

Wpływ temperatury otoczenia na parametry elektryczne i fotometryczne niskoprężnych lamp rtęciowych

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów laboratoryjnych parametrów elektrycznych i fotometrycznych świetlówek różnych mocy w funkcji temperatury otoczenia od $+25^{\circ}\text{C}$ do -25°C z krokiem co 5°C . Zarejestrowano natężenie prądu, moc czynną, bierną, pozorną, współczynnik mocy oraz względne zmiany strumienia świetlnego. Przedmiotem badań były świetlówki liniowe o mocach: 8 W, 18 W i 36 W. Oprócz tego pomiarom poddano jedną liniową świetlówkę mrozoodporną oraz jedną świetlówkę kompaktową zintegrowaną o mocy 18 W, współpracującą z konwencjonalnym dławikiem magnetycznym. W odniesieniu do świetlówek liniowych rejestracje parametrów elektrycznych przeprowadzono na zaciskach układu zasilającego lampę oraz bezpośrednio na lampie. Dla świetlówki liniowej o mocy 18 W pomiary powtórzono przy zastąpieniu konwencjonalnego dławika statecznikiem elektronicznym. Pomiary uzupełniono rejestracją przebiegów czasowych napięć i prądów oraz widmem wyższych harmonicznych. Równoległe z pomiarami parametrów elektrycznych zmierzono względne zmiany strumienia świetlnego dla poszczególnych źródeł światła przy zmianie temperatury otoczenia. Przeanalizowano także wpływ zmian poszczególnych parametrów badanych lamp na klasę energetyczną.

Abstract. The article presents results of laboratory measurements of colorimetric parameters of various fluorescent lamps of different powers in ambient temperature ranging from $+25^{\circ}\text{C}$ to -25°C in steps of 5°C . Intensity of current, real, reactive and apparent powers as well as power factor and relative changes of luminous flux have been registered. Straight fluorescent lamps of 8 W, 18 W and 36 W powers have undergone the measurement. Additionally, one straight freezeproof fluorescent lamp and one 18 W compact fluorescent lamp integrated with a conventional magnetic choke have been measured. In terms of straight fluorescent lamps, measurements of electrical parameters were conducted on the terminals and the lamp itself. For the 18 W straight fluorescent lamp, measurements have been repeated replacing the conventional magnetic choke with an electronic ballast. The measurements were additionally accompanied by registration of voltage and current timing as well as harmonic spectrum. In parallel to measurements of electrical parameters, relative changes of luminous flux for individual light sources in terms of alternating ambient temperature have been measured. The influence of changes in particular parameters of researched lamps on the energy class has also been analyzed. (*Influence of ambient temperature on electrical and photometric parameters of mercury vapor lamps*).

Słowa kluczowe: niskoprężna lampa fluorescencyjna, temperatura otoczenia, parametry elektryczne, parametry fotometryczne
Key words: low-pressure fluorescent lamp, ambient temperature, electrical parameters, photometric parameters

Wprowadzenie

Od kilkudziesięciu lat systematycznie wzrasta zużycie energii elektrycznej na oświetlenie. Tak więc zadania aktualnie produkowanych źródeł światła nie sprowadzają się wyłącznie do uzyskania odpowiednio dużego strumienia świetlnego, stałości jego parametrów podczas pracy, odpowiedniej barwy wysyłanego przez nie światła itp. Istotną rolę zaczyna odgrywać czynnik ekonomiczny. W literaturze zaczęły się pojawiać takie pojęcia jak: efektywność energetyczna oświetlenia, oświetlenie wydajnie energetycznie czy wydajność energetyczna oświetlenia. Problematyce tej poświęcone są bogate publikacje tj. np. [1, 4, 5, 6].

Podstawowym czynnikiem realizacji oświetlenia wydajnego energetycznie jest stosowanie źródeł światła o możliwie wysokiej skuteczności świetlnej. Jednym z najpopularniejszych i stosunkowo tanich źródeł światła, są niskoprężne lampy rtęciowe nazywane świetlówkami. Produkowane są one w szerokim zakresie mocy – od 4 W do 80 W, a ich skuteczność świetlna zawiera się w przedziale od kilkudziesięciu do ponad 100 lm/W.

Wobec faktu, że świetlówki poza oświetleniem ogólnym wewnątrz stosowane są także do oświetlenia dróg z ruchem pieszych (np. przejścia podziemne), parkingów, przystanków komunikacji miejskiej, peronów autobusowych i kolejowych, do podświetlania szyldów, bilbordów i kasetonów reklamowych, w publikacji zwrócono uwagę na problem wpływu temperatury otoczenia na wybrane parametry elektryczne i fotometryczne tych lamp. Przeanalizowano także wpływ tych zmian poszczególnych parametrów na klasę energetyczną niskoprężnych lamp rtęciowych.

Przedmiot i zakres badań

Pomiarom eksperymentalnym poddano kilka świetlówek liniowych o następujących mocach: 8 W, 18 W i 36 W oraz

jedną zintegrowaną świetlówkę kompaktową o mocy 18 W. W przypadku świetlówek liniowych o mocy 18 W uwzględniono różne barwy. Wszystkie lampy (ze świetlówką kompaktową włącznie) współpracowały z tradycyjnym dławikiem elektromagnetycznym. W odniesieniu do jednej z lamp, pomiary powtórzono zastępując konwencjonalny dławik, statecznikiem elektronicznym. Pomiarom poddano także świetlówkę liniową mrozoodporną o mocy 18 W. Ogólne informacje dotyczące badanych źródeł światła zamieszczono w tabeli 1. Na potrzeby niniejszej pracy, badane źródła światła oznaczono umownymi symbolami od 1 do 7.

Tabela 1. Ogólne dane niskociśnieniowych lamp wyładowczych, które poddano pomiarom

świetłówka	moc lampy	barwa	średnica rury	długość rury	symbol
liniowa	8 W	840	16 mm	288 mm	1
liniowa	18 W	827	26 mm	590 mm	2
liniowa	18 W	640	26 mm	590 mm	3 a,b
mrozoodporna	18 W	840	26/38 mm*	590 mm	4
kompaktowa	18 W	Warm white	-	-	5
liniowa	18 W	Daylight	26 mm	590 mm	6
liniowa	36 W	840	26 mm	1200 mm	7

* rura świetlówki o średnicy 26 mm otoczona dodatkowo szklaną osłoną 38 mm
a – dławik konwencjonalny, b – dławik elektroniczny

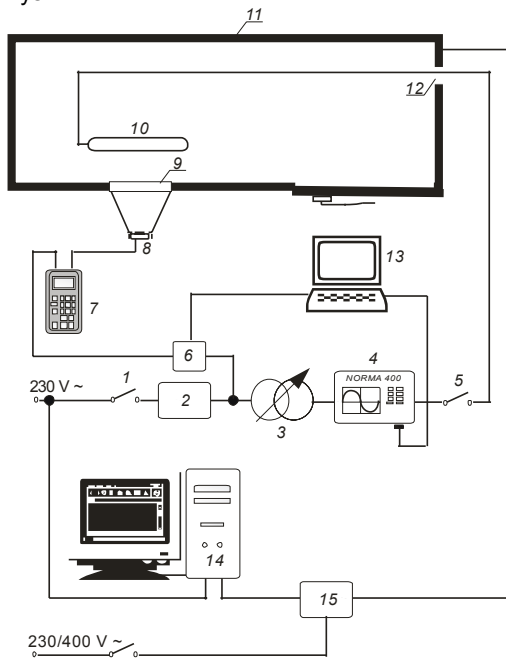
W odniesieniu do poszczególnych lamp, w zakresie temperatur od $+25^{\circ}\text{C}$ do -25°C , z krokiem co ok. 5°C , zarejestrowano względne zmiany: parametrów elektrycznych (natężenie prądu I , moc czynna P , moc bierna Q , moc pozorna S , współczynnik mocy $\cos\varphi$) oraz fotometrycznych

(strumień świetlny Φ , na podstawie którego wyznaczono skuteczność świetlną η).

Pomiary parametrów elektrycznych dla świetlówek liniowych współpracujących z dławikiem magnetycznym przeprowadzono w dwóch miejscach – na zaciskach układu zasilającego oraz bezpośrednio na lampie. W przypadku świetlówek kompaktowej zintegrowanej oraz liniowej współpracującej ze statecznikiem elektronicznym rejestrację parametrów elektrycznych przeprowadzono na zaciskach „wejściowych” układu zasilającego.

Układ pomiarowy

Pomiary laboratoryjne wpływu temperatury otoczenia na parametry elektryczne i fotometryczne lamp fluorescencyjnych przeprowadzono w układzie o strukturze przedstawionej na rys. 1.



Rys. 1. Schemat ideowy stanowiska pomiarowego do wyznaczania charakterystyk elektrycznych i świetlnych niskoprężnych lamp fluorescencyjnych w funkcji temperatury: 1, 5 – wyłączniki sieciowe, 2 – stabilizator napięcia, 3 – autotransformator, 4 – analizator mocy, 6 – zasilacz zewnętrzny współpracujący z luksomierzem, 7 – jednostka sterująca luksomierza, 8 – głowica fotometryczna, 9 – okrągła szyba zespolona umożliwiająca obserwację, 10 – badane źródło światła wraz z niezbędnym układem zasilającym, 11 – komora termiczna wykonana z płyt warstwowych, 12 – przepust umożliwiający wprowadzenie do wnętrza komory elektrycznych przewodów zasilających, 13 – komputer PC rejestrujący rozkłady parametry elektryczne i fotometryczne, 14 – komputer sterujący komorą termiczną, 15 – układ sterowania komorą

Układy poszczególnych lamp (świetlówkę wraz z niezbędnym do jej prawidłowej pracy dławikiem) zasilono ze stabilizatora napięcia (2) zapewniającego stałą wartość skuteczną napięcia z dokładnością 0,1%. Za pomocą autotransformatora (3) ustawiono wartość 230 V, którą sprawdzono analizatorem mocy (4).

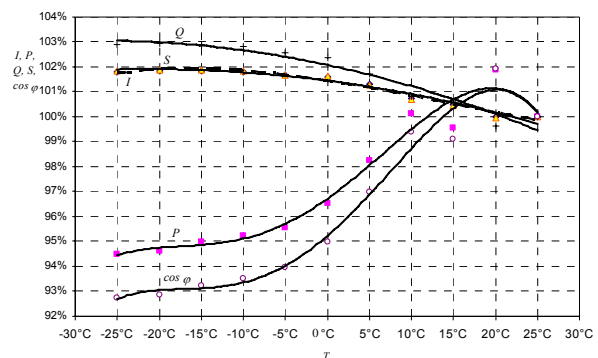
Głowica fotometryczna (8) zamocowana trwale na wierzchołku stożka przymocowanego do zewnętrznej strony okrągłej szyby (w którą wyposażona jest komora termiczna) mierzy światłość w wybranym kierunku. Jeśli założyć, że kształty brył fotometrycznych badanych lamp nie zmieniają się wraz z funkcją temperatury, to uzyskane wyniki z pomiarów laboratoryjnych można potraktować jako wielkości reprezentujące względne zmiany strumienia świetlnego. Jako

temperaturę odniesienia przyjęto temperaturę pokojową o wartości 25°C.

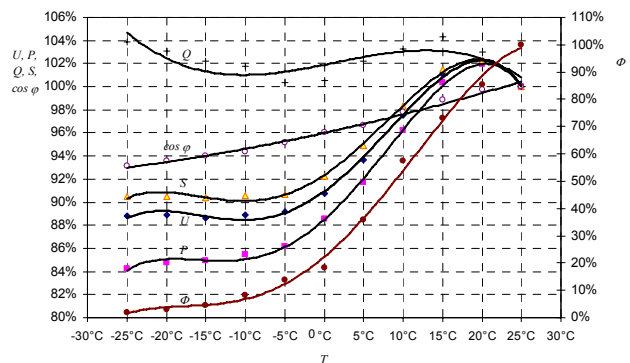
Stabilizacja temperatury we wnętrzu przestrzeni badawczej wynosiła ± 1 °C. W celu utrzymania jednorodnego rozkładu temperatury został wytworzony ruch powietrza przez wentylator w który wyposażona jest komora. Cały proces regulacji temperatury był zadawany z poziomu komputera PC (14) i realizowany przez sterownik PLC.

Wizualizacja rezultatów pomiarów

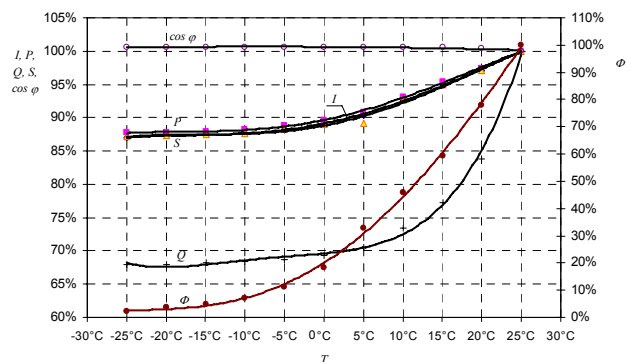
Względne zmiany parametrów elektrycznych i fotometrycznych kilku badanych świetlówek o różnych mocach i barwnych kodach, w funkcji temperatury otoczenia, graficznie przedstawiono na rysunkach 2÷10. Pomiary przeprowadzono po uprzednim starzeniu źródeł światła oraz po osiągnięciu ustabilizowanej temperatury wewnątrz lamp – po ok. 20 minutach świecenia od momentu załączenia pod napięcie. Wszystkie źródła światła, podczas pomiarów, usytuowane były w pozycji poziomej, ich oś podłużna była równoległa do kierunku ruchu powietrza.



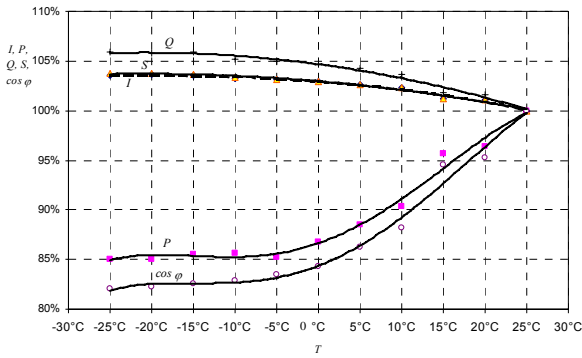
Rys. 2. Względne zmiany parametrów elektrycznych na zaciskach zasilających układ świetlóweki o mocy 8 W (źródło 1)



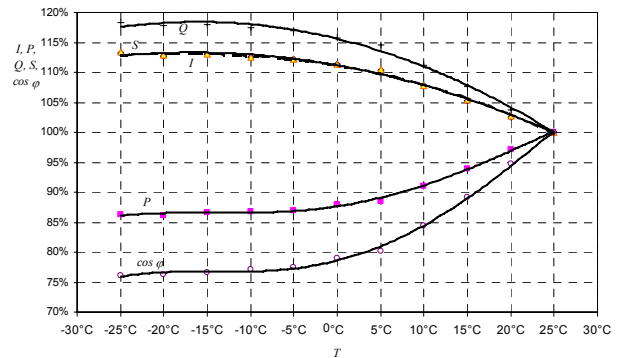
Rys. 3. Względne zmiany parametrów elektrycznych i fotometrycznych świetlóweki o mocy 8 W zarejestrowane bezpośrednio na lampie (źródło 1)



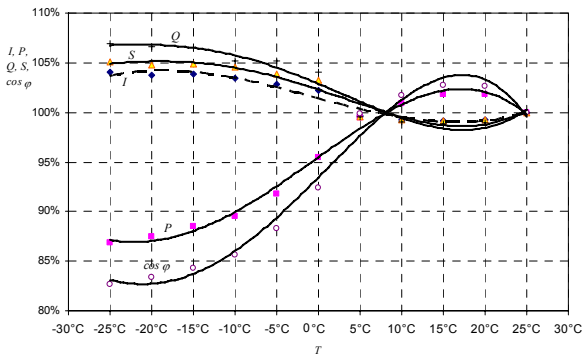
Rys. 4. Względne zmiany parametrów elektrycznych świetlóweki kompaktowej 18 W z dławikiem elektronicznym (źródło 3)



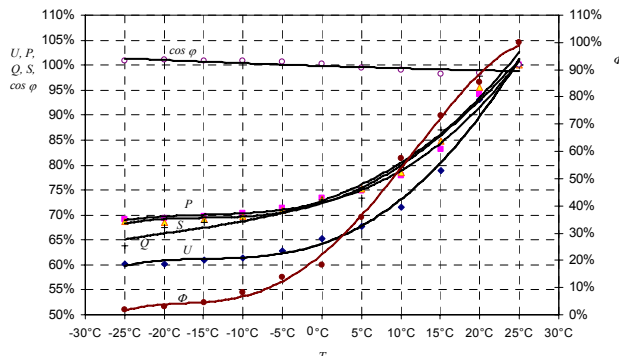
Rys. 5. Względne zmiany parametrów elektrycznych świetłówki kompaktowej 18 W z dławikiem konwencjonalnym (źródło 3)



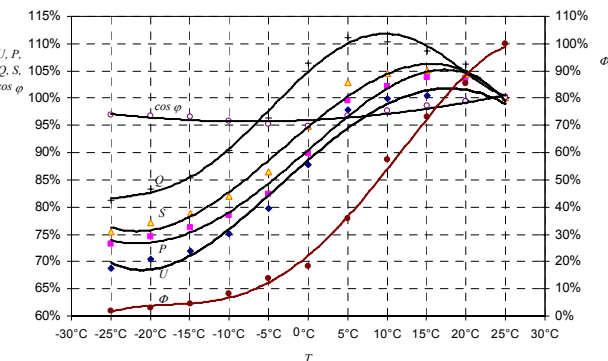
Rys. 9. Względne zmiany parametrów elektrycznych świetłówki 36 W na wejściu (źródło 7)



Rys. 6. Względne zmiany parametrów elektrycznych na zaciskach zasilających układ świetłówki mrozoodpornej o mocy 18 W (źródło 4)



Rys. 10. Względne zmiany parametrów elektrycznych świetłówki 36 W na lampie (źródło 7)



Rys. 7. Względne zmiany parametrów elektrycznych i fotometrycznych bezpośrednio na świetłowce mrozoodpornej o mocy 18 W (źródło 4)

Efektywność energetyczna badanych świetlówek

W technice świetlnej parametrem informującym o efektywności przemiany energii elektrycznej pobranej z sieci przez źródło światła na energię użyteczną - światło, jest parametr nazywany skutecznością świetlną. Oblicza się go, zgodnie z zależnością (1), jako iloraz strumienia świetlnego Φ wysyłanego przez źródło światła do pobranej mocy czynnej P . Im wyższa skuteczność świetlna źródła tym bardziej jest ono energooszczędne.

$$(1) \quad \eta = \frac{\Phi}{P}$$

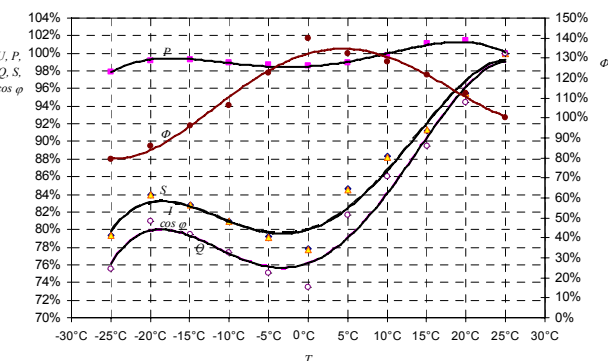
W przypadku obwodów z lampami wyładowcowymi współpracujących ze statecznikiem, przy określaniu skuteczności świetlnej, należy uwzględnić straty mocy w dławiku ΔP , zależność (2)

$$(2) \quad \eta = \frac{\Phi}{P + \Delta P}$$

Skuteczność świetlna źródła światła po uwzględnieniu dławika, z którym ono współpracuje, będzie oczywiście niższa.

Szczególną cechą świetlówek, na co zwrócono uwagę w publikacjach [7, 8, 9, 10], jest uzależnienie ich strumienia świetlnego od temperatury otoczenia. Zmianie ulegają także moc elektryczna pobierana przez układ, co w efekcie musi wpłynąć na skuteczność świetlną. Zmiany tego parametru w funkcji temperatury otoczenia badanych źródeł światła przedstawiono na rys. 11.

Z dniem uzyskania przez Polskę członkostwa UE zaczęły obowiązywać akty prawne wprowadzające do polskiego prawa dyrektywy Wspólnoty Europejskiej, m.in. [2]. Zgodnie z wymogami Dyrektywy 92/75EWG [3] wszystkie źródła światła (w tym także świetłówki liniowe o mocy do 58 W) przewidziane do użytku w gospodarstwach domowych i

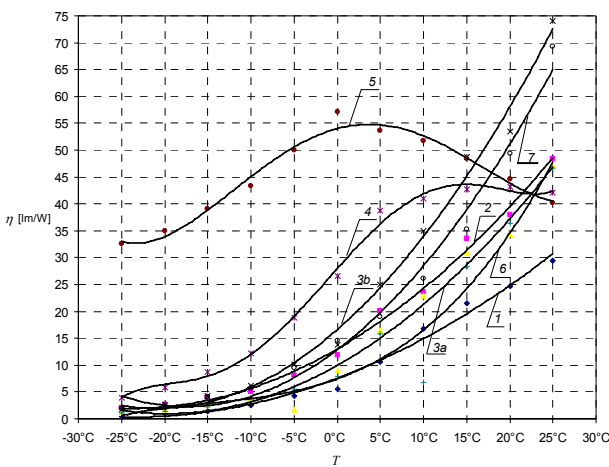


Rys. 8. Względne zmiany parametrów elektrycznych i fotometrycznych świetłówki zintegrowanej kompaktowej o mocy 18 W (źródło 5)

zasilane napięciem sieciowym, powinny na opakowaniach mieć zamieszczoną informację o efektywności energetycznej.

Klasa efektywności energetycznej oznaczana jest literami od A do G, gdzie „A” oznacza najwyższą sprawność, zaś „G” – najniższą. Na podstawie danych uzyskanych z pomiarów, korzystając z zależności analitycznych podanych w Dyrektywie [3], wyznaczono współczynniki efektywności energetycznych badanych źródeł światła. Na ich podstawie, zaszeregowano poszczególne lampy do odpowiedniej klasy energetycznej (tab. 2.).

Z uwagi na ujemną, nieliniową charakterystykę napięciowo-prądową świetlóвки nie mogą być włączone bezpośrednio do sieci zasilającej. Muszą one współpracować ze statecznikiem tradycyjnym (magnetycznym) lub, coraz częściej stosowanym, statecznikiem elektronicznym. Z tego też powodu, obliczenia współczynników efektywności energetycznej powtórzono w odniesieniu do całego układu (lampa + dławik). Wyznaczone klasy energetyczne podano w tabeli 2.



Rys. 11. Przebiegi zmiany skuteczności świetlnej świetlówek współpracujących z dławikiem w funkcji temperatury otoczenia, oznaczenia poszczególnych krzywych odpowiadają symbolom podanym w tabeli 1

Tabela 2. Zmiany klasy energetycznej badanych źródeł światła oraz całych układów w funkcji temperatury otoczenia

T	Symbole badanych źródeł światła wraz z dławikami															
	1		2		3 a		b		4		5		6		7	
	L	U	L	U	L	U	U	L	U	U	L	U	L	U	L	U
+25°C	B	B	A	B	A	B	A	B	B	B	A	B	A	B	A	B
+20°C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
+15°C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
+10°C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	B	B	B
+5°C	B	C	B	B	B	C	B	B	B	B	B	C	B	C	B	C
0°C	C	F	B	D	B	E	C	B	B	B	B	C	F	B	D	F
-5°C	C	G	C	F	C	G	D	B	B	B	B	C	G	C	F	F
-10°C	E	G	D	G	E	G	F	B	D	B	E	G	E	G	E	G
-15°C	G	G	E	G	F	G	G	B	E	B	G	G	G	G	G	G
-20°C	G	G	F	G	G	G	G	C	B	G	B	G	G	G	G	G
-25°C	G	G	G	G	G	G	G	D	G	B	G	G	G	G	G	G

L – lampa, U – układ (lampa + dławik)

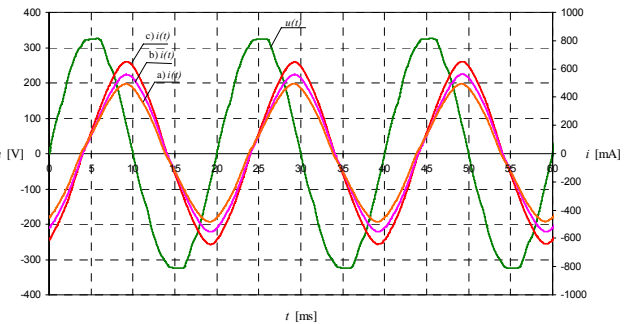
Klasy energetyczne przykładowych źródeł światła używanych w gospodarstwach domowych podano w tabeli 3.

Tabela 3. Klasy energetyczne wybranych źródeł światła

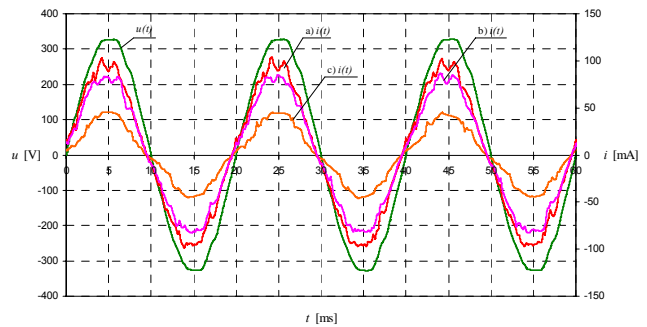
Lp.	Źródło światła	Klasa energetyczna
1.	zintegrowane świetlóвки kompaktowe, świetlóвки liniowe	A lub B
2.	diody elektroluminescencyjne	A
3.	żarówki halogenowe	C lub D
4.	żarówki tradycyjne (głównego szeregu)	E

Przebiegi czasowe napięć i prądów

Na rys. 12-13 przedstawiono przebiegi czasowe napięć i prądów na zaciskach wejściowych układu zasilającego świetlóvkę liniową o mocy 18 W. Rozważono dwa układy pracy – z dławikiem magnetycznym oraz z statecznikiem elektronicznym. Z uwagi na mnogość danych zdecydowano się na przedstawienie przebiegów dla trzech temperatur otoczenia: -25°C, 0°C oraz +25°C



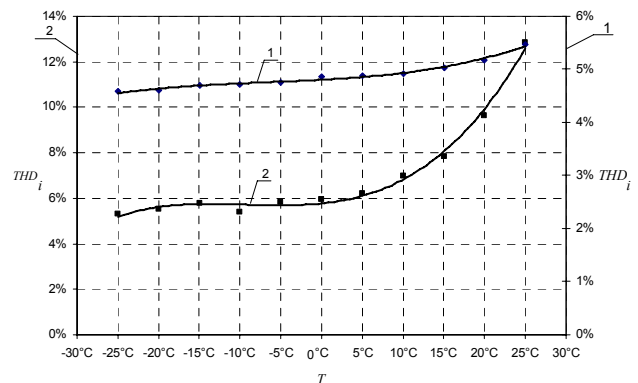
Rys. 12. Przebiegi czasowe napięcia i prądów dla świetlóvky liniowej o mocy 18 W współpracującej z dławikiem magnetycznym w temperaturze: a) +25°C, b) 0°C, c) -25°C



Rys. 13. Przebiegi czasowe napięcia i prądów dla świetlóvky liniowej o mocy 18 W (źródło 3) współpracującej z dławikiem elektronicznym w temperaturze: a) +25°C, b) 0°C, c) -25°C

Zarejestrowano także zawartości wyższych harmonicznych prądu (do 40-tej włącznie) na podstawie których (zgodnie z zależnością (3)) obliczono wartości współczynników odkształceń prądu THD_i . Wartości współczynników w funkcji temperatury otoczenia graficznie przedstawiono na rys. 14.

$$(3) \quad THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^h I_k^2}}{I_1} \cdot 100\%$$



Rys. 14. Zmiany współczynnika THD_i w funkcji temperatury otoczenia, przy współpracy świetlóvky liniowej (źródło 3) z dławikiem: 1) magnetycznym, 2) elektronicznym

Podsumowanie

Wraz z obniżaniem temperatury otoczenia, w związku z malejącym ciśnieniem we wnętrzu rury wyładowczej, obniża się skuteczność świetlna w zasadzie wszystkich świetlówek liniowych. Nawet w przypadku świetlówek mrozoodpornej, pomimo wyposażenia jej w przezroczystą zewnętrzną osłonę nałożoną na właściwą rurę wyładowczą, temperatura otoczenia ma istotny wpływ na wydajność świetlną lampy. Bez względu na moce świetlówek liniowych, w warunkach dużego mrozu, przy temperaturze -25°C , ich strumień świetlny spada do kilku procent (ok. 2%) w stosunku do wartości przy temperaturze $+25^{\circ}\text{C}$. W przypadku świetlówek mrozoodpornej sytuacja przedstawia się nie wiele lepiej (8%). Zastąpienie dławika konwencjonalnego statecznikiem elektronicznym praktycznie nie wpływa na zmianę strumienia świetlnego w funkcji temperatury otoczenia (zmiany są tak małe, że można je pominąć). Natomiast zabieg ten spowodował poprawę skuteczności świetlnej układu w pewnym zakresie temperatur.

Przeprowadzone badania, co prawda na pojedynczych egzemplarzach świetlówek różnych typów, pozwalają zaobserwować pewną powtarzającą się prawidłowość. Spadek temperatury otoczenia powoduje stopniowe obniżanie efektywności energetycznej. Układy wszystkich lamp (za wyjątkiem świetlówek kompaktowej) przy temperaturach ujemnych, począwszy od -20°C uzyskują najniższą klasę energetyczną. Oznacza to, że są one jeszcze mniej wydajnie niż tradycyjne żarówki głównego szeregu – źródła, które z powodu wysokiej energochłonności zaczęto stopniowo wycofywać z rynku.

Spośród przebadanych świetlówek najbardziej optymistyczne wyniki uzyskano w przypadku świetlówek kompaktowej, której rurki wyładowcze, wraz z dławikiem magnetycznym, osłonięto pryzmatycznym kloszem. Zamknięcie w kloszu lampy wraz z wydzielającym podczas pracy ciepło statecznikiem, okazało się najskuteczniejszym sposobem poprawy mrozoodporności. Świetlówka ta największy strumień świetlny uzyskuje w temperaturze 0°C , a przy -25°C nie spada on poniżej 80%. Na uwagę zasługuje także fakt, że w szerokim zakresie temperatur (od $+25^{\circ}\text{C}$ do -25°C) klasa energetyczna tego źródła jest na stałym poziomie.

Jak wykazały pomiary temperatura otoczenia ma także wpływ na wartość napięcia i moc lampy, które maleją przy obniżaniu temperatury. Wzrasta natomiast moc bierna oraz natężenie prądu pobierane przez układ świetlówek współpracującej z konwencjonalnym dławikiem. Inaczej sytuacja

przestawia się przy świetlówce ze statecznikiem elektronicznym. W tym przypadku moc bierna jak i natężenie prądu, wraz ze spadkiem temperatury, maleją.

Rejestracja przebiegów czasowych napięć i prądów oraz zawartości wyższych harmonicznych na zaciskach zasilających układy świetlówek liniowych pozwoliły zaobserwować ciekawe zjawisko. Zarówno przy współpracy świetlówek z dławikiem konwencjonalnym jak i elektronicznym, przy obniżaniu temperatury otoczenia, współczynnik THD_i , który jest miarą odkształcenia prądu, maleje. Zmiany te są większe w przypadku statecznika elektronicznego.

Niskoprężne lampy rtęciowe (świetlówek) w naszych warunkach klimatycznych, nie powinny pracować na zewnątrz budynków w zimie, bądź w pomieszczeniach w których temperatura spada poniżej zera. Z uwagi na znaczny spadek strumienia świetlnego, a co za tym idzie – skuteczności świetlnej, źródła te przestają być energooszczędne.

LITERATURA

- [1] Bąk J.: Wydajne energetyczne oświetlenie wnętrz, Biblioteka COSiW SEP Warszawa 2008
- [2] Dyrektywa 2005/32/WB Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 6 lipca 2005 ustanawiająca ogólne zasady wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów wykorzystujących energię
- [3] Dyrektywa 92/75/EWG Rady Komisji Europejskiej w zakresie etykietowania energii lamp gospodarstwa domowego
- [4] Pracki P. Ocena wydajności energetycznej oświetlenia wnętrz, Przegląd Elektrotechniczny R.85 nr 1K/2007 str. 47-50
- [5] Pracki P. Efektywność energetyczna oświetlenia obiektów użyteczności publicznej, Przegląd Elektrotechniczny R.85 nr 9/2009 str. 328-331
- [6] Pracki P. System oceny wydajności energetycznej oświetlenia wnętrz, Przegląd Elektrotechniczny R.85 nr 11/2009 str. 233-236
- [7] Tabaka P.: Badania porównawcze zamienników tradycyjnych żarówek, Przegląd Elektrotechniczny R.85 nr 9/2010 str. 315-321
- [8] Wiśniewski A.: Elektryczne źródła światła, Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2010
- [9] Zaremba K.: Wpływ budowy świetlówek na ich mrozoodporność w warunkach ruchu powietrza, Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej 1999, Elektryka zeszyt nr 15
- [10] Żagan W.: Podstawy techniki świetlnej, Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005

Autorzy: dr inż. Przemysław Tabaka, Politechnika Łódzka, Instytut Elektroenergetyki, ul. Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź, E-mail: przemyslaw.tabaka@wp.pl tel.: (42) 631 26 10