

mgr inż. ANDRZEJ PAWLAK
 Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
 Kontakt: anpaw@ciop.pl
 dr inż. MAŁGORZATA ZALESIŃSKA
 Politechnika Poznańska
 Kontakt: malgorzata.zalesinska@put.poznan.pl
 DOI: 10.5604/01377043.1224318

Ocena parametrów użytkowych wybranych źródeł światła – zamienników tradycyjnych żarówek

W artykule opisano wyniki badań, na podstawie których wyznaczono i oceniono podstawowe parametry fotometryczne, kolorymetryczne i elektryczne wybranych, ogólnodostępnych źródeł światła, które były zamiennikami tradycyjnej żarówki o mocy 60 W. Zbadano jedną żarówkę halogenową, trzy świetlówki kompaktowe oraz jedenaście źródeł LED. Generalnie stwierdzono, że w większości przypadków, zwłaszcza źródeł markowych producentów, parametry zmierzone i obliczone w niewielkim stopniu różnią się do deklarowanych przez producentów. Najkorzystniejszym zamiennikiem żarówek tradycyjnych są źródła LED, zarówno ze względu na swoje parametry użytkowe, jak i cenę, porównywalną z ceną świetlówek kompaktowych, a w niektórych przypadkach nawet niższą.

Słowa kluczowe: diody elektroluminescencyjne (LED), parametry fotometryczne, kolorymetryczne i elektryczne źródła światła, zamienniki żarówek, źródła światła do użytku domowego

Evaluation of operational parameters of light sources for general lighting

This article presents test results, which were used in defining and evaluating basic photometric, colorimetric and electric parameters of selected, widely available light sources equivalent to a traditional incandescent 60-Watt light bulb. One halogen light bulb, three compact fluorescent lamps and eleven LED light sources were tested. In most cases (in brand name products, in particular) the measured and calculated parameters differ from values declared by manufacturers only to a small degree. LED sources prove to be the most beneficial substitute for traditional light bulbs, considering both their operational parameters and their price, which is comparable with the price of compact fluorescent lamps or, in some instances, even lower.

Keywords: bulb replacement, colorimetric and electric parameters of light sources, light-emitting diode (LED), light sources for households, photometric

Wstęp

Na rynku jest obecnie dostępnych wiele rodzajów źródeł oświetlenia alternatywnych wobec tradycyjnej żarówki. Jedne z nich to energooszczędne świetlówki kompaktowe, które – w porównaniu z tradycyjnymi żarówkami – zużywają do 80% mniej energii elektrycznej i mają od 6 do około 12 razy większą trwałość. Druga grupa to nowa generacja żarówek halogenowych, które zużywają około 20% mniej energii elektrycznej niż tradycyjne i świecą dwukrotnie dłużej. Ostatnia grupa to źródła światła, w których zastosowano technologie w zakresie wykorzystania właściwości fizycznych ciała stałego – czyli diody elektroluminescencyjne (LED).

Zapewniają one największe oszczędności w zużyciu energii elektrycznej (ponad 80%), osiągając jednocześnie trwałość od 10 do 30 razy większą niż żarówki tradycyjne.

Od 1 września 2016 r., zgodnie z Rozporządzeniem Komisji UE, z rynku Unii Europejskiej zostały wycofane wszystkie żarówki o mocy powyżej 7 W [1]. W związku z tym użytkownicy źródeł żarowych zmuszeni są do stosowania ich zamienników. Dotyczy to zarówno pracowników stosujących je do oświetlenia swoich stanowisk pracy (np. oprawy oświetlenia miejscowego przystosowane do źródeł z gwintem E 27), jak i gospodarstw domowych z dużą liczbą żyrandoli czy oświetlenia akcentowego. Zwykle wybór zamiennika tradycyjnej żarówki

dokonywany jest przez użytkownika na podstawie zastosowanej w niej technologii wytwarzania światła, ceny i/lub zadeklarowanych przez producenta parametrów, takich jak: moc znamionowa, moc równoważna żarówki, barwa światła.

W przypadku zastosowania zamienników przeznaczonych do oświetlenia stanowisk pracy należy zwrócić uwagę, aby spełniały one wymagania normatywne [2]. Dotyczy to nie tylko poziomu natężenia oświetlenia i jego równomierności, ale również prawidłowo dobranej wartości wskaźnika oddawania barw. Stosując źródła LED trzeba pamiętać, aby ich barwa (temperatura barwowa) była ciepła – 2 700 K, maksymalnie 3 000 K, co wynika z psychofizjologii naszego wzroku przy średnich poziomach natę-



Fot. 1. Badana żarówka halogenowa
Photo 1. View of the tested halogen light bulb

żenia oświetlenia (300 – 500 lx). Wybór wartości tego parametru zależy również od barwy wnętrza i mebli, otaczającego klimatu i przeznaczenia [2]. Ma on również w dużej mierze wpływ na wygodę widzenia pracowników.

Celem artykułu jest opisanie wyników badań, które pozwoliły na wyznaczenie i ocenę podstawowych parametrów fotometrycznych, kolorymetrycznych i elektrycznych wybranych źródeł światła. Na podstawie uzyskanych wyników dokonano sprawdzenia deklaracji producenta w zakresie badanych parametrów oraz zgodności deklaracji z obowiązującymi rozporządzeniami [1,3,4] i normami [5-8]. Badania nie dotyczyły sprawdzenia trwałości źródeł, utrzymania strumienia świetlnego w czasie eksploatacji oraz liczby cykli włącz/wyłącz.

Dobór źródeł światła do badań

Do badań wybrano różnego rodzaju bezkierunkowe, powszechnie dostępne źródła światła, które zgodnie z deklaracją producenta są zamiennikami tradycyjnych, do niedawna stosowanych żarówek o mocy 60 W. Źródła te wytypowano do badań wg następujących założeń:

- określono grupy źródeł, które mogą być zamiennikami żarówek tradycyjnych, tj. świetlówki kompaktowe, żarówki halogenowe oraz źródła LED
- określono grupy konstrukcyjne:
 - żarówki halogenowe nowej generacji – zamontowane w typowych bańkach tradycyjnych żarówek (fot. 1.)
 - świetlówki kompaktowe: z nieosłoniętymi rurkami oraz z dodatkową bańką osłaniającą rurki (fot. 2.)
 - źródła LED o kącie rozsyłu strumienia świetlnego > 120° (fot. 3.)
- źródła o ciepłej barwie światła
- źródła światła pochodzące od różnych producentów – tzw. markowych (np. Philips, Piła, Osram, GE) oraz tzw. „niefirmowych” (dalekowschodnich)
- łatwa dostępność na rynku



Fot. 2. Badane świetlówki kompaktowe
Photo 2. View of the tested compact fluorescent lamp

- niska lub umiarkowana cena
- źródła z gwintem E 27
- wszystkie źródła przewidziane do zasilania napięciem sieciowym.

W sumie zbadano 16 sztuk źródeł światła, w tym jedną żarówkę tradycyjną.

Parametry użytkowe źródeł światła

Podstawowe parametry użytkowe źródeł światła stanowiących zamienniki tradycyjnych żarówek to: moc źródła, strumień świetlny, trwałość oraz temperatura barwowa i wskaźnik oddawania barw, czas nagrzewania, moc równoważna żarówki tradycyjnej i wskaźnik efektywności energetycznej. Dane te producenci podają na opakowaniu – obowiązek ten wynika z zapisów zawartych w rozporządzeniu [3].

• **Moc źródła [W]** to moc, którą pobiera rozpatrywane źródło światła z sieci zasilającej. W przypadku źródeł światła do użytku domowego jest to zwykle moc mierzona na zaciskach oprawki. Normy [5-8] określają dopuszczalną maksymalną wartość mocy, którą może posiadać badane źródło światła względem deklaracji producenta. Dopuszczalna różnica mocy zależna jest od rodzaju źródła światła.

Maksymalne dopuszczalne wartości mocy w odniesieniu do powszechnie stosowanych źródeł światła zestawiono w tabeli 1.

• **Strumień świetlny (znamionowy) [lm]** to całkowita ilość światła emitowanego z danego źródła, deklarowana przez wytwórcę, przy zachowaniu znamionowych warunków pracy. Dopuszczalną minimalną wartość strumienia świetlnego w odniesieniu do danego typu źródła światła precyzują normy przedmiotowe [5-8]. Minimalne wartości strumienia świetlnego w kontekście badanych źródeł światła zestawiono w tabeli 1.

• **Moc równoważna żarówki [W]** to wartość szacunkowa, która świadczy o stopniu energooszczędności danego źródła. Wartość mocy równoważnej żarówki (w zaokrągleniu do 1 W) określa się na podstawie wartości zmierzonego strumienia świetlnego jej zamiennika. Oceny deklaracji producenta dotyczącej tego parametru dokonano na podstawie rozporządzenia [3]. W tabeli 1. podano wymaganą wartość strumienia świetlnego w stosunku do zamienników tradycyjnych żarówek.

Tabela 1. Dopuszczalne różnice mocy oraz strumienia świetlnego w odniesieniu do deklaracji producenta [2, 5, 6, 7, 8]
Table 1. Acceptable differences in power and luminous flux with reference to values declared by manufacturers [2, 5, 6, 7, 8]

Parametr	Żarówki tradycyjne	Żarówki halogenowe	Świetlówki kompaktowe zintegrowane	Źródła LED
Minimalna wartość strumienia świetlnego w % wartości deklarowanej	95	90	90	90
Maksymalna wartość mocy w % wartości deklarowanej	104	108	115	110
Strumień świetlny równoważny dla żarówki tradycyjnej o mocy 60 W	710	702	741	806

Tabela 2. Klasy efektywności energetycznej bezkierunkowych źródeł światła [4]
Table 2. Energy efficiency class of non-directional lamps [4]

Klasa efektywności energetycznej	Wskaźnik efektywności energetycznej (EEI) dla lamp bezkierunkowych
A++ (największa efektywność)	EEI ≤ 0,11
A+	0,11 < EEI ≤ 0,17
A	0,17 < EEI ≤ 0,24
B	0,24 < EEI ≤ 0,60
C	0,60 < EEI ≤ 0,80
D	0,80 < EEI ≤ 0,95
E (najmniejsza efektywność)	EEI > 0,95



Fot. 3. Badane źródła LED
Photo 3. View of the tested LED light sources

• **Skuteczność świetlna** [lm/W] jest miarą efektywności źródeł światła. Jest to stosunek emitowanego strumienia świetlnego do pobieranej mocy (z uwzględnieniem strat w układzie stabilizacyjno-zapłonowym, gdy jest on niezbędny do normalnej pracy lampy). Wartość tego parametru świadczy o zużyciu energii elektrycznej: im jest większa, tym bardziej energooszczędne jest dane źródło światła. Odzwierciedleniem wartości skuteczności świetlnej jest klasa efektywności energetycznej. Zgodnie z [5] skuteczność świetlna źródła LED nie powinna być mniejsza niż 80% znamionowej skuteczności świetlnej zadeklarowanej przez producenta.

• **Klasa efektywności energetycznej** określa energooszczędność urządzenia i podawana jest na etykiecie efektywności energetycznej jako wartość wyrażona literowo na umownie przyjętej skali od litery A++ (określającej urządzenia najbardziej energooszczędne), a kończy na literze E (najmniej energooszczędne).

Klasę efektywności energetycznej wyznacza się na podstawie wartości obliczonego wskaźnika efektywności energetycznej EEI (wzór 1.), który w odniesieniu do źródeł światła definiowany jest jako stosunek mocy znamionowej lampy P_{cor} skorygowanej o straty związane z osprzętem sterującym, do mocy referencyjnej P_{ref} wyznaczonej w przypadku bezkierunkowych źródeł światła na podstawie całkowitej wartości użytecznego strumienia świetlnego Φ_{use} (wzór 2.), [5]. Wskaźnik EEI należy obliczyć w zaokrągleniu do drugiego miejsca po przecinku.

$$EEI = \frac{P_{cor}}{P_{ref}} \quad (1)$$

$$P_{ref} = 0,88\sqrt{\Phi_{use}} + 0,049\Phi_{use} \quad (2)$$

dla $\Phi_{use} < 1300$ lm

$$P_{ref} = 0,07341\Phi_{use} \quad (3)$$

dla $\Phi_{use} \geq 1300$ lm

W tabeli 2. podano klasy efektywności energetycznej bezkierunkowych źródeł światła w odniesieniu do przedziałów wskaźnika efektywności energetycznej.

Ocenę klasy efektywności energetycznej przeprowadzono zgodnie z Rozporządzeniem Delegowanym Komisji (UE), uzupełniającym dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/30/UE w odniesieniu do etykietowania energetycznego lamp elektrycznych i opraw oświetleniowych [4]. Przyjmuje się, że wskaźnik efektywności energetycznej badanego źródła światła odpowiada jego deklarowanej klasie efektywności energetycznej, jeśli wyznaczona wartość wskaźnika efektywności energetycznej nie przekracza wartości deklarowanej o więcej niż 10%. Na rys. pokazano przykładową etykietę efektywności energetycznej źródła LED.

• **Trwałość** podawana jest w godzinach; określona jest czasem świecenia źródła do chwili jego wygaśnięcia lub kiedy przestało ono spełniać wymagania dotyczące dopuszczalnego spadku strumienia świetlnego. Tak określona trwałość nazywana jest trwałością użyteczną. Drugim rodzajem jest trwałość deklarowana – określana przez producenta i najczęściej większa od trwałości użytecznej. W przypadku źródeł LED parametr ten definiowany

jest poprzez utrzymanie zadeklarowanej przez producenta wielkości strumienia świetlnego, co wyraża się w procentach i procentowej liczbie przepalonych chipów lampy LED w czasie, w którym nastąpił ten spadek strumienia świetlnego.

• **Wskaźnik oddawania barw** jest wartością niemianowaną. Jest on miarą stopnia zgodności wrażenia barwy obiektu oświetlonego danym źródłem światła z wrażeniem barwy tego samego obiektu, oświetlonego źródłem odniesieniowym w określonych warunkach. Maksymalna wartość tego wskaźnika wynosi 100. Przyjmuje się ją w odniesieniu do światła słonecznego i źródeł żarowych. Im wartość tego wskaźnika jest bliższa 100, tym dane źródło światła charakteryzuje się lepszą zdolnością oddawania barw. W przypadku źródeł światła przeznaczonych do użytku domowego wartość tego wskaźnika powinna wynosić co najmniej 80 [1,3].

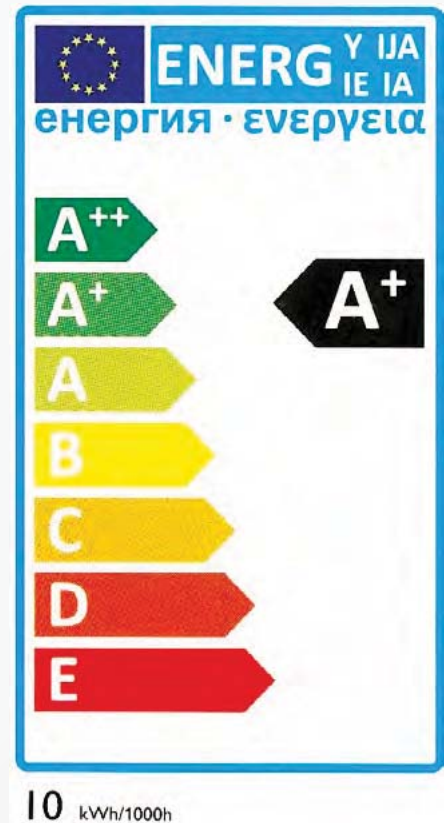
• **Temperatura barwowa** [K] definiowana jest jako temperatura bezwzględna ciała czarnego, które promieniuje światło o tej samej lub prawie tej samej chromatyczności co dane źródło światła. Temperatura barwowa źródeł światła użytych do badań wynosiła 2 700 K-3 000 K, co odpowiada ciepłej barwie światła (ww). Zgodnie z [9] w odniesieniu do źródeł światła o deklarowanej temperaturze barwowej 2 700 K wartość zmierzona powinna zawierać się w przedziale 2 580 ÷ 2 870 K, a w przypadku 3 000 K – w przedziale 2 870 ÷ 3 220 K.

• **Minimalna liczba cykli włącz/wyłącz** to liczba cykli deklarowana przez producenta, poprzedzająca awarię, określana na podstawie znamionowej trwałości. Informacja ta jest szczególnie ważna w przypadku świetlówek kompaktowych, ponieważ liczba ta nie powinna być wtedy niższa niż okres trwałości lampy wyrażony w godzinach [3]. W odniesieniu do żarówek halogenowych liczba cykli nie ma wpływu na ich trwałość, ale w przypadku źródeł LED – już tak i wynosi od 10 000 do 100 000. Zgodnie z rozporządzeniem [1] liczba cykli włącz/wyłącz powinna wynosić co najmniej połowę znamionowej trwałości lampy świecącej krócej niż 30 000 h, a w odniesieniu do świecących dłużej – 15 000.

• **Czas nagrzewania [s]** to czas, po którym dane źródło osiąga określoną wartość strumienia świetlnego. Informacja ta jest szczególnie ważna w kontekście świetlówek kompaktowych, ponieważ – w odróżnieniu od źródeł LED oraz żarówek halogenowych – standardowo potrzebują one nieco więcej czasu, aby się nagrzać i osiągnąć znamionowy strumień świetlny. W praktyce, w przypadku świetlówek kompaktowych wynosi on do 2 sekund na zapalenie i do 40 sekund na osiągnięcie 60% swojego strumienia świetlnego (100 s w przypadku świetlówek z amalgamatem rtęci, ale tylko tych z zewnętrzną bańką) [3]. W przypadku żarówek tradycyjnych czas nagrzewania jest zdecydowanie krótszy i nie powinien przekraczać 1 s. W przypadku źródeł LED czas nagrzewania określa się w odniesieniu do wartości 95% znamionowego strumienia świetlnego i nie powinien przekraczać 2 s [1].

Metoda badań

Przed wykonaniem pomiarów oświetlenia oraz badań parametrów źródeł światła należy je wyświecać – świetłówki przez 100 godzin, żarówki przez 1 godzinę [6]. W przypadku źródeł LED wyświecanie nie jest wymagane [6]. Jednak, na podstawie włą-



Rys. Przykładowa etykieta efektywności energetycznej źródła LED

Fig. Sample energy label for an LED light source

nych doświadczeń autorów, źródła te wyświecano przez co najmniej 100 godzin.

Przed rozpoczęciem pomiarów odczekano co najmniej 20 minut na ustabilizowanie się strumienia świetlnego świetlówek, natomiast pomiary parametrów żarówek wykonano od razu po ich włączeniu [6]. Źródła LED należy badać po odczekaniu 45 minut [6]. Strumień świetlny źródeł LED po ich włączeniu nieznacznie maleje i stabilizuje się w różnym czasie, w zależności od konstrukcji. W związku z tym zapisem i na podstawie własnych doświadczeń autorów, pomiary tych źródeł rozpoczęto po 60 minutach od włączenia. Wówczas różnica pomiędzy maksymalną i minimalną wartością strumienia świetlnego była mniejsza od 0,5%, co umożliwiało prawidłowy pomiar [6].

Pomiar parametrów kolorymetrycznych

Pomiary parametrów kolorymetrycznych zostały wykonane za pomocą spektrometru z linią CCD w układzie pomiarowym pokazanym na fot. 4. Badane źródło światła usytuowane było w odległości, przy której wytwarzało natężenie oświetlenia równe 500 lx w płaszczyźnie detektora spektrometru umieszczonego osiowo względem tego źródła [10].

Pomiar parametrów fotometrycznych i elektrycznych

Pomiar strumienia świetlnego wykonano w lumenomierzu kulistym (fot. 5.) metodą porównawczą z wzorcem strumienia świetlnego. Do zasilania lamp LED na stanowisku pomiarowym wykorzystano laboratoryjny zasilacz zapewniający dokładność stabilizacji napięcia wyjściowego.



Fot. 4. Układ do pomiaru rozkładu widmowego źródła światła
Photo 4. A set for measuring spectral distribution of a light source



Fot. 5. Lumenomierz kulisty
Photo 5. An integrating sphere

W trakcie rozruchu rejestrowano zmiany strumienia świetlnego $\Phi = f(t)$. Na podstawie wyników pomiarów wyznaczono czas nagrzewania lampy, obliczono skuteczność świetlną źródeł światła, moc równoważną żarówki oraz wskaźnik efektywności energetycznej. Wyniki pomiarów i obliczeń zamieszczono w tabelach 3., 4. i 5.

Wyniki badań

W tabeli 3. zestawiono kody przypisane badanym źródłom oraz parametry, które nie podlegały badaniom – trwałość oraz liczba cykli włącz/wyłącz – na podstawie deklaracji producentów. Ponadto podano wartości czasu nagrzewania źródeł uzyskane z pomiaru oraz wymagane w rozporządzeniach [1,3].

W tabeli 4. zestawiono wartości wskaźnika oddawania barw, temperatury barwowej, strumienia świetlnego i skuteczności świetlnej, wyznaczonych na podstawie pomiarów z wartościami deklarowanymi przez producenta. Ponadto – na podstawie norm – wyznaczono dopuszczalną minimalną wartość strumienia świetlnego w odniesieniu do poszczególnych typów źródeł światła [5-8].

W tabeli 5. zestawiono, zgodnie z normami, wartość mocy równoważnej żarówki na podstawie obliczeń z deklarowaną przez producenta, a także mocy wyznaczonej na podstawie pomiarów z wartością deklarowaną przez producenta – oraz dopuszczalną maksymalną wartością mocy, którą może posiadać badane źródła światła względem deklaracji producenta [5,6,7,9]. Ponadto obliczono wartości wskaźnika efektywności energetycznej, wyznaczono, na jego podstawie, klasy efektywności energetycznej (zgodnie z [4]) i porównano je z klasą deklarowaną przez producenta.

Analiza wyników badań

Na podstawie wykonanych pomiarów źródeł światła, wymienionych w tabeli 3., stwierdzono, że w zakresie:

Tabela 3. Zestawienie typów badanych źródeł światła i ich parametrów, które nie podlegały badaniom

Table 3. Tested light sources: manufacturers, unique codes, and operational parameters declared

Lp.	Kod źródła	Moc [W]	Trwałość	Liczba cykli włącz/ wyłącz	Czas nagrzewania źródła [s]	
					z pomiaru	z rozporządzenia
ŻARÓWKA						
1.	Ż1	60	1 000 h	bd.	< 1 s	1
ŻARÓWKA HALOGENOWA						
2.	H1	46	2 000 h	bd.	< 1 s	1
ŚWIETŁÓWKI KOMPAKTOWE						
3.	Ś1	12	8 lat	bd.	35	100
4.	Ś2	12	8 lat	bd.	33	40
5.	Ś3	15	10 000 h	30 000	36	40
ŹRÓDŁA LEDOWE – markowe						
6.	L1	9,5	15 000 h	50 000	< 2 s	2
7.	L2	12	25 000 h	20 000	< 2 s	2
8.	L3	10	25 000 h	100 000	< 2 s	2
9.	L4	10	20 000 h	100 000	< 2 s	2
10.	L5	10	15 000 h	100 000	< 2 s	2
11.	L6	9,5	15 000 h	15 000	< 2 s	2
12.	L7	7	10 000 h	20 000	< 2 s	2
13.	L8	7,5	15 000 h	20 000	< 2 s	2
ŹRÓDŁA LEDOWE – nie firmowe						
14.	L9	10	20 000 h	12 500	< 2 s	2
15.	L10	10	25 000 h	30 000	< 2 s	2
16.	L11	10	15 000 h	10 000	< 2 s	2

bd. – brak danych

Tabela 4. Zestawienie parametrów użytkowych badanych źródeł światła – deklarowanych przez producentów i zmierzonych

Table 4. Operational parameters of tested light sources: declared by manufacturers and measured

Kod źródła	Wskaźnik oddawania barw [-]		Temperatura barwowa [K]		Strumień świetlny [lm]			Skuteczność świetlna [lm/W]	
	deklarowany	z pomiaru	deklarowana	z pomiaru	deklarowany	z pomiaru	dopuszczalny	deklarowana	z pomiaru
ŻARÓWKA									
Ż1	100	99,8	2 700	2 704	710	745	675	12	12
ŻARÓWKA HALOGENOWA									
H1	100	98,9	bd.	2 648	700	633	630	15	14
ŚWIETŁÓWKI KOMPAKTOWE									
Ś1	bd.	81,4	ww	2 701	610	565	549	51	52
Ś2	bd.	82,9	2 700	2 760	700	775	630	58	65
Ś3	bd.	81	2 700	2 679	799	796	719	53	58
Źródła LED – markowe									
L1	> 80	81,9	2 700	2 698	806	786	725	85	86
L2	bd.	79,4	2 700	2 550	806	783	725	67	66
L3	80	81,2	2 700	2 674	806	787	725	81	83
L4	80	78,9	2 700	2 632	810	872	729	81	89
L5	80	81,1	2 700	2 674	806	808	725	81	84
L6	bd.	81,1	2 700	2 744	806	776	725	85	81
L7	80	80,7	2 700	2 963	806	727	725	115	103
L8	bd.	79,9	2 700	2 672	806	792	725	107	107
ŹRÓDŁA LED – niefirmowe									
L9	80	80,4	white	2 964	806	769	725	81	95
L10	bd.	73,1	2 700	2 938	806	796	725	81	81
L11	bd.	82,1	3 000	3 056	806	729	725	81	77

bd. – brak danych

ww – ciepła (ciepłobiała) barwa światła

white – biała barwa światła

• strumienia świetlnego – wszystkie źródła spełniły kryterium dotyczące minimalnej wartości tego parametru [5-8]. Niemniej jednak, wartości bliskie granicznym stwierdzono w przypadku żarówki halogenowej (9,6%) oraz dwóch źródeł LED (9,5% i 9,9%). W przypadku czterech źródeł różnice pomiędzy wartością zmierzoną a deklarowaną przez producenta przekraczały tę drugą o 0,2%, 5,0%,

7,7% i 10,7%. Pozostałe źródła miały wartości mniejsze od deklarowanych w zakresie od 0,4% do 9,9%

• mocy deklarowanej – wszystkie źródła światła spełniły kryterium dotyczące mocy maksymalnej [5-8]. Należy podkreślić, że wszystkie świetłówki kompaktowe oraz dziewięć źródeł LED miały wartość mocy mniejszą od deklarowanej przez producenta. Co więcej, w przypadku dwóch świetłówek

Tabela 5. Zestawienie parametrów użytkowych badanych źródeł światła – deklarowanych przez producentów i zmierzonych lub obliczonych

Table 5. Power and energy efficiency of tested light sources: declared by manufacturers, measured or calculated

Kod źródła	Moc [W]					Efektywność energetyczna			
	z pomiarów	deklarowana	dopuszczalna	równoważna żarówka		wskaźnik		klasa	
				z obliczeń	deklarowana	z obliczeń	deklarowany	wyznaczona	deklarowana
ŻARÓWKA									
Ż1	61,77	60,0	62,40	---	---	1,02	1,03	E	E
ŻARÓWKA HALOGENOWA									
H1	46,67	46,0	49,68	55	60	0,88	0,80	D	D
ŚWIETŁÓWKI KOMPAKTOWE									
Ś1	10,82	12,0	13,8	49	60	0,22	0,23	A	A
Ś2	11,92	12,0	13,8	62	60	0,19	0,21	A	A
Ś3	13,73	15,0	17,25	64	63	0,22	0,23	A	A
ŹRÓDŁA LED – markowe									
L1	9,15	9,5	10,45	59	60	0,14	0,15	A+	A+
L2	11,85	12,0	13,2	59	60	0,19	0,19	A	A
L3	9,44	10,0	11	59	60	0,15	0,16	A+	A+
L4	9,82	10,0	11	64	60	0,14	0,15	A+	A+
L5	9,67	10,0	11	60	60	0,15	0,16	A+	A+
L6	9,55	9,5	10,45	58	60	0,15	0,15	A+	A+
L7	7,06	7,0	7,7	55	60	0,12	0,11	A+	A++
L8	7,39	7,5	8,25	59	60	0,12	0,12	A+	A+
ŹRÓDŁA LED – niefirmowe									
L9	8,14	10,0	11	58	60	0,13	0,16	A+	A+
L10	9,78	10,0	11	59	60	0,15	0,16	A+	A+
L11	9,44	10,0	11	55	60	0,16	0,16	A+	A+

kompaktowych różnice te były znaczące (8,5% i 9,9%). Natomiast w odniesieniu do źródeł LED różnica ta, w stosunku do dwóch źródeł wynosiła 5,6%, jednego 18,6%, a pozostałych – poniżej 3,6%

- skuteczności świetlnej – wszystkie źródła LED spełniły kryterium dotyczące minimalnej wartości tego parametru. W odniesieniu do pięciu z nich, w przypadku których skuteczność świetlna obliczona na podstawie pomiarów jest mniejsza od wartości deklarowanej przez producenta, różnice wynoszą od 0,2% do 10,7%. W przypadku sześciu pozostałych – jest większa od deklarowanej w zakresie od 1% do 17,3%

- mocy równoważnej wyznaczonej z pomiarów – w przypadku dwóch świetlówek kompaktowych oraz jednego źródła LED była ona większa od mocy równoważnej deklarowanej przez producenta o odpowiednio 1,6% i 3,3% oraz 6,7%. W odniesieniu do jednego źródła (LED) pokrywała się z deklaracją producenta, a w stosunku do pozostałych źródeł LED zawarta była w przedziale od 1,6% do 8,3%. W odniesieniu do trzeciej świetlówki wynosiła 18,3%, a w przypadku żarówki halogenowej – 8,3%

- wskaźnika efektywności energetycznej (EEI) – tylko jedno źródło LED nie spełniało kryterium dopuszczalnej różnicy tego wskaźnika pomiędzy wartością zmierzoną i deklarowaną przez producenta [4]. W przypadku żarówki halogenowej i jednego źródła LED obliczona wartość wskaźnika EEI była na granicy wartości dopuszczalnej i wynosiła odpowiednio 9,9% i 9,7%. W przypadku jednego źródła LED stwierdzono niższą klasę efektywności energetycznej, niż deklarowana przez producenta (A+ zamiast A++) przy jednoczesnym spełnieniu kryterium [4].

- czasu nagrzewania źródła – wszystkie źródła spełniły kryterium minimalnego czasu nagrzewania [3].

- wskaźnika oddawania barw wyznaczonego na podstawie pomiarów – siedem źródeł LED spełniło wymagania zawarte w [1,3]. W przypadku

jednego źródła LED wyznaczona wartość wskaźnika była na granicy i wynosiła 79,9%, a drugiego była minimalnie poniżej dopuszczalnej granicy i wynosiła 78,9, a w kolejnym 73,1. W odniesieniu do źródła LED, którego producent nie podał wartości tego parametru – wyniósł on 79,4,

- temperatury barwowej wyznaczonej na podstawie pomiarów – dwie świetlówki kompaktowe oraz siedem źródeł LED spełniło wymagania zawarte w [9]. Jedna świetlówka oznaczona przez producenta jako „ww” oraz jedno źródło LED oznaczone jako „white” mają temperaturę barwową ciepłą (odpowiednio ~ 2 700 i ~ 3 000 K). Jedyne w przypadku dwóch źródeł LED wartości uzyskane z pomiarów są nieznacznie zawyżone (o 82 i 93 K), a w jednym – zanizone (o 30 K), ale mimo to zgodnie z normą jest to barwa ciepła [2].

Podsumowanie

Sześć badanych źródeł światła miało zanizoną wartość skuteczności świetlnej w stosunku do deklarowanej przez producenta. Wyznaczone różnice pomiędzy mocą zmierzoną, a deklarowaną przez producenta oznaczają w praktyce mniejsze zużycie energii elektrycznej przy zachowanej wymaganej tolerancji strumienia świetlnego.

Na podstawie wyznaczonych z pomiarów wartości skuteczności świetlnych można stwierdzić, że świetlówki kompaktowe będące zamiennikami tradycyjnych żarówek o mocy 60 W mają skuteczność świetlną zawartą w przedziale od 52 do 65 lm/W. Oznacza to, że są one około 5 razy bardziej energooszczędne w stosunku do tradycyjnej żarówki. Natomiast skuteczność świetlna zbadanej żarówki halogenowej wynosi praktycznie tyle samo co tradycyjnej. Związane jest to z zawyżeniem deklarowanej wartości strumienia świetlnego.

Skuteczność świetlna zbadanych źródeł LED wynosi średnio 85 lm/W. Oznacza to, że mają one około 7 razy większą skuteczność świetlną od żarówek tradycyjnych. Niemniej jednak, w grupie badanych źródeł LED znalazły się i takie, których skuteczność świetlna jest porównywalna ze skutecznością świetlówek. W przypadku jednego z nich można się było tego spodziewać, ze względu na jego bardzo niską cenę (7 zł), ale już drugie źródło pochodziło od markowego producenta i było najdroższe spośród badanych (około 140 zł). Powodem może być zatem fakt, że zastosowana w nim technologia ma już ok. 5 lat – co w przypadku bardzo dynamicznego rozwoju tych źródeł jest bardzo dużym przedziałem czasowym. Wysoka skuteczność świetlna źródeł LED pozwala na ich zakwalifikowanie do klasy efektywności energetycznej A+, podczas gdy świetlówki kompaktowe można zakwalifikować tylko do klasy A.

Podsumowując, najkorzystniejszym zamiennikiem żarówek tradycyjnych są źródła LED, zarówno ze względu na swoje parametry użytkowe oraz cenę porównywalną z ceną świetlówek kompaktowych, a w niektórych przypadkach nawet niższą. Powyższy wniosek został sformułowany przy założeniu uwzględnienia deklaracji producenta dotyczącej trwałości źródeł. Wniosek ten można uznać za słuszny w odniesieniu do większości obecnie dostępnych na rynku źródeł LED, ponieważ produkowane są one w technologii tzw. LED SMD.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Rozporządzenie Komisji (UE) Nr 1194/2012 z dnia 12 grudnia 2012 r. w sprawie wykonania dyrektywy 2009/125/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla lamp kierunkowych, lamp z diodami elektroluminescencyjnymi i powiązanego wyposażenia
- [2] PN-EN 12464-1:2012. Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach
- [3] Rozporządzenie Komisji (WE) Nr 244/2009 z dnia 18 marca 2009 r. w sprawie wykonania dyrektywy 2005/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla bezkierunkowych lamp do użytku domowego
- [4] Rozporządzenie Delegowane Komisji (UE) Nr 874/2012 z dnia 12 lipca 2012 r. uzupełniające dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/30/UE w odniesieniu do etykietowania energetycznego lamp elektrycznych i opraw oświetleniowych
- [5] PN-EN 62612:2014-01 Lampy samostatecznikowe LED do ogólnych celów oświetleniowych na napięcie zasilające > 50 V. Wymagania funkcjonalne
- [6] PN-EN 60969:2002 (E) Lampy samostatecznikowe do ogólnych celów oświetleniowych. Wymagania funkcjonalne
- [7] PN-EN 60357:2003 (E) Żarówki halogenowe (oprócz pojazdowych). Wymagania funkcjonalne
- [8] PN-EN 60064:2002 Żarówki z żarnikiem wolframowym do użytku domowego i podobnych ogólnych celów oświetleniowych. Wymagania funkcjonalne
- [9] CIETN 001:2014. Chromaticity difference Specification for Light Sources
- [10] PN-EN 62471: 2010. Bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp i systemów lampowych

Publikacja opracowana na podstawie wyników uzyskanych w ramach III etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” finansowanego w latach 2014-2016 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.