

Antoni RÓŻOWICZ
Mariusz DELĄG

WPLYW WARUNKÓW OTOCZENIA NA WYBRANE PARAMETRY ŚWIETLNE PROMIENIOWANIA EMITOWANEGO PRZEZ NISKOCIŚNIENIOWE RĘCIOWE LAMPY WYŁADOWCZE TYPU T5

STRESZCZENIE Obecnie bardzo często stosowanymi źródłami światła są lampy fluorescencyjne. Parametry świetlne tych lamp zależne są między innymi od warunków otoczenia pracy. Większość badań prowadzonych w tej dziedzinie przez producentów oświetlenia nie jest publikowana, a prezentowane dane mają charakter wybiórczy.

W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu zmian temperatury otoczenia na wielkość strumienia świetlnego, widmo promieniowania oraz temperaturę barwową niskociśnieniowych ręciowych lamp wyładowczych typu T5.

Słowa kluczowe: niskociśnieniowa ręciowa lampa wyładowcza, strumień świetlny, rozkład widmowy promieniowania, temperatura barwowa

1. WSTĘP

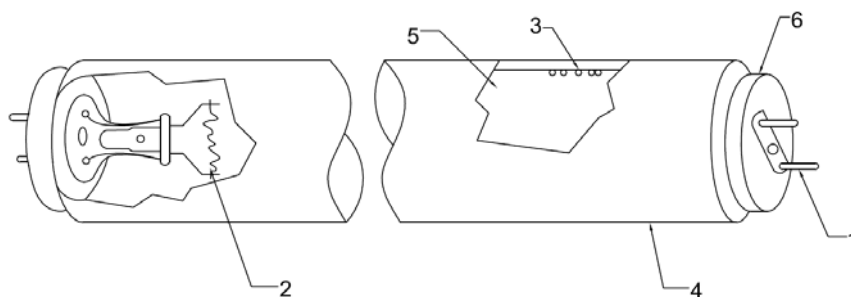
Najbardziej rozpowszechnioną niskociśnieniową ręciową lampą wyładowczą jest lampa fluorescencyjna zwana również świetlówką. Jest ona szeroko stosowana w oświetlaniu wnętrza i oświetleniu zewnętrznym.

Zasada działania lamp fluorescencyjnych opiera się na wyładowaniu elektrycznym w parach rtęci o niskim ciśnieniu. Warstwa luminoforu znajdująca się na wewnętrznej ścianie świetlówki po wzbudzeniu przez promieniowanie nadfioletowe pochodzące z wyładowania emituje światło.

dr hab. inż. Antoni RÓŻOWICZ prof. PŚk, mgr inż. Mariusz DELĄG
e-mail: [rozowicz; m.delag]@tu.kielce.pl

Katedra Urządzeń Elektrycznych i Techniki Świetlnej,
Politechnika Świętokrzyska w Kielcach

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 269, 2015



Rys. 1. Budowa niskociśnieniowej rtęciowej lampy wyładowczej:

1 – kolki stykowe, 2 – elektroda, 3 – rtęć w stanie zimnym, 4 – rura szklana pokryta wewnątrz luminoforem, 5 – wypełnienie gazowe, 6 – trzonek

Rozkład widmowy promieniowania emitowanego przez niskociśnieniowe rtęciowe lampy wyładowcze jest ściśle uzależniony od rodzaju użytego luminoforu. W produkcji lamp stosuje się proszki fluorescencyjne, które absorbują promieniowanie nadfioletowe o długości fali odpowiadającej długościom linii rezonansowych rtęci, a równocześnie ich pasmo emisyjne znajduje się w zakresie światła widzialnego.

Wartość generowanego strumienia świetlnego zależy jest od parametrów lampy oraz czynników zewnętrznych, leżących poza lampą. Do czynników zewnętrznych mających istotny wpływ na wartość strumienia świetlnego należy temperatura otoczenia. Wpływ tego czynnika został niejednokrotnie opisany w literaturze [1, 2, 3, 4]. Temperatura otoczenia wpływa również na inne parametry świetlne niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych. Trudno jednak doszukać się w literaturze dokładniejszych badań opisujących te zależności lub dostępne źródła odnoszą się głównie do świetlówek klasy TLD [5].

W niniejszym artykule przedstawiono analizę wpływu zmian temperatury otoczenia na kształtowanie się wybranych parametrów świetlnych – strumienia świetlnego, temperatury barwowej oraz rozkładu widmowego promieniowania emitowanego przez niskociśnieniowe rtęciowe lampy wyładowcze typu T5. Dla uproszczenia, w dalszej części artykułu, będą one nazywane zamiennie świetlówkami.

2. PRZEDMIOT I ZAKRES BADAŃ ORAZ UKŁAD POMIAROWY

W celu oceny wpływu temperatury otoczenia zewnętrznego na wartość wybranych parametrów świetlnych niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych dokonano pomiarów eksperymentalnych dla rodziny świetlówek liniowych typu T5 o mocach 8, 14 oraz 35 W. Badaniami objęto świetlówki o temperaturach barwowych 2700 K, 3000 K, 4000 K, 5400 K oraz 6500 K oraz współczynniku $CRI \geq 80$. Zestawienie badanych świetlówek przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1

Parametry niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych użytych w pomiarach

Świetlówka	Temperatura barwowa [K]	Moc [W]	Średnica rury [mm]	Strumień znamionowy [lm]
nr 1 – liniowa	2700	14	16	1200
nr 2 – liniowa	3000	14	16	1200
nr 3 – liniowa	4000	14	16	1200
nr 4 – liniowa	6500	14	16	1200
nr 5 – liniowa	6500	35	16	3100
nr 6 – liniowa	5400	8	16	365
nr 7 – liniowa	4000	8	16	370

Dla badanych niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych typu T5 dokonano pomiarów następujących parametrów świetlnych:

- strumienia świetlnego,
- rozkładu widmowego promieniowania,
- temperatury barwowej.

Pomiary powyższych parametrów świetlnych przeprowadzono dla zmian temperatury otoczenia w zakresie od -30°C do $+50^{\circ}\text{C}$.

Pomiary przeprowadzono na stanowisku badawczym z wykorzystaniem spektrometrii radiometrycznej z kamerą UV i spektrometrii radiometrycznej CS-2000.

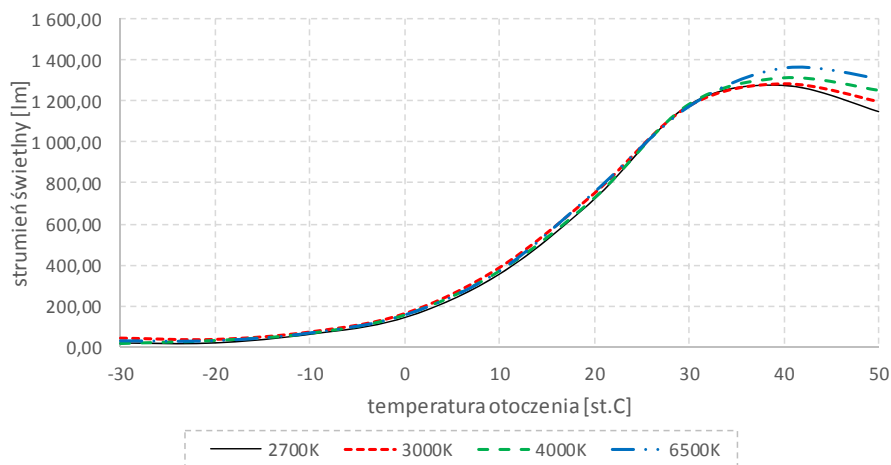
Zasilanie układu pracy świetlówki odbyło się przy zastosowaniu wzmacniacza szerokopasmowego z generatorem sygnałów przy stałej częstotliwości prądu zasilającego wynoszącej 10 kHz. Wartość prądu płynącego w układzie regulowano w taki sposób, aby świetlówka pobierała z sieci moc znamionową.

3. STRUMIEN ŚWIETLNY

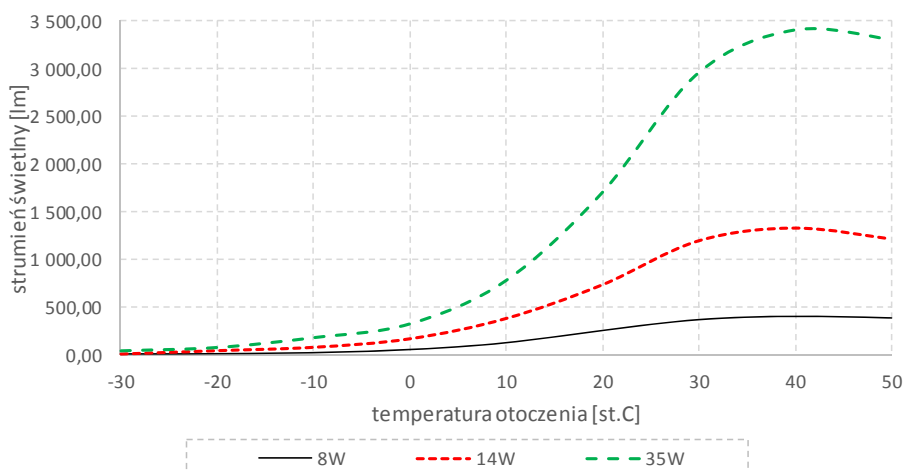
Jednym z najważniejszych parametrów mających wpływ na wielkość promieniowania rezonansowego generowanego w niskociśnieniowej rtęciowej lampie wyładowczej jest ciśnienie par rtęci wewnątrz rury wyładowczej. Optymalna wartość ciśnienia par rtęci 0,8 Pa zostaje osiągnięta w temperaturze 40°C [2, 6]. Dla świetlówek liniowych TLD wymagana wartość ciśnienia par rtęci wewnątrz rury wyładowczej jest uzyskiwana w temperaturze otoczenia około 25°C . W takiej temperaturze otoczenia wartość generowanego przez lampę strumienia świetlnego jest maksymalna [2, 4, 6].

Dostępne w literaturze wyniki badań opierają się głównie na analizie świetlówek TLD. Brak jest szczegółowej analizy zależności strumienia świetlnego od temperatury otoczenia w odniesieniu do świetlówek T5. W kartach katalogowych produkowanych świetlówek podawana jest przez producentów jedynie maksymalna wartość strumienia świetlnego oraz temperatura otoczenia, przy której wartość ta jest osiągana. Najczęściej wskazywana wartość temperatury to 35°C .

Przeprowadzone na stanowisku pomiarowym badania rozszerzają dostępną wiedzę, określając wpływ zmiennych warunków temperaturowych otoczenia na wartość strumienia świetlnego generowanego przez niskociśnieniowe rtęciowe lampy wyładowcze typu T5. Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono na rysunkach 2 i 3.



Rys. 2. Wartość strumienia świetlnego w funkcji temperatury otoczenia dla niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych typu T5 o mocy 14 W



Rys. 3. Wartość strumienia świetlnego w funkcji temperatury otoczenia dla niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych typu T5 o mocy 8, 14, 35 W

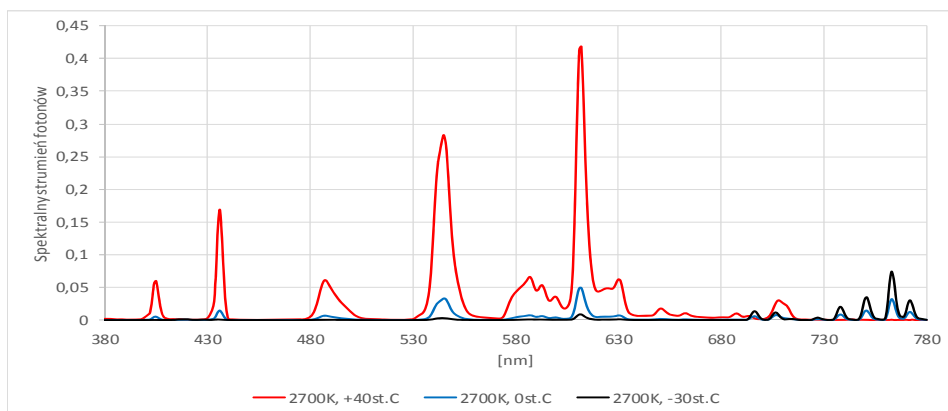
Uzyskane wartości strumienia świetlnego (rys. 2 i 3) badanych świetlówek wskazują, iż maksymalne wartości strumienia świetlnego osiągane są w temperaturze otoczenia około 40°C, niezależnie od mocy oraz temperatury barwowej.

4. ROZKŁAD WIDMOWY PROMIENIOWANIA

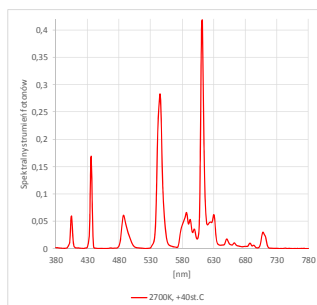
Rozkład widmowy promieniowania emitowanego przez niskociśnieniową rtęciową lampę wyładowczą jest ściśle uzależniony od rodzajów luminoforów użytych w procesie produkcji. W dostępnych produkowanych niskociśnieniowych rtęciowych lampach wyładowczych typu T5 stosowane są luminofory wąskopasmowe o małej granulacji [2, 7, 8, 9, 10] o maksimach emisji mieszczących się w zakresie od 449 nm do 623 nm. Procentowy udział poszczególnych luminoforów wąskopasmowych w proszku fluorescencyjnym decyduje o rozkładzie widmowym promieniowania emitowanego przez niskociśnieniowe rtęciowe lampy wyładowcze.

Ocenę wpływu zmian temperatury otoczenia na rozkład widmowy promieniowania emitowanego przez niskociśnieniowe rtęciowe lampy wyładowcze typu T5 przeprowadzono dokonując pomiaru dla różnych temperatur otoczenia w zakresie od + 50°C do - 30°C dla każdej z badanych lamp. Przykładowy rozkład widmowy promieniowania dla świetlówek o temperaturze barwowej 2700 K oraz 6500 K, dla temperatury otoczenia + 40°C, 0°C i - 30°C przedstawiono na rysunkach 4 i 5.

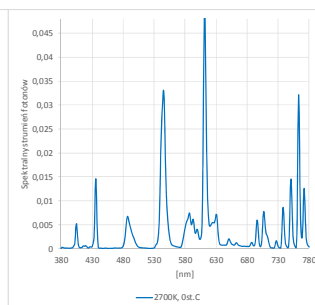
a)



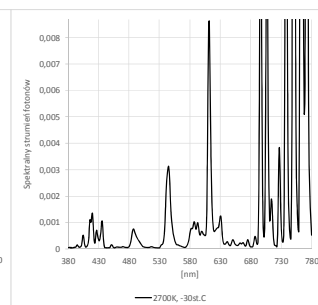
b)



c)

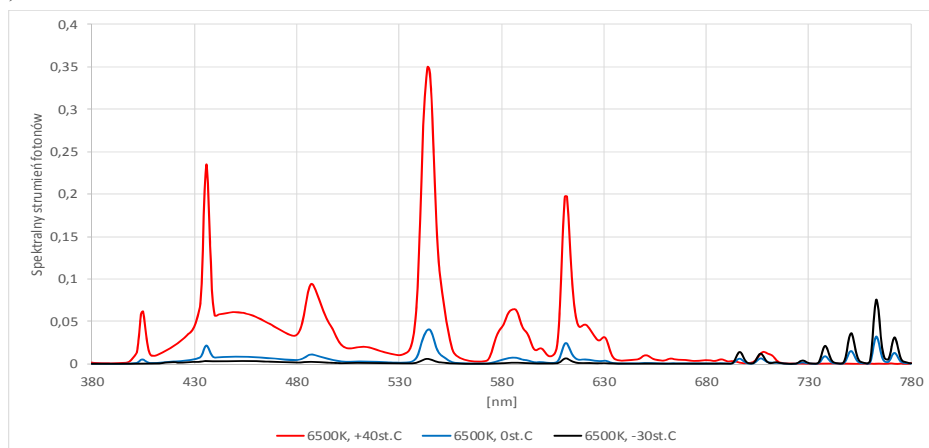


d)

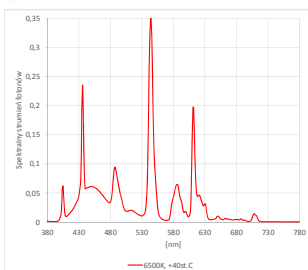


Rys. 4 Rozkład widmowy promieniowania dla niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych o temperaturze barwowej 2700 K: a) dla różnych temperatur otoczenia, b) dla temperatury otoczenia + 40°C, c) dla temperatury otoczenia 0°C, d) dla temperatury otoczenia - 30°C

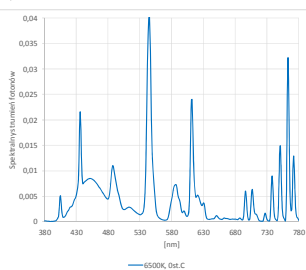
a)



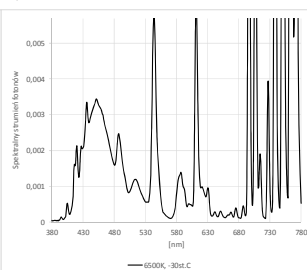
b)



c)



d)



Rys. 5. Rozkład widmowy promieniowania dla niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych o temperaturze barwowej 6500 K: a) dla różnych temperatur otoczenia, b) dla temperatury otoczenia + 40°C, c) dla temperatury otoczenia 0°C, d) dla temperatury otoczenia - 30°C

Analiza rozkładów widmowych promieniowania przedstawionych na rysunkach 4 i 5, jak również analiza rozkładów widmowych promieniowania pozostałych badanych niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych wskazuje, że rozkłady te są silnie uzależnione od temperatury otoczenia. W niskich temperaturach otoczenia energia emitowana jest głównie w paśmie od 730 nm do 780 nm. Tłumaczyć należy to tym, że prężność par rtęci wewnątrz rury wyładowczej jest niska i w obszarze wyładowania świeci głównie gaz neutralny. Wraz ze wzrostem temperatury otoczenia zauważa się wzrost ilości energii emitowanej w paśmie od 380 do 730 nm. Związane jest to ze wzrostem ciśnienia par rtęci, co skutkuje wzrostem emisji promieniowania rezonansowego. Promieniowanie rezonansowe konwertowane jest przez luminofor na promieniowanie widzialne.

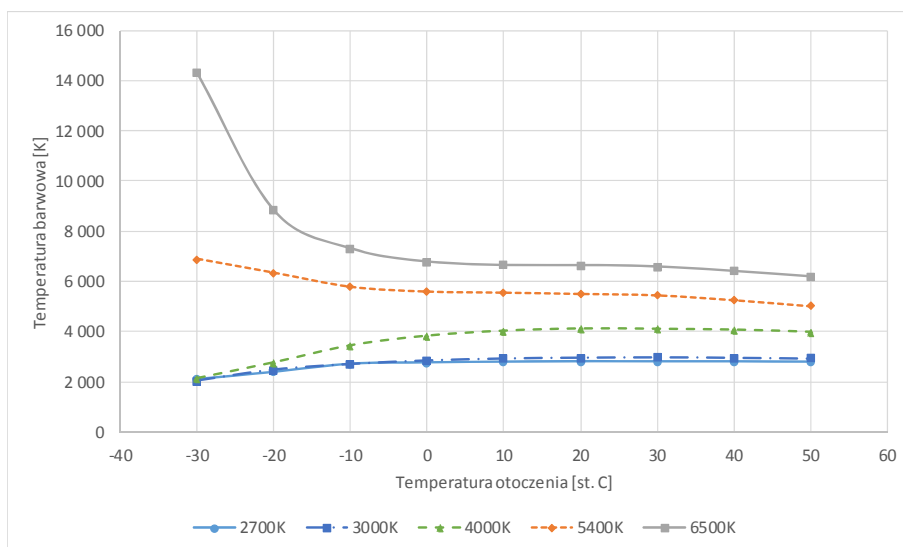
5. TEMPERATURA BARWOWA

Obecnie produkuje się świetlówki typu T5 o temperaturach barwowych w przedziale od 2700 K do 6500 K. W zależności od procentowego udziału luminoforów uży-

tych w proszku fluorescencyjnym uzyskuje się różne rozkłady widma emitowanego promieniowania, a tym samym różne temperatury barwowe światła emitowanego przez poszczególne lampy.

Jak wykazano w rozdziale 4 rozkład widma promieniowania emitowanego przez poszczególne świetlówki bardzo istotnie zależy od temperatury otoczenia, a co za tym idzie temperatura barwowa badanych świetlówek zmienia się wraz ze zmianą temperatury otoczenia.

Zależność zmian temperatury barwowej od temperatury otoczenia przedstawiono na rysunku 6 oraz w tabeli 2.



Rys. 6. Zmiany temperatury barwowej badanych świetlówek w zależności od temperatury otoczenia

TABELA 2

Zmiany temperatury barwowej badanych świetlówek

Temperatura otoczenia	Katalogowa temperatura barwowa badanych świetlówek				
	2700 K	3000 K	4000 K	5400 K	6500 K
[°C]	[K]	[K]	[K]	[K]	[K]
- 30	2 113	2 046	2 151	6 886	14 312
- 20	2 405	2 485	2 779	6 346	8 842
- 10	2 724	2 712	3 455	5 793	7 321
0	2 775	2 854	3 836	5 606	6 795
10	2 810	2 932	4 037	5 562	6 657
20	2 819	2 965	4 122	5 514	6 654
30	2 822	2 982	4 108	5 455	6 595
40	2 817	2 961	4 076	5 263	6 422
50	2 803	2 929	3 992	5 031	6 202

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że spadek temperatury otoczenia powoduje: obniżenie temperatury barwowej dla świetlówek o temperaturze barwowej poniżej 4000 K, natomiast dla świetlówek o temperaturze barwowej powyżej 4000 K obserwuje się wzrost temperatury barwowej. Duży gradient wzrostu obserwuje się dla świetlówek o temperaturze barwowej 6500 K w zakresie zmian temperatury otoczenia od - 10°C do - 30°C.

W zakresie zmian temperatury otoczenia od 0°C do + 50°C skutkuje zmianą temperatury barwowej emitowanego światła dla wszystkich badanych świetlówek niezależnie od temperatury barwowej nie więcej niż o 5% w odniesieniu do temperatury barwowej deklarowanej przez producenta. W zakresie temperatur otoczenia wynoszących od 0°C do - 30°C temperatura barwowa zmienia się średnio o 15 do 35% w odniesieniu do temperatury barwowej deklarowanej przez producenta, a dla świetlówek o temperaturze barwowej powyżej 4000 K zmiana wynosi nawet 120%.

Temperatura barwowa jest wynikiem obliczeń przy wykorzystaniu rachunku trójchromatycznego. Obliczenia wykonywane są z użyciem danych otrzymanych w trakcie pomiarów rozkładu widmowego promieniowania. Wszelkie zmiany w rozkładzie widmowym promieniowania skutkują zmianą temperatury barwowej światła emitowanego przez świetlówki. Korzystając ze wzoru (1) obliczono niepewność względną standardową typu B pomiaru temperatury barwowej, na którą składa się błąd graniczny przyrządu podany w instrukcji producenta. Niepewność względną standardową nie przekracza 2%.

$$u_r(T) = \frac{\Delta_d T}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

gdzie:

$\Delta_d T$ – niepewność wzorcowania przyrządu pomiarowego.

Analiza zmian rozkładu widmowego promieniowania przedstawionego na rysunkach 4b, 4c, 4d (świetlówka o temperaturze barwowej 2700 K) wskazuje, że wraz ze spadkiem temperatury otoczenia następuje zanik emisji wynikającej z absorpcji i emisji promieniowania luminoforu oraz wzrost promieniowania tła. Promieniowanie luminoforu o barwie czerwonej jest dominujące i decyduje o tym, że temperatura barwowa światła emitowanego przez świetlówkę jest cieplejsza.

Analiza zmian rozkładu widmowego promieniowania przedstawionego na rysunkach 5b, 5c, 5d (świetlówka o temperaturze barwowej 6500 K) wskazuje, że wraz ze spadkiem temperatury otoczenia następuje zanik emisji wynikającej z absorpcji i emisji promieniowania luminoforu oraz wzrost promieniowania tła. Promieniowanie luminoforu o barwie niebieskiej jest dominujące i decyduje o tym, że temperatura barwowa światła emitowanego przez świetlówkę staje się chłodniejsza.

Zmiany temperatury barwowej można tłumaczyć różną sprawnością poszczególnych luminoforów w różnych temperaturach otoczenia. Odmienne charakter zmiany temperatury barwowej świetlówek o barwie cieplej oraz zimnej wynika z różnego udziału procentowego poszczególnych luminoforów w proszku fluorescencyjnym.

6. WNIOSKI

Parametry świetlne niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych typu T5 zmieniają się w zależności od temperatury otoczenia. Dotyczy to wszystkich parametrów, których badania przeprowadzono, a w szczególności wartości strumienia świetlnego, rozkładu widmowego promieniowania oraz temperatury barwowej. Mechanizmy tych zmian nie zostały dotychczas precyzyjnie opisane. Rozpoznanie powyższych mechanizmów wymaga przeprowadzenia dodatkowych badań.

Znajomość zależności wartości poszczególnych parametrów świetlnych w funkcji temperatury otoczenia jest przydatna m.in. na etapie projektowania systemów oświetleniowych i może mieć wpływ na wybór konkretnego rozwiązania w zależności od oczekiwanych warunków środowiskowych.

LITERATURA

1. Gabryjelski Z., Kowalski Z.: Sieci i urządzenia oświetleniowe. Politechnika Łódzka, Łódź, 1997.
2. Różowicz A.: Wpływ częstotliwości prądu zasilającego lampy fluorescencyjne na ich wybrane parametry eksploatacyjne. Kielce, Politechnika Świętokrzyska, 2004.
3. Wiśniewski A.: Elektryczne źródła światła, Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2010.
4. Żagan W.: Podstawy techniki świetlnej, Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2005
5. Tabaka P.: Wpływ temperatury otoczenia na właściwości barwowe niskociśnieniowych lamp rtęciowych. Konferencja Lumen v4 2012, Bratislava, Slovakia.
6. Jack A.G., Vrehan Q.H.: The progres of fluorescent lamps. Philips Technical Magazine 43, 1986.
7. Mayer Ch., Discharge lamps. Deventer, Antwerpen, 1988.
8. Różowicz A., Quantities influencing the light ripple depth of fluorescent lamps supplied with A/C voltage of various frequencies, Archives of Electrical Engineering. Vol. LIV, nr 212, s. 193-204, 2005.
9. Różowicz A.: Materiały fluorescencyjne stosowane w niskoprężnych lampach wyładowczych i ich wpływ na tętnienie światła. Przegląd elektrotechniczny, nr 5, s. 451-455, 2004.
10. Godlewski J.: Generacja i detekcja promieniowania optycznego, PWN Warszawa, 1997.

ENVIRONMENTAL IMPACT ON LIGHT PARAMETERS
OF LOW PRESSURE DISCHARGE LAMP RADIATION
EMITTED BY THE MERCURY DISCHARGE LAMP T5

Antoni RÓŻOWICZ, Mariusz DELĄG

ABSTRACT *Currently, the most commonly used light sources are fluorescent lamps T5 type. Light parameters of the lamp depend on the work environment. Most of the research conducted by manufacturers are not published or presented data are very selective.*

The results of the impact of changes in ambient temperature on luminous flux, radiation spectrum and color temperature of T5 fluorescent lamps are presented in the article.

Keywords: *low-pressure mercury discharge lamp, radiation spectrum, color temperature*



Dr hab. inż. Antoni RÓŻOWICZ prof. PŚk – pracuje w Katedrze Urządzeń Elektrycznych i Techniki Świetlnej Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. Studia wyższe ukończył na Wydziale Elektrycznym Politechniki Częstochowskiej w Częstochowie. Doktoryzował się w 1987 r. na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej. Jest autorem wielu publikacji i opracowań naukowo-badawczych z zakresu elektroenergetyki i oświetlenia elektrycznego.

Mgr inż. Mariusz DELĄG – pracuje w Katedrze Urządzeń Elektrycznych i Techniki Świetlnej Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. Studia wyższe ukończył w 2001 r. na Wydziale Elektrycznym Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. Jest autorem publikacji i opracowań naukowo-badawczych z zakresu oświetlenia elektrycznego.

