

*Agnieszka BANASZAK, Justyna WTORKIEWICZ*  
*Okręgowy Urząd Miar w Łodzi*  
*Przemysław TABAKA*  
*Politechnika Łódzka*  
*Instytut Elektroenergetyki*

## **ANALIZA WYBRANYCH WŁAŚCIWOŚCI RÓŻNYCH TYPÓW LUKSOMIERZY**

W referacie przeanalizowano wybrane właściwości metrologiczne niektórych typów luksomierzy powszechnie używanych podczas weryfikacji parametrów oświetlenia we wnętrzach. Na podstawie przeprowadzonych badań wyznaczono: błędy względne oraz błędy kosinusowe luksomierzy a także współczynniki (wskaźniki) korekcji barwy. Pomiary uzupełniono rejestracją rozkładów widmowych źródeł światła wykorzystanych podczas pomiarów eksperymentalnych.

### **ANALYSIS OF THE CHOSEN ATTRIBUTES OF DIFFERENT TYPES OF LUXMETERS**

On the grounds of the performed laboratory measurements, the chosen metrological attributes of commonly used luxmeters during the indoor verification of lighting parameters were analysed in the article. The relative and cosine errors as well as the colour correction coefficients (factors) were set down based on the carried out measurements. They were complemented with the registration of the spectral concentration locus of the light sources used during the experimental measurements.

#### **1. WSTĘP**

W warunkach niedostatecznego lub całkowitego braku oświetlenia dziennego zachodzi konieczność zastosowania oświetlenia sztucznego. Podstawową i w praktyce jedyną wielkością mierzoną, podczas weryfikacji parametrów oświetlenia elektrycznego we wnętrzach, jest natężenie oświetlenia, które mierzy się za pomocą luksomierza. Aby rejestrowane przez luksomierz natężenie oświetlenia odpowiadało wartości odniesienia, przyrząd ten musi spełniać szereg wymagań. Do najważniejszych z nich należy skorygowanie główicy fotometrycznej luksomierza pod względem widmowym i przestrzennym.

Podczas weryfikacji natężenia oświetlenia zaleca się, aby używane fotometry były wywzorcowane. Powszechnie uważa się, że gwarancją prawidłowości wskazań jest świadectwo wzorcowania luksomierza. Warto jednak podkreślić, że do wzorcowania luksomierzy używa się wzorców światłości w postaci lamp żarowych o temperaturze barwowej  $T_c = 2856$  K. Obecnie do oświetlania wnętrz stosuje się źródła światła o rozkładzie widmowym różnym od rozkładu widmowego iluminantu A. Fakt ten może być źródłem błędów pomiarowych, których wartości będą zależeć od stopnia dopasowania czułości widmowej fotoogniwa do krzywej  $V_\lambda$ . Kolejnym czynnikiem wpływającym na dokładność pomiarów jest tzw. korekcja kosinusowa, której zadaniem jest eliminowanie błędów pomiarów wynikających z promieniowania padającego pod kątem innym niż  $0^\circ$ . Zagadnienia dotyczące korekcji widmowej i przestrzennej głowic fotometrycznych luksomierzy są dobrze znane. Niestety w praktyce pomiarowej coraz częściej wykorzystywane są fotometry, które charakteryzują się niską jakością w obszarze dopasowania widmowego i przestrzennego.

## 2. PRZEDMIOT I ZAKRES BADAŃ

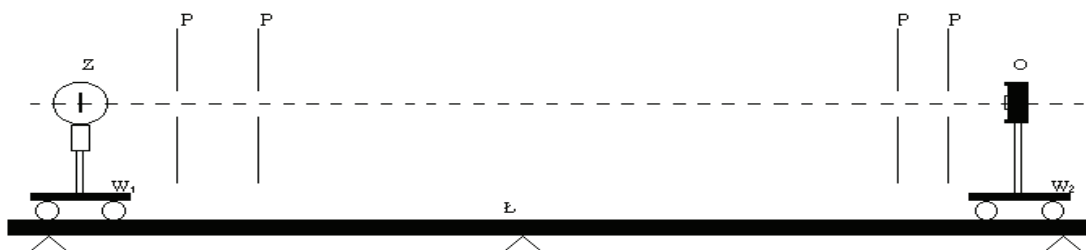
Pomiarom poddano siedem różnych typów luksomierzy. Na potrzeby referatu poszczególnym fotometrom nadano numery od I do VII. W specyfikacjach technicznych luksomierzy producenci między innymi podają informację odnośnie: przedziału wskazań, zakresów pomiarowych i rozdzielczości wskazań, błędu niedopasowania widmowego  $f_1$  oraz błędu niedopasowania kierunkowego  $f_2$ .

Zakres badań, który przeprowadzono w odniesieniu do siedmiu typów luksomierzy obejmował: wzorcowanie fotometrów, zarejestrowanie wskazań luksomierzy dla wiązki świetlnej padającej na głowicę fotometryczną pod różnymi kątami  $\varepsilon$  oraz zarejestrowanie wskazań luksomierzy przy oświetlaniu głowicy fotometrycznej źródłami światła o różnych rozkładach widmowych. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wyznaczono: błędy względne wskazań oraz błędy kosinusowe luksomierzy a także współczynniki korekcji barwy. Pomiary uzupełniono rejestracją krzywych rozkładów widmowych źródeł światła wykorzystanych podczas pomiarów eksperymentalnych.

## 3. METODYKA I SPOSÓB PRZEPROWADZENIA BADAŃ

### 3.1. Wzorcowanie luksomierzy

Wszystkie badania przeprowadzono w akredytowanym laboratorium wzorcującym nr AP 087, znajdującym się w Okręgowym Urzędzie Miar w Łodzi. Wzorcowanie luksomierzy wykonano zgodnie z opracowaną instrukcją wzorcowania. Stanowisko pomiarowe spełnia wymagania Polskiej Normy PN-91/E-04040/02 [2]. Metoda wzorcowania luksomierzy polega na bezpośrednim porównaniu wskazań wzorcowanego luksomierza z wartościami natężenia oświetlenia realizowanymi za pomocą wzorców światłości kierunkowej o temperaturze barwowej  $T_c = 2856$  K.



Rys. 1. Schemat stanowiska do wzorcowania luksomierzy:  $L$  – ława fotometryczna,  $W_1$  – wózek z uchwytem do mocowania wzorców światłości,  $W_2$  – wózek pomiarowy z uchwytem do mocowania głowicy fotometrycznej wzorcowanego luksomierza,  $Z$  – wzorec światłości,  $O$  – głowica fotometryczna wzorcowanego luksomierza,  $P$  – przesłony fotometryczne  
 Fig. 1. Position used to calibrate of luxmeters:  $L$  – photometer bench,  $W_1$  – holder for light source,  $W_2$  – holder for photometric head of luxmeter,  $Z$  – light source,  $O$  – photometric head,  $P$  – baffles

Wartości natężenia oświetlenia wyznaczono zgodnie ze wzorem:

$$E = \frac{I\Omega_0}{d^2}, \quad (1)$$

gdzie:  $E$  – natężenie oświetlenia w płaszczyźnie odbioru głowicy fotometrycznej luksomierza,  $I$  – światłość kierunkowa wzorca światłości wyrażona w kandelach,  $d$  – odległość pomiędzy wzorcem światłości a powierzchnią odbioru głowicy fotometrycznej luksomierza,  $\Omega_0$  – jednostkowy kąt bryłowy.

### 3.2. Wyznaczenie błędów kosinusowych dla ogniów fotometrycznych luksomierzy

Błędy kosinusowe odbiorników badanych luksomierzy wyznaczono w dwóch półpłaszczyznach, w przedziale kątowym  $0^\circ \leq \varepsilon \leq 85^\circ$ , z częstością co 5 stopni, dla jednej wartości kąta azymutowego. Głowicę fotometryczną badanego luksomierza umieszczono na ławie fotometrycznej na wózku zaopatrzonej w goniometr. Goniometr pozwolił ustawić głowicę pod określonym kątem w stosunku do osi optycznej ławy. Po włączeniu i ustabilizowaniu się parametrów elektrycznych wzorca światłości ustawiono głowicę luksomierza pod kątem  $0^\circ$  w stosunku do osi optycznej. Głowicę ustawiono w wybranym punkcie zakresu pomiarowego (100 lx), po czym odczytano i zapisano odpowiadającą temu ustawieniu odległość  $r_o$ . Następnie skręcano głowicę o kąt  $\varepsilon$  względem osi optycznej ławy, przesunięto wózek z luksomierzem do położenia, w którym wskazanie luksomierza odpowiadało wybranemu poprzednio punktowi 100 lx, następnie odczytano i zapisano odległość  $r_\varepsilon$ . Pomiarów wykonano dla kolejnych kątów z zakresu  $0^\circ \leq \varepsilon \leq 85^\circ$ .

### 3.3. Metodyka wyznaczania współczynników (wskaźników) korekcji widmowej

W celu wyznaczenia współczynników korekcji widmowej na ławie fotometrycznej ustawiono wzorzec światłości o temperaturze barwowej najbliższej  $T_c = 2856 \text{ K}$  oraz wózek z uchwytem pozwalającym na jednoczesne zamocowanie ogniwa fotometrycznego badanego luksomierza oraz ogniwa fotometrycznego luksomierza odniesienia. Powierzchnie czynne ogniów fotometrycznych ustawiono w tej samej płaszczyźnie pionowej, prostopadłej do osi optycznej ławy. Za pomocą uchwyty na ławie fotometrycznej umieszczano kolejno w strumieniu wzorca światłości oraz pozostałych źródeł światła luksomierz odniesienia a następnie luksomierz badany.

## 4. WYNIKI PRZEPROWADZONYCH POMIARÓW LABORATORYJNYCH

### 4.1. Wyniki wzorcowania

Dla każdego z luksomierzy obliczono błąd względny  $e_w$  wskazania luksomierza zgodnie ze wzorem:

$$e_w = \frac{(X - X_p)}{X} \cdot 100\%, \quad (2)$$

gdzie:  $X$  – wartość wskazana na wzorcowanym luksomierzu,  $X_p$  – wartość odniesienia obliczona na podstawie świadectwa wzorcowania wzorca światłości.

W tabelach nr 1 i nr 2 przedstawiono błędy względne wskazań luksomierzy w zestawieniu z błędami całkowitymi lub dokładnościami deklarowanymi przez producentów konkretnych luksomierzy.

Tabela 1

Błędy: względne oraz całkowite luksomierzy które poddano badaniom – część 1

Lp.	Punkt pomiarowy	Badane luksomierze					
		I		II		III	
		Błąd względny %	Błąd całkowity %	Błąd względny %	Błąd całkowity %	Błąd względny %	Błąd całkowity %
1	200 lx	0,3	2,5	0,5	2,5	1,0	3,5
2	2000 lx	0,4		1,4			
3	10 000 lx	0,5		0,9		-	

Tabela 2

Błędy względne oraz dokładności luksomierzy które poddano badaniom – część 2

Lp.	Punkt pomiarowy	Badane luksomierze							
		IV		V		VI		VII	
		Błąd względny %	Dok. %	Błąd względny %	Dok. %	Błąd względny %	Dok. %	Błąd względny %	Dok. %
1	200 lx	2,0	5,5	4,5	5,0	1,5	6,0	4,5	8,0
2	2000 lx	1,8	5,5	6,0	5,0	1,6	6,0	4,9	8,0
3	10 000 lx	3,3	6,0	6,7	4,2	0,2	5,2	4,4	4,0

Dok.-dokładność

Dla każdego punktu pomiarowego oszacowano niepewność pomiaru na poziomie 2,3%.

#### 4.2. Błędy kosinusowe

Odpowiedź luksomierza na padające promieniowanie powinna być zgodna z funkcją kosinusa kąta padania promieniowania na powierzchnię czynną głowicy fotometrycznej luksomierza zgodnie z poniższym wzorem:

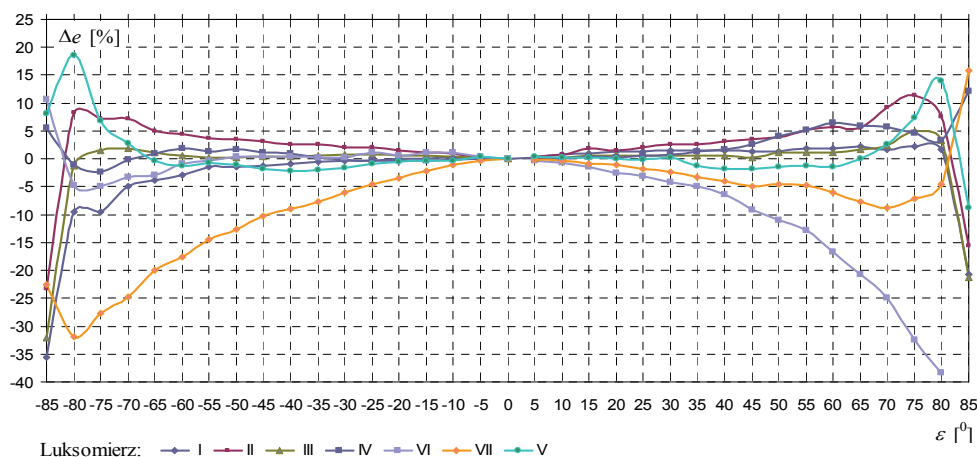
$$E(\varepsilon) = E(0) \cdot \cos \varepsilon, \quad (3)$$

gdzie:  $E(0)$  – jest odpowiedzią luksomierza oświetlanego promieniowaniem padającym na powierzchnię czynną pod kątem  $0^\circ$ .

Błąd kosinusowy  $\Delta e$  luksomierza wyznaczono z zależności:

$$\Delta e = e_\varepsilon - e_0, \quad (4)$$

gdzie:  $e_\varepsilon$  – błąd luksomierza przy głowicy fotometrycznej luksomierza skróconej o kąt  $\varepsilon$ ,  $e_0$  – błąd luksomierza przy prostokątnym oświetleniu głowicy fotometrycznej luksomierza.



Rys. 2. Błędy kosinusowe luksomierzy  
Fig. 2. Cosine errors of luxmeters

Poprawna odpowiedź kosinusowa głowicy fotometrycznej luksomierza jest jedną z istotnych właściwości warunkujących wykonanie pomiarów oświetlenia we właściwy sposób. Podczas wzorcowania luksomierzy wykonywanego w warunkach laboratoryjnych element światłoczuły luksomierza jest oświetlany pod kątem 0 stopnia. Wzorcowanie nie daje więc informacji o charakterystyce odpowiedzi kątowej luksomierza.

### 4.3. Wyznaczenie współczynników (wskaźników) korekcji widmowej

Dla każdego zastosowanego źródła światła obliczono współczynniki korekcji widmowej korzystając z zależności:

$$K = \frac{E_{WB} \cdot E_{SW}}{E_{SB} \cdot E_{WW}}, \quad (5)$$

gdzie:  $E_{WW}$  – natężenie oświetlenia na powierzchni ogniwa fotometrycznego luksomierza odniesienia przy użyciu wzorca światłości o temperaturze barwowej najbliższej  $T_c = 2856$  K,  $E_{WB}$  – natężenie oświetlenia na powierzchni ogniwa fotometrycznego luksomierza odniesienia przy użyciu źródła światłości nie będącego iluminantem A,  $E_{SW}$  – natężenie oświetlenia na powierzchni ogniwa fotometrycznego badanego luksomierza przy użyciu wzorca światłości o temperaturze barwowej najbliższej  $T_c = 2856$  K,  $E_{SB}$  – natężenie oświetlenia na powierzchni ogniwa fotometrycznego badanego luksomierza przy użyciu źródła światłości nie będącego iluminantem A.

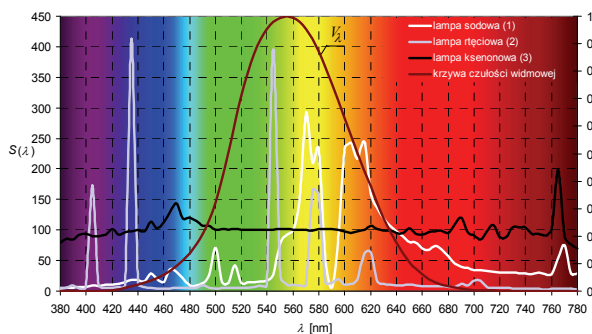
Tabela 3

Współczynniki korekcji barwowej dla badanych luksomierzy

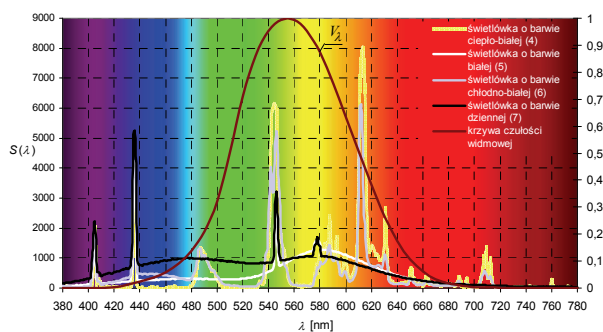
Źródło światła	Badane luksomierze						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Wysokoprężna lampa sodowa	0,99	1,00	0,99	1,25	0,99	1,05	1,04
Wysokoprężna lampa rtęciowa	1,00	1,00	1,01	1,34	0,98	1,09	1,08
Lampa ksenonowa	1,00	1,01	1,01	0,99	1,00	0,85	0,85
Świetlówka liniowa (barwa ciepła)	0,99	0,99	0,99	1,17	1,01	0,90	0,90
Świetlówka liniowa (barwa chłodno-biała)	1,00	1,00	0,99	1,25	1,03	1,00	1,03
Świetlówka liniowa (barwa dzienna)	1,00	1,01	1,00	1,29	1,01	1,06	1,08
LED (barwa ciepła)	0,99	1,01	0,99	1,26	1,01	1,08	1,09
LED (barwa biała)	0,99	1,01	1,00	1,26	1,00	1,06	1,05
LED (barwa zimna)	1,00	1,01	1,01	1,14	1,03	0,90	0,91
LED niebieski	1,06	1,05	1,19	0,35	2,64	0,23	0,29
LED zielony	1,00	1,05	1,05	1,42	0,89	1,08	0,81
LED czerwony	0,99	0,94	0,95	0,79	1,30	0,93	1,63

### 4.4. Właściwości barwowe elektrycznych źródeł światła

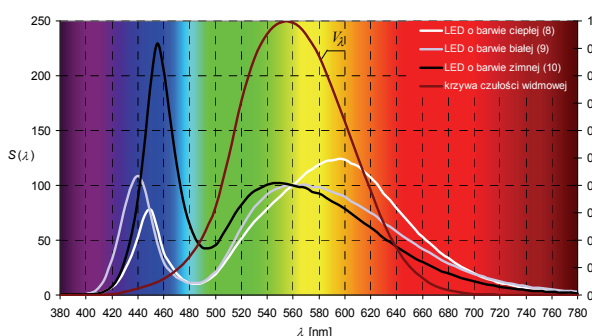
W odniesieniu do poszczególnych źródeł światła, którymi oświetlano powierzchnię światłoczułą luksomierza, przeprowadzono pomiary spektrometryczne w zakresie 380÷780 nm.



Rys. 3. Krzywe rozkładów widmowych wybranych lamp wyładowczych  
Fig. 3. Light emission spectrum of discharge lamps



Rys. 4. Krzywe rozkładów widmowych świetlówek liniowych  
Fig. 4. Light emission spectrum of fluorescent lamps



Rys. 5. Krzywe rozkładów widmowych źródeł LED  
Fig. 5. Light emission spectrum of LEDs

## 5. WNIOSKI

Podczas wykonywania pomiarów w różnego typu pomieszczeniach strumień świetlny pada na głowicę fotometryczną luksomierza pod różnymi kątami. Błąd systematyczny związany z nieprawidłową odpowiedzią kosinusową głowicy fotometrycznej luksomierza może w znaczny sposób wpływać na wyniki pomiarów wykonywanych w warunkach oświetlenia rozproszonego. W większości przypadków użytkownik przyrządu nie ma świadomości występowania związanego z tym błędem statystycznego. Często producenci w specyfikacjach technicznych podają błąd niedopasowania widmowego dużo niższy niż jest on w rzeczywistości. Kierowanie się specyfikacją techniczną producenta przy wyborze luksomierza jest w takiej sytuacji niewystarczające, ponieważ niejednokrotnie wartości w nich podane są zaniżone lub podane orientacyjnie. Kilka lat temu legalizacja była skutecznym narzędziem eliminującym mierniki o niskiej jakości. Obecnie takich ograniczeń nie ma, a niepokojący jest fakt, że w ostatnich latach obserwuje się w laboratoriach wzorcujących dużą rozbieżność w jakości luksomierzy zgłaszanych do wzorcowania.

## LITERATURA

1. Pietrzykowski J.: Pomiary promieniowania optycznego, Technika Świetlna' 09, Poradnik - Informator tom 1, 2009 r.
2. PN-91/E-04040/02 Pomiary promieniowania optycznego. Pomiary fotometryczne. PN-89/E-04040/00 Pomiary promieniowania optycznego. Pomiary fotometryczne. Wymagania ogólne.
3. PN-89/E-04040/00 Pomiary promieniowania optycznego. Pomiary fotometryczne. Wymagania ogólne.
4. Fryc I.: Korekcja widmowa i przestrzenna fotometrów, Rozprawy Naukowe Nr 71, Politechnika Białostocka, Białystok 2000 r.