

WPŁYW TEMPERATURY BARWOWEJ NAJBLIŻSZEJ STANDARDOWYCH LAMP FLUORESCENCYJNYCH NA WARTOŚĆ BŁĘDU f_1 LUKSOMIERZY KLASY A

Przemysław TABAKA¹, Irena FRYC²

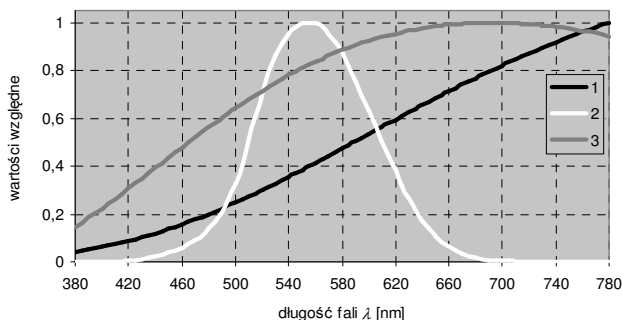
1. Politechnika Łódzka, Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki, Instytut Elektroenergetyki
tel.: 42 631 2610 e-mail: przemyslaw.tabaka@wp.pl
2. Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny, Katedra Elektroenergetyki Fotoniki i Techniki Światłowej
tel: 85 746 9407 e-mail: i.fryc@pb.edu.pl

Streszczenie: W artykule przeanalizowano zagadnienie wpływu barwy promieniowania (opisanej przy użyciu temperatury barwowej najbliższej) emitowanego przez lampy fluorescencyjne (światłówki wzorcowe) na wartość błędu f_1 luksomierzy klasy A. Wskazano, że wartość błędu f_1 , podana przed producenta w specyfikacji miernika, nie może być utożsamiana z różnicą pomiędzy wynikiem pomiaru a wielkością mierzoną tym luksomierzem. Przedstawiono również wyniki badań potwierdzające fakt, iż luksomierze tej samej klasy, nawet o tej samej wartości błędu f_1 , nie gwarantują uzyskania identycznych wskazań pomiarowych wartości natężenia oświetlenia. Wykazano także, że parametr f_1 (błąd korekcji widmowej) służący do klasyfikowania jakości luksomierzy nie może być traktowany jako miara dokładności przeprowadzonego pomiaru.

Słowa kluczowe: natężenie oświetlenia, korekcja widmowa, źródło światła, błąd luksomierza.

1. WPROWADZENIE

W metrologii wielkości świetlnych pomiary natężenia oświetlenia, dokonywane są przenośnymi fotometrami nazywanymi luksomierzami. Zgodnie z zaleceniami Międzynarodowej Komisji Oświetleniowej CIE, jednym z podstawowych wymagań konstrukcyjnych, jakie muszą spełniać luksomierze, jest ocena mierzonego promieniowania, która ma być zgodna z krzywą $V(\lambda)$ czułości widmowej standardowego obserwatora fotometrycznego (rys. 1) [1].



Rys. 1. Względne rozkłady widmowe: 1 – mocy promienistej iluminantu A, 2 – krzywa czułości widmowej $V(\lambda)$, 3 – czułości fotoogniwa krzemowego $Si(\lambda)$

Obecnie w konstrukcji luksomierzy wykorzystuje się półprzewodnikowe fotodiody krzemowe Si (pracujące na zasadzie fotoogniwa). Ich czułość widmowa (rys. 1), znacznie odbiega od wymaganej krzywej $V(\lambda)$. Oznacza to, że w celu dopasowania czułości fotoogniwa $Si(\lambda)$ do krzywej $V(\lambda)$ należy stosować optyczne filtry absorpcyjne. Skorygowanie detektora, na ogół nie jest możliwe przy zastosowaniu pojedynczego filtra. Dlatego, stosuje się zestawy tychże filtrów. Jednakże zarówno ze względów konstrukcyjnych jak i ekonomicznych, nie wykonuje się idealnego dopasowania czułości detektora do krzywej $V(\lambda)$.

2. KLASY LUKSOMIERZY

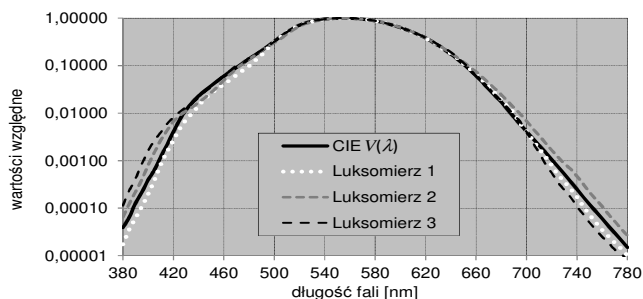
Informacją o jakości dopasowania widmowego luksomierza jest wartość błędu luksomierza f_1 [1]. Jest on wyznaczany na podstawie zależności (1) przy oświetlaniu powierzchni czynnej głowicy fotometrycznej luksomierza światłem iluminantu A (rys. 1) tj. promiennikiem temperaturowym, o temperaturze barwowej T_b wynoszącej 2856 K.

Wartość f_1 jest podstawą do zaszeregowania danego luksomierza do określonej klasy [1]. Informację na temat wartości błędu f_1 producenci podają w specyfikacji luksomierza. Istotnym faktem jest to, że wartość błędu f_1 oraz innych błędów luksomierza, nie może być utożsamiana z niepewnością pomiarową pomiarów natężenia oświetlenia luksomierzem [1].

$$f_1 = \frac{\int_{380}^{780} E_A(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_{380}^{780} E_A(\lambda) S(\lambda) d\lambda} \cdot \frac{\int_{380}^{780} V(\lambda) d\lambda}{\int_{380}^{780} S(\lambda) d\lambda} - 100\% \quad (1)$$

gdzie: $E_A(\lambda)$ – względny rozkład widmowy mocy promieniowania, przy którym przeprowadzono wzorcowanie głowicy fotometrycznej – iluminant A, $V(\lambda)$ – wymagana względna czułość widmowa głowicy fotometrycznej, $S(\lambda)$ – względna rzeczywista czułość widmowa głowicy fotometrycznej.

Za wzorcowe przyrządy laboratoryjne uważane są luksomierze, których wartość błędu f_1' nie przekracza 1,5%. Natomiast podczas weryfikacji parametrów oświetlenia elektrycznego, np. w celu sprawdzenia spełnienia wymagań określonych w normie [2], zazwyczaj wykorzystywane są mierniki klasy B oraz C. Wartości błędu f_1' dla luksomierzy klasy B zawierają się w przedziale $3\% < f_1' \leq 6\%$, a dla mierników klasy C przedział ten wynosi $6\% < f_1' \leq 9\%$. Luksomierze dla których wartość błędu f_1' jest większa od 1,5% ale nie przekracza 3%, zalicza się do fotometrów klasy A. Tego typu mierniki powszechnie stosowane są w laboratoriach fotometrycznych (podczas pomiarów np.: światłości, strumienia świetlnego). Na rysunku 2 zamieszczono krzywe czułości widmowej trzech komercyjnie dostępnych luksomierzy klasy A, o wartościach błędów f_1' wynoszących 2,47% (luksomierz oznaczony nr. 1) oraz 2,86% (luksomierz oznaczony jako 2 oraz luksomierz o nr. 3). Analizując czułości widmowe luksomierzy o nr. 2 oraz o nr. 3 można zauważyć, iż ich czułość widmowa różni się między sobą pomimo identycznej wartości błędu f_1' .



Rys. 2. Względne rozkłady czułości widmowej obserwatora normalnego CIE $V(\lambda)$ oraz trzech luksomierzy klasy A

3. BŁĄD LUKSOMIERZA WYNIKAJĄCY Z MIERZENIA PROMIENIOWANIA ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA O INNYM NIŻ KALIBRACYJNY ROZKŁADZIE WIDMOWYM

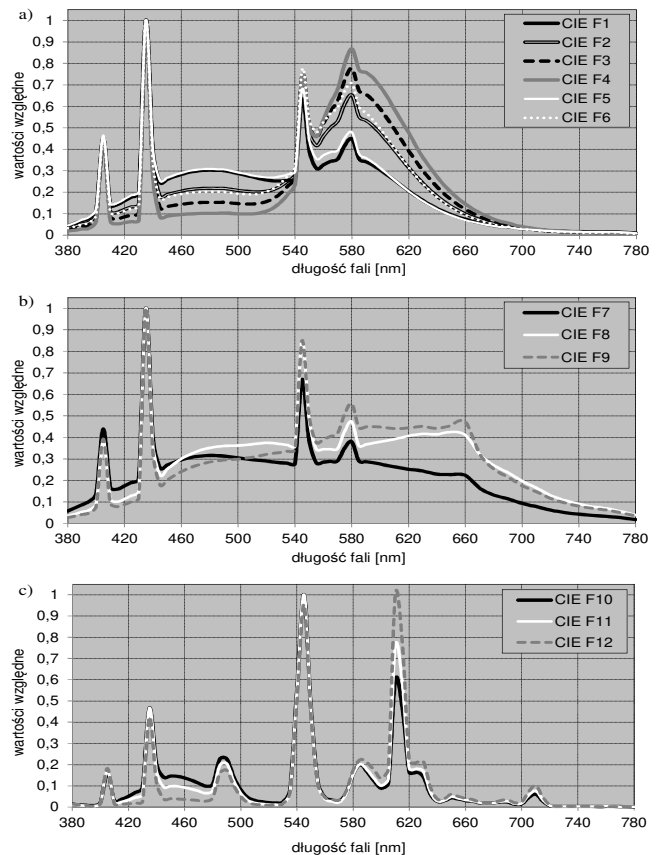
Przy pomiarach natężenia oświetlenia wywołanego światłem emitowanym przez lampy o innym charakterze rozkładu widmowego niż źródło kalibracyjne, CIE [1] zaleca wyznaczenie wartości błędu luksomierza oznaczanego jako f_1 (2).

$$f_1 = \frac{\int_{380}^{780} P_s(\lambda) S(\lambda) d\lambda \int_{380}^{780} E_A(\lambda) S(\lambda) d\lambda}{\int_{380}^{780} P_s(\lambda) V(\lambda) d\lambda \int_{380}^{780} E_A(\lambda) V(\lambda) d\lambda} - 1 \quad (2)$$

gdzie: $P_s(\lambda)$ – względny rozkład widmowy mocy mierzonego promieniowania, reszta oznaczeń identyczna jak zależności 1.

Międzynarodowa Komisja Oświetleniowa CIE, do celów testowania jakości przyrządów pomiarowych wielkości świetlnych, zaleca stosowanie lamp wzorcowych (iluminantów), których rozkłady widmowe są ściśle określone [1]. W celu określenia wartości błędu f_1 luksomierzy klasy A (rys. 2), przy mierzeniu nimi promieniowania emitowanego przez inne niż kalibracyjne źródło światła zastosowano wzorcowe iluminanty F (rys. 3). Pod względem spektralnym odpowiadają one popularnym lampom fluorescencyjnym (świetłówkom). CIE oznaczyła je

symbolami od F1 do F12. Parametry (współrzędne chromatyczne x, y , temperaturę barwową najbliższą T_{bn} oraz wskaźnik oddawania barw R_a [3]) emitowanego przez te lampy promieniowania zestawiono w tabeli 2.



Rys. 3. Względne rozkłady widmowe mocy promienistej świetlówek: a) standardowych, b) szerokopasmowych, c) trójpasmowych

Tabela 2. Parametry promieniowania emitowanego przez wzorcowe iluminanty F

Symbol	Współrzędne chromatyczne		T_{bn} [K]	R_a [-]
	x [-]	y [-]		
Klasyczne				
F1	0,3131	0,3371	6430	76
F2	0,3721	0,3751	4230	64
F3	0,4091	0,3941	3450	57
F4	0,4402	0,4032	2940	51
F5	0,3138	0,3452	6350	72
F6	0,3779	0,3882	4150	59
Szerokopasmowe				
F7	0,3129	0,3292	6500	90
F8	0,3458	0,3586	5000	95
F9	0,3741	0,3727	4150	90
Trójpasmowe				
F10	0,3458	0,3588	5000	81
F11	0,3805	0,3769	4000	83
F12	0,4370	0,4042	3000	83

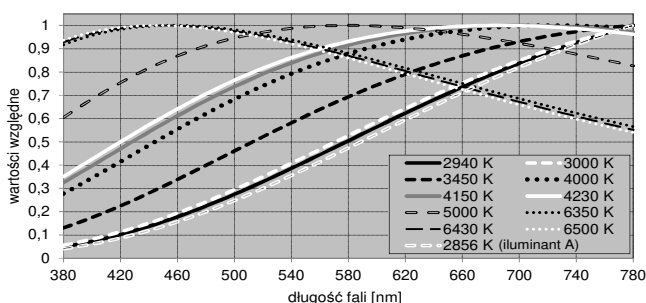
W celu stwierdzenia, czy występuje jakakolwiek korelacja pomiędzy wartością błędu f_1 luksomierza, a temperaturą barwową najbliższą T_{bn} mierzonych źródeł światła przeprowadzono obliczenia wartości tego błędu przy mierzeniu promieniowania emitowanego przez świetłówki wzorcowe (iluminanty F) o określonej temperaturze barwowej oraz promiennik temperaturowy (ciało czarne) o tej samej wartości temperatury barwowej. Rozkład

widmowy ciała czarnego jest opisany prawem Plancka (zal. (3)).

$$u(\lambda) = \frac{2c^2h}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda T}} - 1} \quad (3)$$

gdzie: c – prędkość światła w próżni, h – stała Plancka, λ – długość fali promieniowania, k – stała Boltzmana, T – temperatura ciała czarnego.

W celu porównania wartości błędów f_i , dla trzech głowic pomiarowych luksomierzy, wykorzystano promieniowanie dwunastu iluminantów wzorcowych (F1-F12) i odpowiadające im, pod względem wartości temperatury barwowej, rozkłady widmowe promieniowania emitowanego przez ciało czarne. Względne rozkłady widmowe mocy promienistej ciała czarnego zamieszczono na rysunku 4, a parametry świetlne je charakteryzujące zestawiono w tabeli 3.

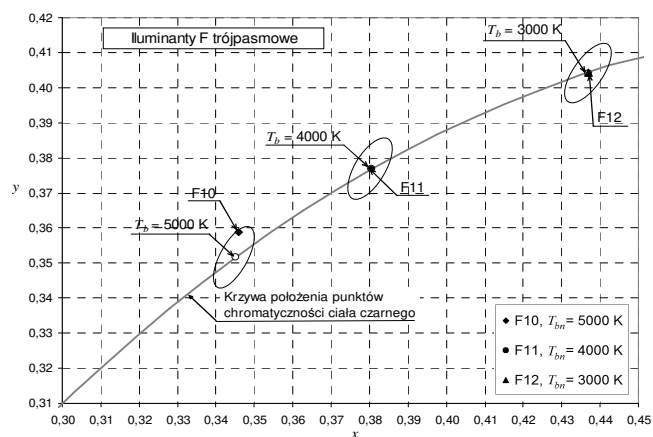
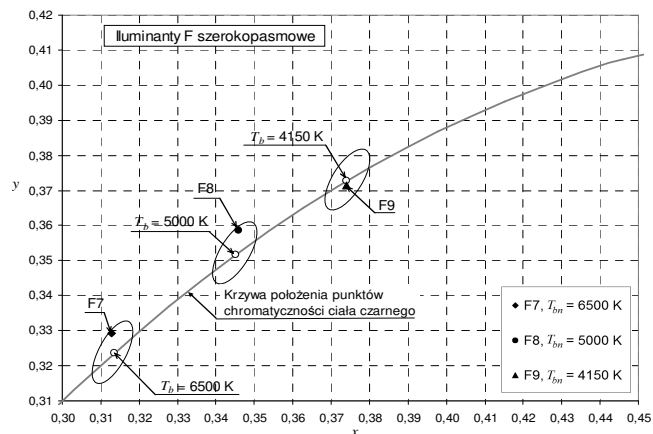
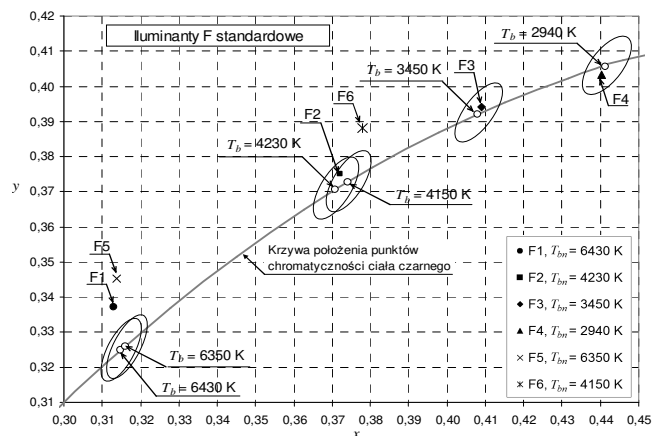


Rys. 4. Rozkłady widmowe promieniowania ciała czarnego oraz iluminantu A

Tabela 3. Parametry promieniowania emitowanego przez ciało doskonale czarne

L.p.	Współrzędne chromatyczne		T_b [K]	R_a [-]
	x [-]	y [-]		
1	0,4413	0,4055	2940	100
2	0,4369	0,4041	3000	100
3	0,4081	0,3921	3450	100
4	0,3805	0,3768	4000	100
5	0,3741	0,3727	4150	100
6	0,3709	0,3706	4230	100
7	0,3451	0,3516	5000	100
8	0,3160	0,3260	6350	98
9	0,3148	0,3248	6430	98
10	0,3136	0,3237	6500	98

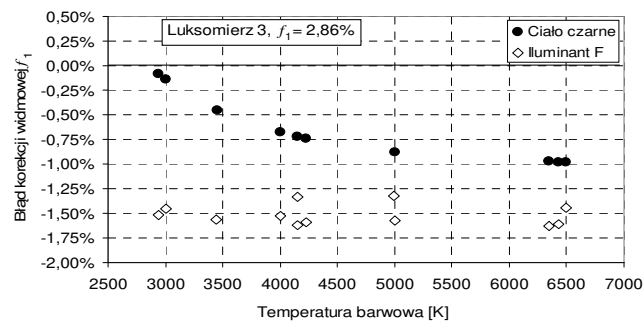
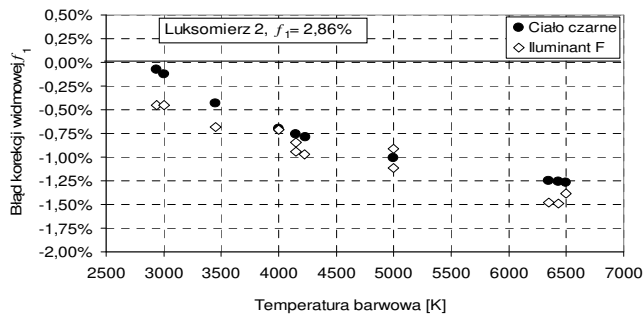
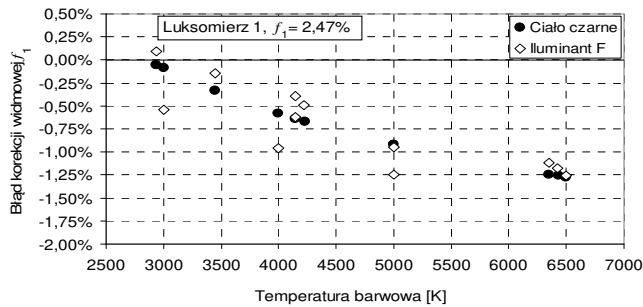
Na rysunku 5 zamieszczono położenie punktów chromatyczności iluminantów F oraz ciała czarnego o odpowiadającym im temperaturom barwowym. Dla poszczególnych punktów chromatycznych ciała czarnego wykreślono elipsy Mac Adama 3-go rzędu. Obrazując one obszar, w którym ludzkie oko nie odczuwa różnicy w odbieranej barwie rozważanych promieniowań. Większość punktów chromatyczności iluminantów F mieści się wewnątrz lub tuż przy granicy 3-ciej elipsy Mac Adama (rys. 5). Jedynie w przypadku świetlówek F1, F5 oraz F6 położenia ich punktów chromatyczności wykraczają poza obszar elipsy. Wskazuje to na fakt, iż występują wizualne różnice w odbieranej przez człowieka barwie światła tych świetlówek a barwie odpowiadających im pod względem wartości temperatury barwowej promienników temperaturowych charakteryzowanych rozkładem Plancka.



Rys. 5. Wykres chromatyczności (x, y) z naniesionymi punktami chromatyczności iluminantów F oraz ciała czarnego, elipsami Mac Adama

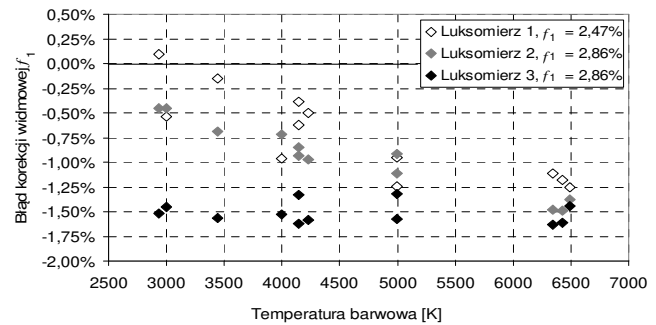
4. WPŁYW TEMPERATURY BARWOWEJ NAJBLIŻSZEJ PROMIENIOWANIA ŚWIETŁÓWKI NA WARTOŚĆ BŁĘDU POMIAROWEGO f_i

Korzystając z zależności (2) obliczono wartości błędów f_i trzech luksomierzy klasy A. Założono, że na powierzchni czynnej głowic fotometrycznych tych luksomierzy pada promieniowanie emitowane przez ciało czarne o określonej temperaturze barwowej, a następnie odpowiadające mu promieniowanie poszczególnych iluminantów F. Zestawienie wartości błędów f_i luksomierza klasy A, dla promieniowania emitowanego przez ciało czarne oraz iluminanty F zamieszczono na rysunku 6. Wartości błędów f_i trzech luksomierzy klasy A dla iluminantów F zamieszczono na rysunku 7.



Rys. 6. Wartości błędów f_1 przy pomiarach luksomierzami klasy A promieniowania emitowanego przez ciało czarne oraz iluminanty F

Dane zestawione na rysunku 6 wskazują, że wartość błędu f_1 luksomierza nie może być wielkością przypisaną do temperatury barwowej źródeł światła, bez uwzględnienia charakteru rozkładu widmowego mierzonego promieniowania. Ta sama wartość temperatury barowej promiennika temperaturowego i świetlówki skutkuje innymi co do wartości błędami f_1 luksomierza. Ponadto, nawet w przypadku luksomierzy o tej samej wartości błędu korekcji widmowej f_1' , wartość błędu f_1 danego luksomierza różni się między sobą (rys. 7) nawet przy rozpatrywaniu tego samego źródła światła



Rys. 7. Wartości błędów f_1 przy pomiarach iluminantów F trzema rozpatrywanymi luksomierzami klasy A

W przypadku luksomierzy 1 i 2 wraz ze wzrostem temperatury barwowej mierzonych świetlówek można zauważyć wzrost błędu f_1 . Tymczasem przy pomiarach realizowanych luksomierzem 3 taka prawidłowość już nie występuje. Z pewnym przybliżeniem można przyjąć, że w przypadku tego luksomierza wartość błędu nie jest zależna od temperatury barwowej lampy.

Wobec faktu, że Międzynarodowa Komisja Oświetleniowa CIE jak dotąd nie opublikowała rozkładów widmowych lamp reprezentujących różne typy źródeł LED, w pracy uwzględniono wyłącznie serię standardowych lamp fluorescencyjnych. Wpływem promieniowania emitowanego przez źródła LED na wyniki pomiarów natężenia oświetlenia autorzy przewidują zająć się kolejnych pracach.

4. WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań wynika, że wartość błędu f_1' podana przed producenta w specyfikacji miernika nie może być utożsamiana z różnicą pomiędzy wynikiem pomiaru a wielkością mierzoną tym luksomierzem. Ponadto mierniki tej samej klasy, a nawet charakteryzujące się tą samą wartością błędu f_1' , nie gwarantują uzyskania z pomiarów tej samej wartości natężenia oświetlenia. Wynika to faktu, iż każdy z luksomierzy nawet te o identycznej wartości błędu f_1' są obciążone inną wartością błędu f_1 .

5. BIBLIOGRAFIA

1. ISO/CIE 19476 Characterization of the performance of illuminance meters and luminance meters
2. PN-EN 12464-1:2012 Światło i oświetlenie
3. PN-E-01005:1990 Technika świetlna – Terminologia.

THE INFLUENCE OF COLOR TEMPERATURE OF STANDARD FLUORESCENT LAMPS ON PARAMETER f_1 OF CLASS A LUXMETERS

In the metrology of light parameters, measurements of light intensity are carried out with portable photometers called luxmeters. In photometric laboratories, class A luxmeters are usually used. When measuring light intensity produced by light source which differs from luxmeter calibration source, the measurement result is having error. The article analyzes the effect of color temperature emitted by CIE standard fluorescent lamps on the class A luxmeters f_1 error value. Also the black body radiation, described by Planck equation) was taken under considerations. It was shown that value of luxmeter f_1 error significantly depends on the type of lamp spectral distribution, as well as on the character of the spectral sensitivity curve of given luxmeter photometric head. It was pointed out that luxmeters of the same class, even characterized by the same vale of f_1' error, do not guarantee identical f_1 luxmeter error. Therefore, the error f_1' , given by the manufacturers of photometric heads, does not provide information on the measurement quality for all kind of light sources which could be measured in contemporary word.

Keywords: illuminance, spectral correction, lamp, luxmeter error.