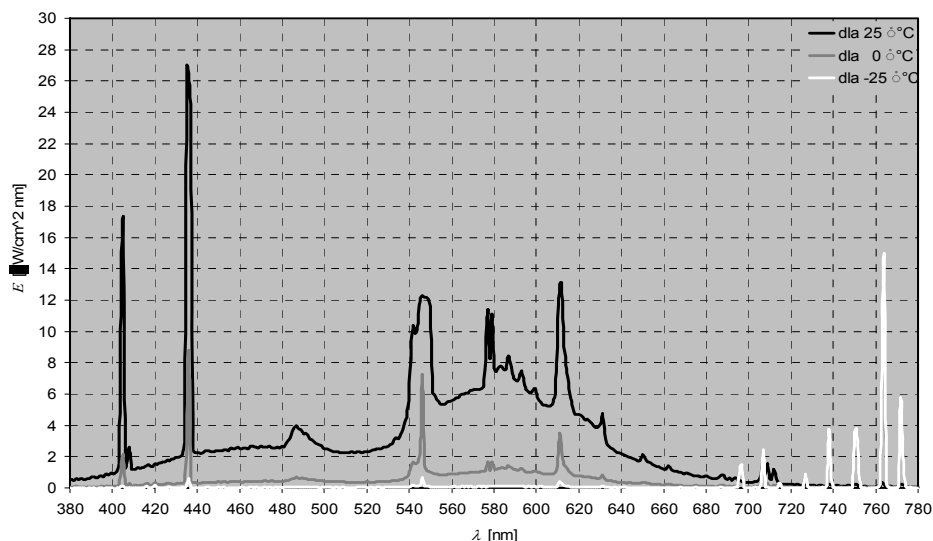
1, 5 – wyłączniki sieciowe, 2 – stabilizator napięcia, 3 – autotransformator, 4 – woltomierz, 6 – okrągła szyba zespolona umożliwiająca obserwację, 7 – badane źródło światła, 8 – światłowód, 9 – komora termiczna wykonana z płyt warstwowych, 10 – komputer PC rejestrujący rozkłady widmowe promieniowania, 11 – spektrometr, 12 – komputer sterujący komorą termiczną, 13 – układ sterowania komorą

4 Zmiany rozkładu widma promieniowania

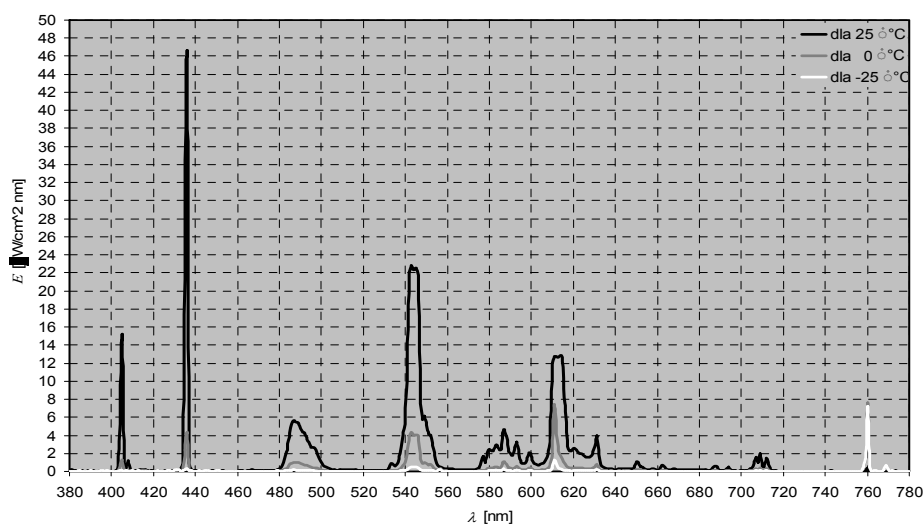
Zarejestrowano rozkłady widmowe promieniowania przy różnych temperaturach otoczenia, z częstością co 1 nm. Wyniki pomiarów dla poszczególnych lamp przedstawiono na rysunkach 3 – 4.

Rozkłady widmowe mają szczególne znaczenie albowiem zawierają one w zasadzie wszystkie informacje dotyczące cech jakościowych źródeł światła.

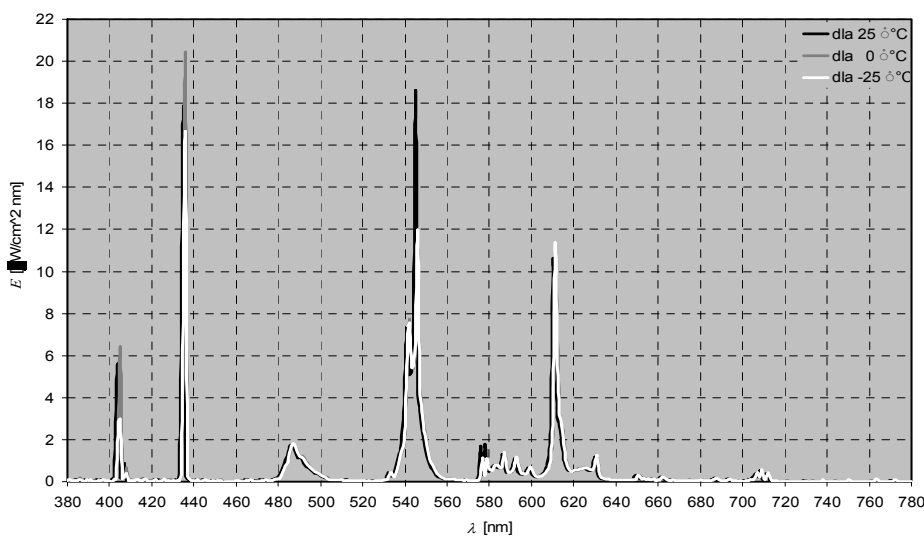
Z uwagi na mnogość danych (dla każdego z 8-miu źródeł światła zarejestrowano po 11 krzywych rozkładów widmowych) zdecydowano się na przedstawienie wyników tylko dla czterech lamp (o symbolach 1, 4 i 5 plus świetlówka „specjalna”) po trzy dla następujących temperatur $+25^{\circ}\text{C}$, 0°C oraz -25°C . Większa liczba krzywych rozkładów widmowych ograniczyłaby czytelność rysunków.



Rys. 3. Krzywe rozkładów widmowych świetlówki liniowej o mocy 8 W i barwie 840 (źródło 1), dla różnych temperatur otoczenia

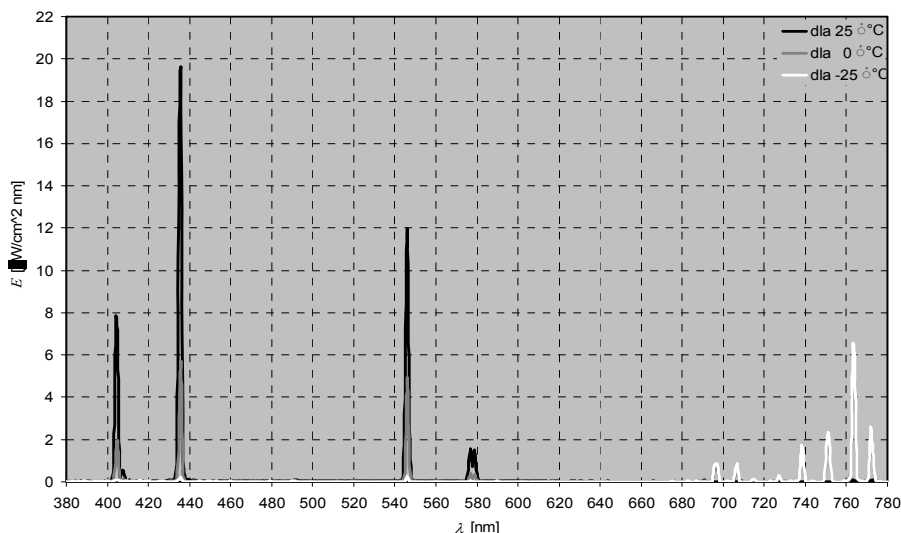


Rys. 4. Krzywe rozkładów widmowych mrozoodpornej świetlówki liniowej o mocy 36 W i barwie 840 (źródło 4), dla różnych temperatur otoczenia

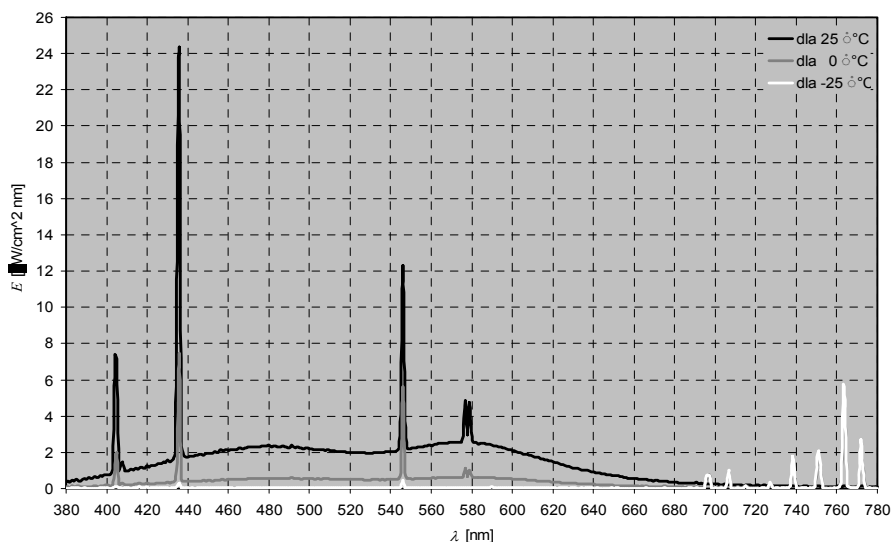


Rys. 5. Krzywe rozkładów widmowych świetlówki kompaktowej o mocy 18 W i barwie Warm white (źródło 5), dla różnych temperatur otoczenia

a)



b)



Rys. 6. Krzywe rozkładów widmowych specjalnej świetlówki liniowej o mocy 40 W, dla różnych temperatur otoczenia: a) część rury pozbawiona luminoforu, b) część rury pokryta luminoforem

6 Zmiany temperatury barwowej oraz wskaźnika oddawania barw

Najbardziej rozpowszechnionym w technice świetlnej parametrem charakteryzującym barwę promieniowania emitowanego przez źródło światła jest temperatura barwowa podawana w kelwinach. Jest to taka temperatura ciała czarnego, przy której wysyła ono promieniowanie o identycznej chromatyczności (barwności tj. o identycznym odcieniu i nasyceniu) co rozpatrywane źródło światła. A zatem termin ten (jak wynika to z definicji) powinien być stosowany wyłącznie w odniesieniu do źródeł światła, których punkty barwowe (współrzędne trójchromatyczne) leżą na krzywej Plancka. W przypadku lamp, których punkty chromatyczności nie leżą na krzywej promieniowania ciała czarnego (rys. 7.) należy operować pojęciem temperatury barwowej najbliższej (T_{cp}) – czyli takiej temperatury ciała czarnego, którego postrzegana barwa jest najbardziej zbliżona do barwy światła analizowanego źródła.

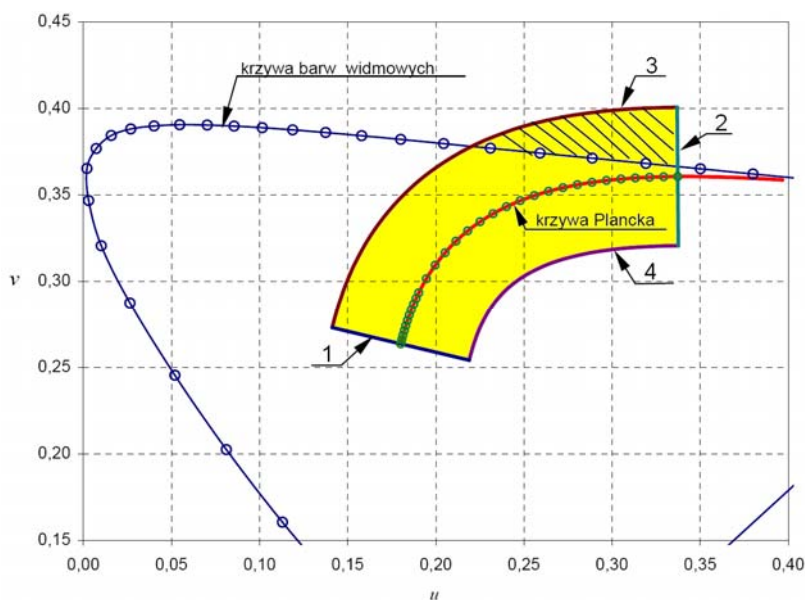
W celu łatwego wyznaczenia temperatury barwowej najbliższej korzysta się z prostych izotemperaturowych [3] (inaczej linie Judda [1]), które w układzie kolorymetrycznym u, v (CIE 1960) są prostopadłe do krzywej ciała czarnego (a precyzyjniej to – prostopadłe do

stycznej do krzywej ciała czarnego w punkcie przecięcia linii i krzywej). Zgodnie z normą [2] długość każdej z tych linii wynosi 0,04 jednostek liczonych od punktu wyznaczającego środek linii i leżącego zarazem na krzywej Plancka, do punktów wyznaczających końce prostej. W praktyce oznacza to, że przy określaniu temperatury barwowej najbliższej współrzędne trójchromatyczne nie mogą znajdować się w dowolnej odległości od krzywej ciała czarnego. Współrzędne określające oba końce linii izotemperaturowych (których parametry podane są w [2]) można wyznaczyć rozwiązując układ równań (1). Uzyskany w ten sposób zbiór punktów na wykresie chromatyczności zakreśli granicę określającą obszar w którym mogą znajdować się punkty chromatyczności w stosunku do których operowanie pojęciem temperatury barwowej najbliższej ma sens.

$$\begin{cases} v - v_i = t_T(u, v) \cdot (u - u_i) \\ (u - u_i)^2 + (v - v_i)^2 = 0,04^2 \end{cases} \quad (1)$$

w którym: u_i, v_i – współrzędne punktu wyznaczającego środek linii izotemperaturowej; $t_{T(u,v)}$ – współczynnik kierunkowy linii izotemperaturowej.

Wobec faktu, że w przyrodzie nie występują barwy, których punkty chromatyczności leżą poza krzywą widmową, to przy określaniu temperatury barwowej najbliższej współrzędne trójchromatyczne powinny znajdować się w obszarze zakreślonym przez krzywe 3 i 4 oraz proste 1 i 2 (rys. 7.) - zamalowane pole z wyłączeniem części zakreśkowanej.



Rys. 7. Fragment wykresu barw w układzie u, v z naniesionymi: krzywą Plancka, krzywą barw widmowych oraz obszarem współrzędnych chromatycznych dla których pojęcie temperatury barwowej najbliższej jest dopuszczalne

Producenci elektrycznych źródeł światła, podając informację czy to w katalogach, czy to na opakowaniach swoich produktów, w zasadzie w ogóle nie operują terminem temperatury barwowej najbliższej. Pojęcie temperatury barwowej jest bardzo wygodne i stosowane jest praktycznie w odniesieniu do wszystkich źródeł światła także i dla tych, których chromatyczność różni się od chromatyczności ciała czarnego. Wobec tego przed prezentacją wyników autor zdecydował się przybliżyć to zagadnienie.

Korzystając z zależności (2) wyznaczono względne wartości poszczególnych rozkładów widmowych promieniowania badanych źródeł światła $S(\lambda)$ dla poszczególnych temperatur otoczenia. Posłużyły one do obliczenia temperatury barwowej (tab. 5.) oraz ogólnego wskaźnika oddawania barw (tab. 6.)

$$S(\lambda) = \frac{100E(\lambda)}{E(560)} \quad (2)$$

w którym: $E(\lambda)$ – rozkład widmowy egzytancji promienistej, $E(560)$ – wartość egzytancji dla długości fali $\lambda = 560$ nm.

Tabela 5. Wyznaczone temperatury barwowe najbliższe badanych źródeł światła przy różnych temperaturach otoczenia

T [°C]	Temperatura barwowa najbliższa T_{cn} [K]						
	źródło 1	źródło 2	źródło 3	źródło 4	źródło 5	źródło 6	źródło 7
25	3923	2740	4022	4007	3015	5747	3980
20	3878	2734	3892	4022	3032	5686	3948
15	3877	2739	3857	4057	3040	5625	3896
10	3843	2692	3827	4099	3100	5637	3721
5	3787	2658	3805	4112	3140	5567	3616
0	3787	2534	3764	4109	3143	5362	3571
-5	3744	2555	3744	4066	3133	5349	3405
-10	3745	2390	3641	4008	3105	5288	3326
-15	3648	2270	3570	3972	3095	5190	3157
-20	3598	2296	3427	3936	3086	5374	3095
-25	3545	2290	3476	3888	3050	5216	3016

Tabela 6. Ogólne wskaźnik oddawania barw badanych źródeł światła przy różnych temperaturach otoczenia

T [°C]	Ogólny wskaźnik oddawania barw R_a [-]						
	źródło 1	źródło 2	źródło 3	źródło 4	źródło 5	źródło 6	źródło 7
25	81,1	81,3	64,8	80,6	81,1	76,2	83,8
20	78,0	81,2	64,2	80,8	78,2	75,1	83,1
15	76,0	78,4	63,3	80,3	80,5	71,0	81,3
10	67,8	76,1	62,1	79,7	80,0	70,0	80
5	66,3	74,3	61,4	79,4	78,0	69,4	79,4
0	66,3	71,2	61,0	78,9	79,0	68,7	77,3
-5	64,2	70,9	60,1	78,8	78,1	68,0	76,5
-10	64,1	68,3	59,4	77,5	78,0	67,9	74,2
-15	64,0	66,4	59,0	75,2	78,5	67,1	72,1
-20	64,2	62,3	58,1	74,1	76,7	66,6	69,8
-25	63,2	61,7	53,6	73,0	79,9	69,4	64,8

7 Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych można stwierdzić, że właściwości barwowe niskoprężnych lamp rtęciowych są funkcją temperatury otoczenia. Wraz z obniżaniem temperatury, dla wszystkich przebadanych świetlówek, zaobserwowano zmiany rozkładów widmowych. Maksimum promieniowania energii wyładowania w parach rtęci przy niskim ciśnieniu przesuwa się z obszaru krótkofalowego w kierunku fal dłuższych. Efektem tego jest zmiana barwy emitowanego przez lampy światła (w większości przypadków ma miejsce obniżenie temperatury barwowej najbliższej w warunkach dużego mrozu). Przyczyną tego stanu rzeczy są – po pierwsze zmiany właściwości luminoforu, po drugie – spadek ciśnienia we wnętrzu rury wyładowczej. A zatem zmianie temperatury otoczenia towarzyszy ustalenie się nowych stanów technicznych w lampie.

W ścisłym związku z rozkładem widmowym promieniowania pozostaje także kolejny parametr kolorymetryczny – wskaźnik oddawania barw. We wszystkich typach zbadanych lamp zaobserwowano obniżenie jego wartości.

Spośród przebadanych niskoprężnych lamp fluorescencyjnych, najmniej wrażliwe na zmiany temperatury otoczenia są źródła 4 i 5, lampy wyposażone w dodatkową przeświecalną osłonę, która ograniczyła straty ciepła przez świetlówkę. Względne zmiany parametrów

kolorymetrycznych (w zakresie od $+20^{\circ}\text{C}$ do -25°C) wynoszą odpowiednia dla lampy 4: T_{cn} 5,6%, R_a 9,7%, dla lampy 5: T_{cn} 4,2%, R_a 5,4%.

Analizując dane uzyskane na podstawie pomiarów laboratoryjnych, dotyczące świetlówek różnych mocy ale o tym samym kodzie barwnym 840 (lampy 1 i 7), można zauważyć, że bardziej wrażliwa na zmiany temperatury otoczenia, z punktu widzenia temperatury barwowej najbliższej, jest lampa o większej mocy. Względne zmiany tego parametru dla świetlówki o mocy 8 W wynoszą 9,6%, natomiast dla świetlówki 36 W 25,2%. Spadek ogólnego wskaźnika oddawania barw jest natomiast na podobnym poziomie i wynosi ok 22%.

Przeprowadzone badania dotyczyły pojedynczych egzemplarzy świetlówek, tak więc w celu sformułowania ogólnych wniosków należałoby przeprowadzić pomiary na próbie o większej liczbie lamp, co jest czasochłonne. Pomimo tego można jednak zaobserwować pewną prawidłowość, która jest zbieżna dla wszystkich lamp, które poddano eksperymentowi.

Literatura

1. Helbig E.: Grundlagen der Lichtmesstechnik, Geist und Portig Leipzig 1972
2. PN-91/E-04042/03 Pomiary promieniowania optycznego, Pomiary kolorymetryczne, Metody wyznaczania charakterystyk widmowych i kolorymetrycznych źródeł światła
3. Ferholski W., Stanioch W.: Kolorymetria trójchromatyczna, WNT, Warszawa 1973
4. Tabaka P.: Badania porównawcze zamienników tradycyjnych żarówek, Przegląd Elektrotechniczny R.85 nr 9/2010 str. 315-321
5. Wiśniewski A.: Elektryczne źródła światła, Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2010
6. Zaremba K.: Wpływ budowy świetlówek na ich mrozoodporność w warunkach ruchu powietrza, Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej 1999, Elektryka zeszyt nr 15
7. Żagan W.: Podstawy techniki świetlnej, Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005

Autor

dr inż. Przemysław Tabaka
Politechnika Łódzka
Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź
Poland
tel.: +48 42 631 26 10
fax: +48 42 631 26 06
e-mail: przemyslaw.tabaka@wp.pl