

Julita ZABŁOCKA*, Małgorzata ZALESIŃSKA*
Krzysztof WANDACHOWICZ*, Agata RACZAK*

POMIAR I OCENA EKSPLOATACYJNEGO SPADKU STRUMIENIA ŚWIETLNEGO LAMP LED

Jednym z parametrów decydujących o trwałości użytkowej lamp LED jest spadek strumienia świetlnego w trakcie eksploatacji. Znajomość spadku strumienia świetlnego jest ważna również ze względu na dobór odpowiedniej wartości cząstkowego współczynnika utrzymania strumienia świetlnego lampy (LLMF), uwzględnianego w trakcie projektowania oświetlenia. Ze względu na bardzo dużą trwałość źródeł ledowych, wynoszącą kilkadziesiąt tysięcy godzin, trwałość deklarowana przez producenta jest najczęściej trwałością wyznaczoną na podstawie metody prognozowania spadku strumienia świetlnego. W artykule opisano wyniki pomiarów spadku strumienia świetlnego w czasie 9000 godzin świecenia wybranych, bezkierunkowych lamp LED do użytku domowego, będących zamiennikami żarówek tradycyjnych 60 W.

SŁOWA KLUCZOWE: spadek strumienia świetlnego lamp LED, cząstkowy współczynnik utrzymania strumienia świetlnego lamp LED, bezkierunkowe źródła światła do użytku domowego, parametry fotometryczne i kolorymetryczne lamp LED.

1. WSTĘP

Obecnie lampy LED są źródłami światła, które stosowane są powszechnie zarówno do oświetlenia wewnątrz, jak i do oświetlenia zewnętrznego. W oświetleniu gospodarstw domowych używane są jako bezpośrednie zamienniki żarówek oraz świetlówek kompaktowych. Dla większości użytkowników podstawą wyboru źródła światła jest ich cena i/lub informacje zawarte na opakowaniu. Informacje podane na opakowaniu lub na stronie internetowej są tylko deklaracjami producenta i nie zawsze są zgodne z rzeczywistymi parametrami lampy. Podstawowe wymagania fotometryczne, kolorymetryczne, elektryczne oraz użytkowe, jakie muszą spełniać lampy LED przeznaczone do użytku domowego oraz sposób ich weryfikacji, zawarte są w odpowiednich rozporządzeniach Komisji Wspólnoty Europejskiej [1, 2]. Niektóre wymagania opisane są dodatkowo w normach przedmiotowych [3]. Zestawienie podstawowych wymagań zamieszczono w tabeli 1.

* Politechnika Poznańska

Tabela 1. Zestawienie wymagań dotyczących wybranych parametrów użytkowych badanych lamp [1, 2, 3].

Lp.	Parametr podlegający weryfikacji	Wymagane wartości
1	Czas zapłonu	$<0,5$ s
2	Czas nagrzewania się lampy do 95%	<2 s
	Liczba cykli włącz/wyłącz poprzedzających awarię	≥ 15000 , w przypadku, gdy znamionowa trwałość lampy wynosi przynajmniej 30 000 h, a w pozostałych przypadkach \geq połowa znamionowej trwałości lampy wyrażonej w godzinach
3	Współczynnik mocy lampy	$>0,5$ dla $5 \text{ W} < P \leq 25 \text{ W}$
4	Wskaźnik oddawania barw	≥ 80
5	Jednolitość barwy	Różnica współrzędnych chromatyczności mieszcząca się w sześciostopniowej elipsie MacAdama
6	Wartość strumienia świetlnego lampy odpowiadająca mocy równoważnej 60W żarówki tradycyjnej	806 lm
7	Zachowanie strumienia świetlnego (współczynnik utrzymania strumienia świetlnego lam LLMF)	po 6000 h $\geq 80\%$
8	Wskaźnik przedwczesnego końca eksploatacji	$\leq 5\%$ po 1000 h
	Minimalna wartość strumienia świetlnego w procentach wartości deklarowanej	90%
	Maksymalna wartość mocy znamionowej w procentach wartości deklarowanej	115%
	Wymagane wartości wskaźnika efektywności energetycznej (EEI) dla odpowiednich klas efektywności energetycznej w odniesieniu do wszystkich rodzajów lamp	
	Klasa efektywności energetycznej:	A++
		A+
		A
		B
		C
		D
		E

W rozporządzeniu [4] zapisano także informacje, jakie powinny znaleźć się na widocznym miejscu opakowania produktu oraz na ogólnodostępnej stronie internetowej. Do informacji widocznych na opakowaniu należy między innymi: znamionowa wartość mocy, znamionowy strumień świetlny, czas nagrzewania się lampy, liczba cykli załącz/wyłącz, temperatura barwowa wyrażona w Kelwinach, znamionowa trwałość lampy wyrażony w godzinach, przystosowanie (lub jego brak) do pracy ze ściemniaczami, wymiary lampy w milimetrach, klasa efektywności energetycznej, moc równoważna żarówki.

O ile weryfikacja podstawowych informacji podawanych na opakowaniu jest prosta, tak sprawdzenie wszystkich wymagań zawartych w rozporządzeniach [1, 2] jest już trudniejsze i na pewno bardziej czasochłonne. Dlatego też, weryfikacja parametrów lamp zwykle ogranicza się do pomiaru tylko parametrów początkowych [5, 6, 7, 8, 9, 10]. Rzadko kiedy ocenie podlegają wymagania dotyczące współczynnika utrzymania strumienia świetlnego.

W celu sprawdzenia i oceny spadku strumienia świetlnego w trakcie świecenia źródeł światła przeprowadzone zostały w laboratorium Zakładu Techniki Świetlnej i Elektrotermii Politechniki Poznańskiej badania kilku wybranych, ogólnodostępnych, bezkierunkowych lamp LED do użytku domowego, będących zamiennikami żarówek tradycyjnych 60 W.

2. OPIS OBIEKTU BADAŃ

Do badań wybrano 6 lamp LED różnych producentów oraz w różnych przedziałach cenowych. Wygląd badanych lamp pokazano na rysunku 1.

Weryfikację parametrów początkowych wykonano w ramach pracy inżynierskiej [11] i opisano w publikacji [5]. W publikacji [5] opisano także pierwsze wyniki pomiarów eksploatacyjnego spadku strumienia świetlnego dla czasów pracy do 3000 godzin. Podstawowe informacje dostępne na opakowaniu produktu, jak i wyniki pomiarów parametrów początkowych badanych lamp LED zestawiono w tabelach 2 i 3. Eksploatacyjny spadek strumienia świetlnego wyznaczony w ciągu 3000 godzin świecenia zestawiono w tabeli 4.



Rys. 1. Wygląd badanych lamp LED

Tabela 2. Zestawienie parametrów badanych lamp LED według deklaracji producentów [5, 11].

Nr lampy	U	P	Φ	T_b	R_a	τ	η	Klasa efektywności energetycznej	Cena
	[V]	[W]	[lm]	[K]	[-]	[h]	[lm/W]	[-]	[zł]
1	220–240	9	806	3000	-	25000	90	A	29,98
2	220–240	10	806	3000	-	15000	81	A+	7,99
3	220–240	10	806	2000	80	15000	81	A+	29,98
4	220–240	7,5	806	2700	>80	15000	108	A+	41,50
5	220–240	7	806	2700	>80	10000	115	A++	28,18
6	220–240	12	806	2700	80	25000	67	A	176,46

Tabela 3. Wyniki badań parametrów początkowych badanych lamp LED [5, 11].

Nr lampy	P	Φ	η	T_b	R_a	λ	Klasa efektywności energetycznej	Obliczona moc równoważna żarówki
	[W]	[lm]	[lm/W]	[K]	[-]	[-]	[-]	[W]
1	8,7	927	107	3070	84,0	0,59	A+	67
2	9,5	830	87	2990	82,1	0,54	A+	61
3	9,8	797	81	2680	81,6	0,60	A+	59*
4	7,5	819	109	2790	81,7	0,61	A+	61
5	6,7	736	110*	2730	81,4	0,57	A+*	56*
6	10,8	889	82	2670	80,6	0,76	A+	65

* - nie spełnia wymagań rozporządzeń i/lub deklaracji producenta

Tabela 4. Wyniki pomiaru spadku strumienia świetlnego w ciągu pierwszych 3000 godzin świecenia badanych lamp LED.

Czas pracy w [h]	Nr badanej lampy					
	1	2	3	4	5	6
	$\Phi(t)$ [lm]					
1000	906	651	758	776	655	884
2000	891	611	742	740	608	874
3000	889	608	753	721	589	885

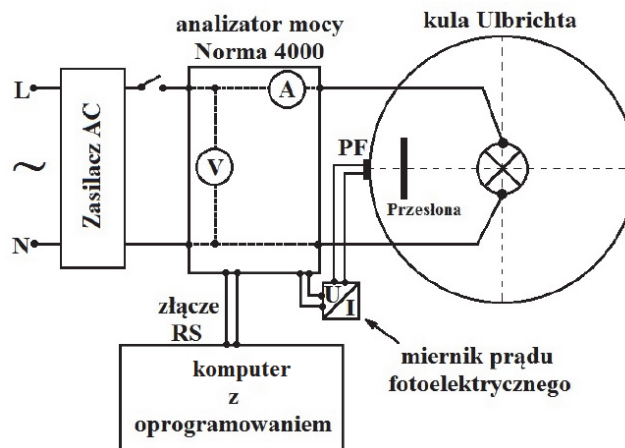
3. BADANIE EKSPLOATACYJNEGO SPADKU STRUMIENIA ŚWIETLNEGO LAMP LED

3.1. Stanowisko pomiarowe

Pomiar strumienia świetlnego przeprowadzono na stanowisku pomiarowym składającym się z: kuli Ulbrichta, zasilacza stabilizowanego POWER PCR 2000M firmy Kukisui, analizatora mocy NORMA 4000 firmy Fluke, miernika prądu fotoelektrycznego na bazie luksomierza PHOTOMETR B510 firmy LMT z ogniwem skorygowanym do $V(\lambda)$ oraz komputera z interfejsem i oprogramowaniem. Stanowisko pomiarowe kalibrowano z zespołowym wzorcem strumienia świetlnego.

Schemat stanowiska pomiarowego pokazano na rysunku 2.

Spadek strumienia świetlnego badano w czasie od 4000 do 9000 godzin świecenia lamp. Pomiary wykonywane były każdorazowo po ustabilizowaniu się strumienia świetlnego, w 1000 godzinowych odstępach czasowych.



Rys. 2. Schemat stanowiska pomiarowego

3.2. Wyniki pomiarów i obliczeń

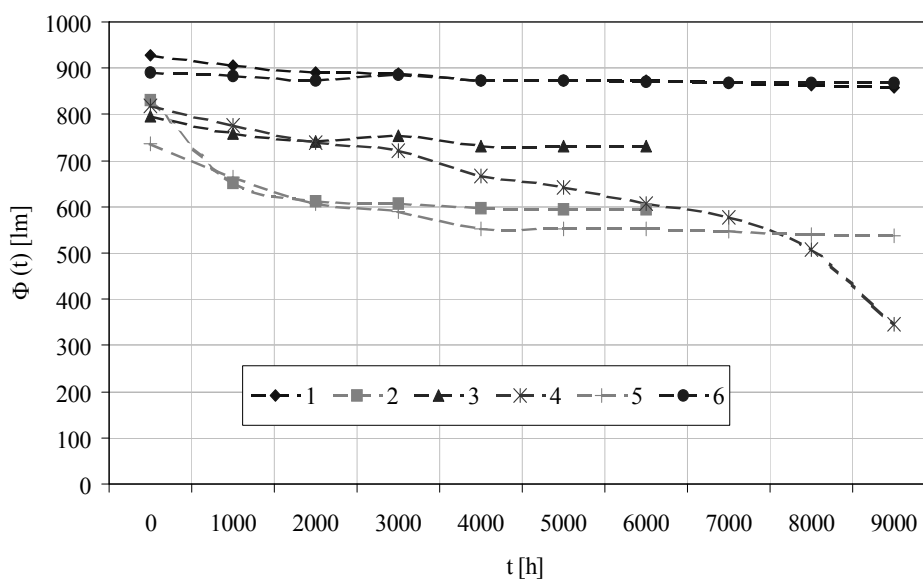
Wyniki pomiarów spadku strumienia świetlnego badanych lamp zestawiono w tabeli 5. Względne zmiany strumienia świetlnego, w odniesieniu do wartości początkowej podano w tabeli 6. Na podstawie uzyskanych wyników, oraz wyników wcześniej przeprowadzonych badań [5] wykreślono krzywe spadku strumienia świetlnego oraz krzywe względnych zmian strumienia świetlnego w ciągu 9000 godzin świecenia badanych lamp. W tabeli 7 zestawiono wartości

strumienia świetlnego dla 0 h i 6000 h podano wartości współczynnika utrzymania strumienia świetlnego. Wynik porównano z wymogami rozporządzenia [1].

Tabela 5. Wyniki pomiarów spadku strumienia świetlnego w czasie od 4000 godzin do 9000 godzin świecenia badanych lamp.

Czas pracy w [h]	Nr badanej lampy					
	1	2	3	4	5	6
	$\Phi(t)$ [lm]					
4000	874	597	732	667	552	872
5000	874	594	731	641	551	872
6000	872	594	731	607	551	870
7000	868	-*	-*	576	548	869
8000	864	-	-	508	539	869
9000	859	-	-	346	537	867

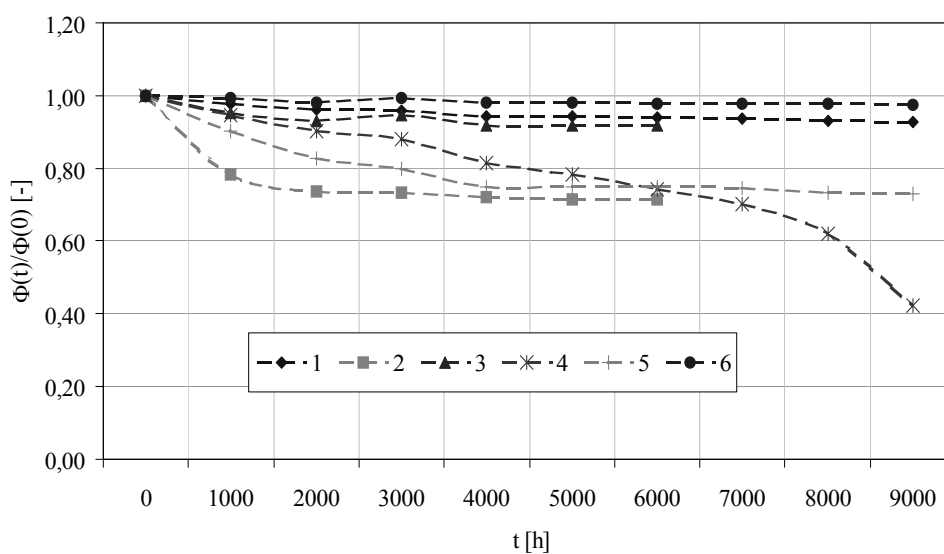
* - źródło światła przepaliło się przed upływem 7000 godzin świecenia



Rys. 4. Spadek strumienia świetlnego badanych lamp LED w trakcie 9000 godzin świecenia

Tabela 6. Względne zmiany strumienia świetlnego w czasie od 4000 godzin do 9000 godzin świecenia badanych lamp.

Czas pracy w [h]	Nr badanej lampy					
	1	2	3	4	5	6
	$\Phi(t)/\Phi(t=0)$ [-]					
4000	0,94	0,72	0,92	0,81	0,75	0,98
5000	0,94	0,72	0,92	0,78	0,75	0,98
6000	0,94	0,72	0,92	0,74	0,75	0,98
7000	0,94	-	-	0,70	0,74	0,98
8000	0,93	-	-	0,62	0,73	0,98
9000	0,93	-	-	0,42	0,73	0,97



Rys. 5. Względny spadek strumienia świetlnego badanych lamp LED w trakcie 9000 godzin świecenia

Tabela 7. Porównanie strumieni świetlnych po 0 h, 6000 h oraz wyznaczonych współczynników utrzymania strumienia świetlnego dla badanych lamp LED.

	Nr badanej lampy					
	1	2	3	4	5	6
$\Phi(t=0h)$ [lm]	927	830	797	819	736	890
$\Phi(t=6000h)$ [lm]	872	594	731	607	551	870
Wartość współczynnika utrzymania strumienia świetlnego lampy [-]	0,94	0,72	0,92	0,74	0,75	0,98
Spełnienie wymagań w za- kresie współczynnika stru- mienia świetlnego po 6000h: $\Phi(t=6000h)/\Phi(t=0h) \geq 0,80$	TAK	NIE	TAK	NIE	NIE	TAK

3.3. Analiza uzyskanych wyników

Przeprowadzone badania wykazały bardzo dużą stabilność strumienia świetlnego lampy nr 6 oraz lampy nr 1. Źródła te charakteryzowały się kilkuprocentowym (3% i 7%) spadkiem strumienia świetlnego w ciągu 9000 godzin świecenia. Według deklaracji producenta źródła te posiadały największą trwałość (25 000 godzin) spośród badanych lamp. Na podstawie wyników dotychczasowych badań można założyć, że deklarowana trwałość zostanie osiągnięta. Analiza uzyskanych wyników pokazała także, że w przypadku 3 źródeł światła (lampy nr 2, 4, 5) spadek strumienia świetlnego był znaczący, i po 6000 godzin przekroczył dopuszczalne wartości dla lamp LED określone w rozporządzeniu [1] (patrz tabela 7). Dwa spośród badanych źródeł światła (nr 2 i 3) przepaliły się po 6000 godzin świecenia, nie osiągając tym samym nawet połowy trwałości deklarowanej. Wyniki pomiarów po 9000 godzin pokazały znaczący spadek strumienia świetlnego lampy nr 4 w stosunku do wartości początkowej (ok. 58%) oraz około 68% spadek strumienia świetlnego w stosunku do wartości jaką uzyskano dla 8000 godzin. Na tej podstawie można prognozować przepalenie się tej lampy przed końcem trwałości deklarowanej przez producenta.

4. PODSUMOWANIE

Celem prowadzonych badań była ocena spadku strumienia świetlnego w trakcie eksploatacji wybranych, ogólnodostępnych lamp LED. Badania tego

typu są badaniami czasochłonnymi. Z tego też względu wykonywane są bardzo rzadko. Mimo, iż pomiary wykonane zostały tylko dla pojedynczych egzemplarzy i nie można ich uogólniać na wszystkie źródła pochodzące nawet z tej samej partii, niemniej jednak wyniki uzyskane w trakcie badań potwierdzają konieczność stałej kontroli parametrów eksploatacyjnych lamp LED. Do badań wybrano zarówno źródła światła znanych, jak i mniej znanych marek, z różnych przedziałów cenowych. Wcześniejsze badania [5, 11] wykazały, że niezależnie od ceny lampy, jak i jej producenta, w większości przypadków, parametry początkowe były zgodne z deklaracjami producentów i wymaganiami odpowiednich aktów prawnych. Gorzej sytuacja wyglądała w przypadku obecnie prowadzonych badań. Przeprowadzone pomiary wykazały, że nie zawsze dobre parametry początkowe przekładały się na dobre parametry eksploatacyjne. Na podstawie dotychczasowych badań można stwierdzić, że najkorzystniejszy zakupem pod względem stosunku jakości lampy LED do jej ceny, spośród badanych źródeł światła, był zakup lampy nr 1.

LITERATURA

- [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] 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.
- [3] PN – EN 62612:2013: Lampy samostatecznikowe LED do ogólnych celów oświetleniowych na napięcie zasilające > 50 V.
- [4] 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.
- [5] Zabłocka J., Zalesińska M., Górczewska M.: Badanie zmian parametrów eksploatacyjnych wybranych lamp do użytku domowego Poznan University of Technology, Academic Journals, Electrical Engineering, Issue 92, Poznan 2017, s. 166-167, ISSN 1897-0737, DOI: 10.21008/j.1897-0737.2017.92.0015.
- [6] Szwedek St, Zalesińska M., Górczewska M.: Ocena parametrów fotometrycznych, kolorymetrycznych i elektrycznych wybranych zamienników żarówek tradycyjnych 100W, Poznan University of Technology, Academic Journals, Electrical Engineering, Issue 92, Poznan 2017, s. 153-164, ISSN 1897-0737.
- [7] Pawlak A., Zalesińska M.: Comparative study of light sources for household, Management Systems in Production Engineering, 2017, No1 (25), pp. 35-41, DOI: 10.1515/mspe-2017-0005.

- [8] Tabaka P.: Analysis of properties of lighting-optical equivalents of traditional bulbs for dimming, *Light&Engineering*, 2015, vol. 23, No 1, pp.79-86.
- [9] Czyżewski D.: Zamienniki LED klasycznych żarówek (2), *Przegląd Elektrotechniczny*, 2/2015, str. 199-204.
- [10] Zalesińska M.: Analiza porównawcza parametrów fotometrycznych i elektrycznych bezkierunkowych źródeł światła do użytku domowego. *Prace Instytutu Elektrotechniki*, Warszawa 2012, zeszyt 255, ISSN-0032-6216, s.161-173.
- [11] Zabłocka J., Ocena parametrów fotometrycznych, elektrycznych oraz eksploatacyjnych bezkierunkowych źródeł światła do użytku domowego, *Praca dyplomowa inżynierska*, Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej, Politechnika Poznańska, Poznań, 2017.

MEASUREMENT AND EVALUATION OF LUMINOUS FLUX MAINTENANCE OF LED LAMPS

One of the parameters determining the life of LED lamps is the decrease in luminous flux during operation. Knowledge of the decrease in the luminous flux is also important due to the selection of lumen maintenance lamp factor (LLMF), taken into account in the design of lighting. Due to the very high life of LED sources, amounting to tens of thousands of hours, the life declared by the manufacturer is most often durability determined on the basis of the method of projecting the luminous flux decline. The article describes the results of studies on the luminous flux of selected non-directional LED lamps for home use, replacing traditional 60W incandescent lamps with 9,000 hours of operation.

(Received: 31.01.2018, revised: 05.03.2018)