

Łukasz PUTZ\*, Ryszard NAWROWSKI\*

## **BADANIA I ANALIZA WYBRANYCH LAMP LED Z GWINTEM E27 W ZAKRESIE GENEROWANIA ODKSZTAŁCEŃ HARMONICZNYCH**

W artykule przedstawiono wyniki badań czterech kompaktowych lamp LED z trzonkiem E27. Zbadano parametry jakości energii elektrycznej w obwodzie zasilającym diodowe źródło światła. Szczególną uwagę zwrócono na wyższe harmoniczne prądu oraz współczynnik zawartości wyższych harmonicznych. Omówiono zagrożenia jakie mogą wynikać ze stosowania dużej liczby elektroluminescencyjnych źródeł światła. Przytoczono również wymagania normy PN-EN 61000-3-2 dla oświetlenia LED w zakresie harmonicznych prądu. Następnie przeprowadzono analizę porównawczą uzyskanych wyników badań poszczególnych lamp LED z wymogami normy.

**SŁOWA KLUCZOWE:** dioda elektroluminescencyjna, jakość energii elektrycznej, lampa LED, współczynnik THD, wyższe harmoniczne.

### **1. WSTĘP**

Lampy z diodami elektroluminescencyjnymi to najnowsza generacja elektrycznych źródeł światła, które wprowadzane są w przemyśle oświetleniowym na szeroką skalę. Lampami LED zastępuje się obecnie tradycyjne lampy żarowe, lampy fluorescencyjne oraz lampy metalohalogenkowe w oświetleniu domowym, a także w miejscach użyteczności publicznej [11]. Znajdują one również zastosowanie w oświetleniu ulicznym oraz przemysłowym, coraz skuteczniej wypierając nisko- i wysokoprężne lampy wyładowcze [10]. Są także stosowane jako oświetlenie dekoracyjne do iluminacji budynków, jak również innych obiektów (np. pomniki, mosty). W niedługim czasie lampy te mogą stanowić zdecydowaną większość wśród wszelkich elektrycznych źródeł światła. Równocześnie znacząco wzrasta zagrożenie wynikające z generowanych przez lampy LED wyższych harmonicznych prądu. Aktualnie wciąż prowadzone są prace badawcze nad ograniczeniem generowania harmonicznych prądu przez półprzewodnikowe źródła światła [9]. Na rynek oświetleniowy wprowadzane są coraz lepsze jakościowo lampy LED. Jednak są to rozwiązania dość drogie i przez to niechętnie stosowane. Najczęściej wybierane są te z najniższej półki cenowej,

---

\* Politechnika Poznańska

o niskich parametrach jakości energii elektrycznej. Jak się okazuje zróżnicowanie pod względem generowania wyższych harmonicznych prądu przez elektroluminescencyjne źródła światła jest bardzo duże. Zostanie to wykazane w niniejszym artykule, na przykładzie badań parametrów jakości energii elektrycznej lamp LED wykonanych na trzonku E27.

## 2. ZAGROŻENIA WYNIKAJĄCE Z UŻYTKOWANIA LAMP LED

Źródła światła LED są odbiornikami o charakterze pojemnościowym oraz pobierają prąd, którego sygnał jest znacznie odkształcony od sinusoidy. Na charakter odbiornika i kształt przebiegu prądu znaczący wpływ mają układy sterująco-zasilające, zbudowane z wykorzystaniem impulsowych przetwornic DC-DC. W efekcie pogorszeniu ulega współczynnik mocy (pobierana jest duża moc bierna) oraz generowane są wyższe harmoniczne prądu, które mają wpływ na odkształcenie napięcia w sieci zasilającej [2].

Podwyższona zawartość harmonicznych napięcia lub prądu może prowadzić do niewłaściwego działania, zwiększenia awaryjności, a nawet uszkodzenia innych urządzeń podłączonych do instalacji elektrycznej [2]. Kwestia pogorszenia parametrów elektrycznych jest szczególnie istotna w przypadku dołączania kompaktowych opraw LED, będących zamiennikami tradycyjnych źródeł światła (np. źródła światła na trzonku E27). Ze względu na ograniczone wymiary takich lamp trudne jest zastosowanie wewnątrz nich rozbudowanych układów korekcji odkształceń prądu.

Ponadto rangę omawianego zagadnienia podnoszą zapisy zawarte w Dyrektywie 2005/32/WE Parlamentu Europejskiego, które zakazują dalszej produkcji oraz wprowadzania na Rynek Europejski żarowych źródeł światła (z wyłączeniem specjalnych zastosowań, gdzie ich użycie jest niezbędne). Dyrektywa jednocześnie nakazuje przechodzenie na oświetlenie energooszczędne (np. lampy LED) [3].

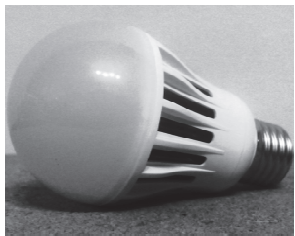
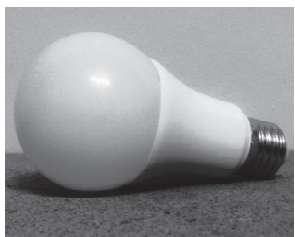

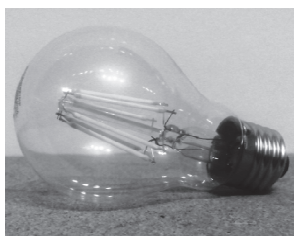
## 3. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

Do przeprowadzenia badań losowo wybrano cztery rodzaje kompaktowych lamp LED z gwintem E27. Wybrane źródła światła różnią się między sobą pod wieloma względami. Różnice wynikają między innymi z:

- a) topologii układu drivera – buck lub boost,
- b) typu modułu LED – SMD, COB lub COG,
- c) ceny rynkowej – od 2 do 10 Euro,
- d) temperatury barwowej – od 2700 do 6500 K,
- e) mocy czynnej lampy LED – od 8 do 12 W.

Parametry wybranych lamp LED zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry katalogowe lamp LED wybranych do badań [4, 5, 6, 7].

Lampa LED nr 1	Oznaczenie:	<b>LED-COB-12W-E27 [4]</b>	
		$P_n$	12 W
		$U$	100÷240 V
		$f$	50/60 Hz
		$\Phi$	1000 lm
		$T_C$	6500 K
		Typ diod LED	COB
		Liczba modułów LED	1
		Topologia zasilacza	buck
		Cena	~2 €
Lampa LED nr 2	Oznaczenie:	<b>LED-SMD3030-10W-E27 [6]</b>	
		$P_n$	10 W
		$U$	220÷240 V
		$f$	50/60 Hz
		$\Phi$	810 lm
		$T_C$	2700 K
		Typ diod LED	SMD3030
		Liczba modułów LED	13
		Topologia zasilacza	Boost
		Cena	~10 €
Lampa LED nr 3	Oznaczenie:	<b>LED-SMD5630-9.5W-E27 [7]</b>	
		$P_n$	9,5 W
		$U$	220÷240 V
		$f$	50/60 Hz
		$\Phi$	806 lm
		$T_C$	2700 K
		Typ diod LED	SMD5630
		Liczba modułów LED	32
		Topologia zasilacza	Boost
		Cena	~8 €
Lampa LED nr 4	Oznaczenie:	<b>LED-COG-8W-E27 [5]</b>	
		$P_n$	8 W
		$U$	220÷240 V
		$f$	50/60 Hz
		$\Phi$	1055 lm
		$T_C$	4000 K
		Typ diod LED	COG
		Liczba modułów LED	8
		Topologia zasilacza	buck
		Cena	~5 €

#### 4. WYMAGANIA NORMY PN-EN 61000-3-2:2014-10

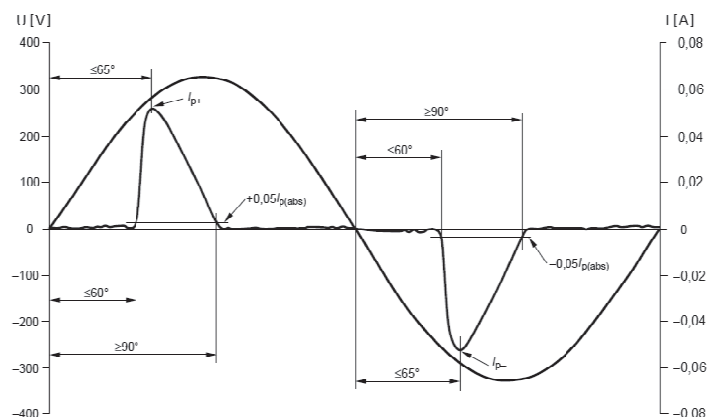
W normie IEC 61000-3-2 [8] dokonano podziału odbiorników elektrycznych o prądzie fazowym mniejszym lub równym 16 A na cztery klasy: A, B, C oraz D. Badane źródła światła LED na trzonku E27 należy zakwalifikować do urządzeń klasy C (sprzęt oświetleniowy). Autorzy normy dzielą urządzenia oświetleniowe na dwie grupy, w których obowiązują różne poziomy dopuszczalne wyższych harmonicznych prądu. Jako kryterium tego podziału ustalono wejściową moc czynną urządzeń. Do jednej grupy należą odbiorniki, których moc przekracza 25 W, natomiast do drugiej odbiorniki o mocy do 25 W włącznie. Wszystkie analizowane w niniejszym artykule lampy LED należą do drugiej grupy. Jednak, dla tej grupy odbiorników energii elektrycznej, w normie nie określono na sztywno jednoznacznych wymagań odnośnie dopuszczalnych wartości wyższych harmonicznych prądu. Podano dwa zestawy wymagań, ale wyraźnie zaznaczono, że wystarczy spełnić tylko jedno z nich (dowolne i jednocześnie korzystniejsze), by spełnić wymagania normy [8]:

1) *Poszczególne prądy harmoniczne*, przeliczone na jeden wat mocy czynnej lampy LED, nie powinny przekraczać poziomów dopuszczalnych przedstawionych w tabeli 2.

Tabela 2. Dopuszczalne wartości harmonicznych prądu dla urządzeń klasy C (o mocy czynnej  $P \leq 25$  W) według normy [8].

Rząd wyższej harmonicznej prądu h	Dopuszczalny prąd wyższej harmonicznej w przeliczeniu na jeden wat wejściowej mocy czynnej lampy LED $I_h$ [mA/W]
3	3,4
5	1,9
7	1,0
9	0,5
11	0,35
13, 15, ..., 39	3,85 / h

2) *Prądy trzeciej i piątej harmonicznej*, wyrażone w procentach składowej podstawowej prądu lampy LED, nie powinny przekroczyć odpowiednio 86% i 61%, a jednocześnie kształt przebiegu czasowego prądu powinien spełniać określone parametry, które przedstawiono na rys. 1.

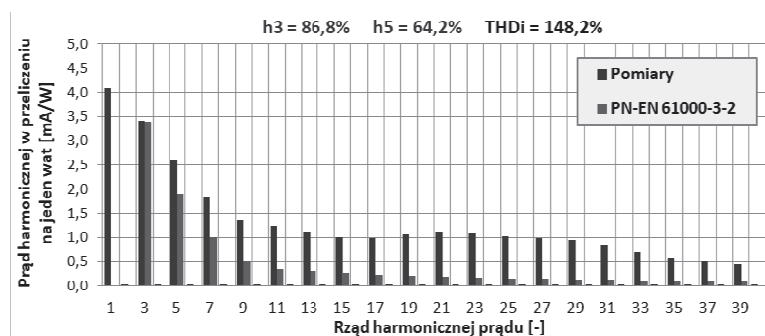


Rys. 1. Wymagane parametry przebiegów czasowych prądu dla urządzeń klasy C, gdzie  $I_{p(abs)}$  jest największą wartością bezwzględną z  $I_{p+}$  lub  $I_{p-}$  (według normy [8])

## 5. WYNIKI BADAŃ JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

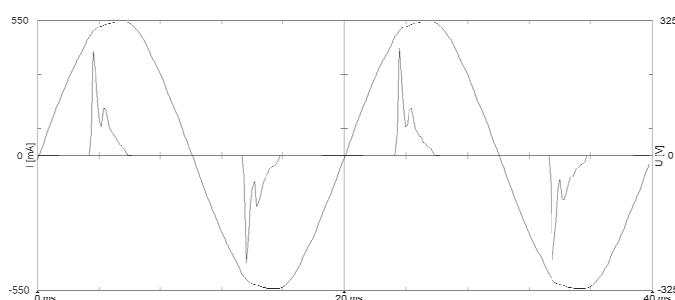
### 5.1. LED-COB-12W-E27

Zasilacz zaimplementowany w badanym źródle światła LED jest układem niskobudżetowym bez zaawansowanych rozwiązań tłumiących propagację wyższych harmonicznych prądu czy korygujących współczynnik mocy. Świadczy o tym wartość współczynnika szczytu sygnału prądu  $CF_I = 4,52$  oraz współczynnika mocy  $PF$ , która wynosi 0,47. Układ drivera generuje wyższe harmoniczne prądu o wartościach znacznie przekraczających poziomy dopuszczalne określone w normie [8], co przekłada się również na bardzo wysoką wartość wskaźnika  $THD_I$ , który osiąga aż 148,2%. W wykresie spektralnym harmonicznych prądu dominują nieparzyste harmoniczne, które nawet do 25 rzędu przekraczają wartość 1 mA na każdy wat mocy czynnej lampy LED (rys. 2).



Rys. 2. Widmo wyższych harmonicznych prądu dla lampy LED-COB-12W-E27

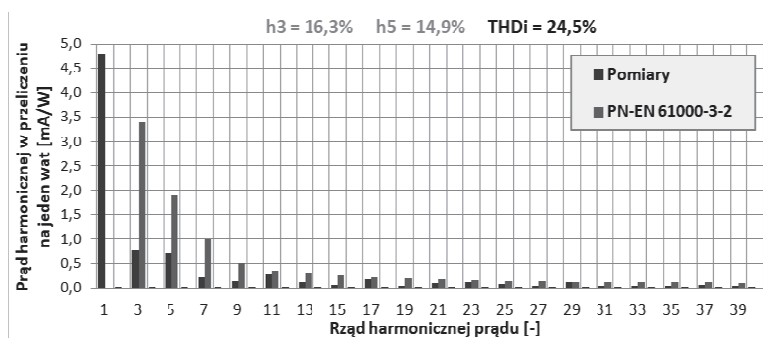
Parametry jakości energii elektrycznej w instalacji zasilającej badaną kompaktową lampę LED mogą ulec pogorszeniu, gdy jednocześnie zastosowanych zostanie wiele tego typu źródeł światła. W oscylogramie przedstawionym na rys. 3 wyraźnie widoczny jest impulsowy (silnie odkształcony od sinusoidy) kształt przebiegu czasowego prądu. Współczynnik mocy  $\cos\varphi$  osiąga wartość 0,95 i gdyby nie zbyt wysokie wartości składowej  $h_3$  oraz  $h_5$  (odpowiednio 86,8% oraz 64,2%), to badana lampa LED wykazywałaby zgodność z wymaganiami normy [8].



Rys. 3. Przebiegi czasowe napięcia oraz natężenia prądu dla lampy LED-COB-12W-E27

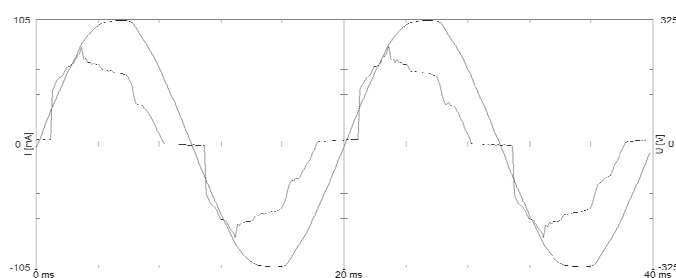
## 5.2. LED-SMD3030-10W-E27

Parametry elektryczne układu zasilacza zintegrowanego w badanej lampie LED świadczą o jego wysokiej klasie. Współczynnik szczytu przebiegu czasowego prądu  $CF_I$  wyniósł 1,74 jest zbliżony do współczynnika szczytu sygnału sinusoidalnego ( $CF_{I_{sin}} = 1,41$ ), co przekłada się na niższą zawartość wyższych harmonicznych w przebiegu prądu (rys. 4). Ponadto uzyskano również wysokie i porównywalne wartości obu współczynników mocy ( $\cos\varphi = 0,94$  i  $PF = 0,91$ ). W driverze został więc zastosowany filtr tłumiący wyższe harmoniczne prądu (układ korekcji  $PFC$ ). Dzięki takiemu zabiegowi badane źródło światła spełnia wszelkie wymagania normy [8].



Rys. 4. Widmo wyższych harmonicznych prądu dla lampy LED-SMD3030-10W-E27

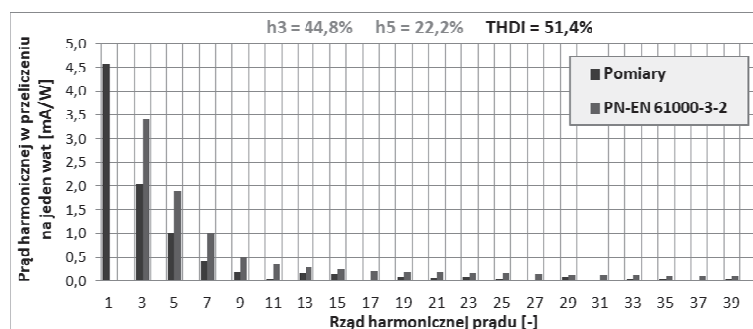
Wykonanie drivera lampy LED bazującego na przetwornicy typu *boost* pozwoliło na uzyskanie dużo mniejszych odkształceń prądu niż ma to miejsce w przypadku przetwornic typu *buck*. Świadczy o tym chociażby niska (jak na kompaktowe lampy LED) wartość współczynnika  $THD_I = 24,5\%$ . Jest on kilkakrotnie niższy niż w poprzedniej lampie, ale mimo wszystko badane źródło światła może w dalszym ciągu stwarzać zagrożenie dla instalacji elektrycznej oraz innych odbiorników. Na rys. 5 przedstawiono kształt i przesunięcie przebiegu czasowego prądu w odniesieniu do sygnału napięcia zasilającego.



Rys. 5. Przebiegi czasowe napięcia oraz natężenia prądu dla lampy LED-SMD3030-10W-E27

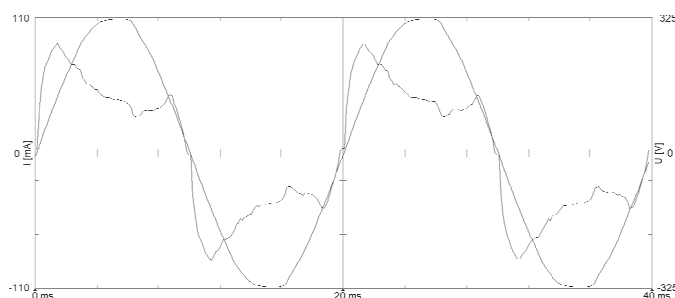
### 5.3. LED-SMD5630-9.5W-E27

Parametry elektryczne układu zasilacza zintegrowanego w badanej lampie LED świadczą o jego dobrej jakości. Współczynnik szczytu przebiegu czasowego prądu  $CF_I = 2,03$  odbiega od współczynnika szczytu sygnału sinusoidalnego, co oznacza obecność wyższych harmonicznych w przebiegu czasowym prądu – współczynnik zawartości harmonicznych prądu  $THD_I$  osiąga poziom  $51,4\%$  (rys. 6). Mimo to badane źródło światła spełnia wymagania normy [8]. W układ drivera wbudowany został układ korekcji *PFC*. Pozwoliło to również uzyskać stosunkowo wysokie i porównywalne wartości obu współczynników mocy ( $\cos\varphi = 0,93$  i  $PF = 0,88$ ), chociaż moc bierna pojemnościowa ( $Q = 3,7$  var) jest wciąż wysoka, w odniesieniu do mocy czynnej ( $P = 9,5$  W).



Rys. 6. Widmo wyższych harmonicznych prądu dla lampy LED-SMD5630-9.5W-E27

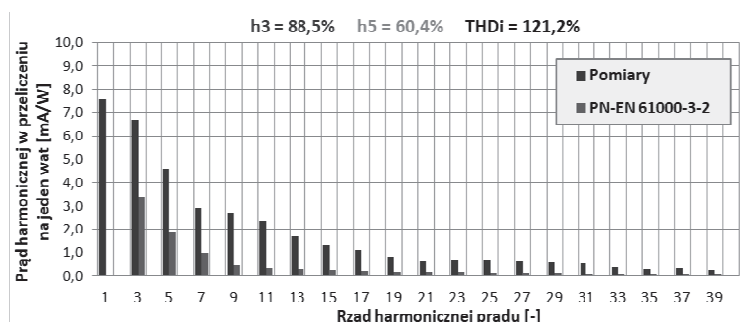
Wykonanie drivera lampy LED na przetwornicy podwyższającej napięcie (*boost*) pozwoliło na uzyskanie dużo mniejszych odkształceń prądu niż ma to miejsce w przypadku przetwornic obniżających napięcie (*buck*). Na rys. 7 przedstawiono kształt i przesunięcie przebiegu czasowego prądu względem sygnału napięcia zasilającego. Mimo tego, że nie jest to sygnał impulsowy, to nadal znacznie odbiega od sygnału sinusoidalnego.



Rys. 7. Przebiegi czasowe napięcia oraz natężenia prądu dla lampy LED-SMD5630-9.5W-E27

#### 5.4. LED-COG-8W-E27

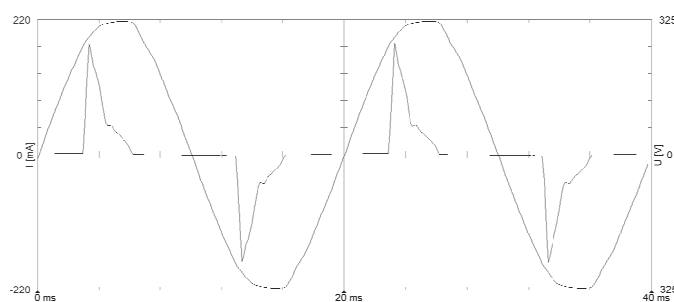
Wartość współczynnika szczytu dla prądu  $CF_I = 3,06$  oraz duża rozbieżność między współczynnikami mocy  $\cos\varphi = 0,91$  i  $PF = 0,63$  oznaczają, że przebieg czasowy natężenia prądu jest mocno odkształcony od sinusoidy. W układzie zasilacza lampy LED generowane są wyższe harmoniczne prądu o bardzo dużych wartościach (rys. 8). W konsekwencji wskaźnik  $THD_I$  osiąga wartość 121,2%. Badane źródło światła nie spełnia założeń określonych w normie [8]. W zakresie nieparzystych harmonicznych prądu wszystkie przekraczają dopuszczalne wartości. Z kolei według drugiego założenia, choć przebieg czasowy natężenia prądu ma odpowiedni kształt i wartość składowej  $h_5 = 60,4\%$  jest niższa od dopuszczalnej, to jednak składowa  $h_3$  przekracza dopuszczalny poziom i osiąga wartość 88,5%.



Rys. 8. Widmo wyższych harmonicznych prądu dla lampy LED-COG-8W-E27



Oscylogramy sygnału prądu oraz napięcia przedstawiono na rys. 9. W przebiegu prądu wyraźnie zauważalne jest impulsowe działanie przetwornicy DC-DC. Można wysunąć wniosek, że w zasilaczu badanego źródła światła LED w ogóle nie zastosowano układu korekcji współczynnika mocy *PFC*. Z przeprowadzonej analizy wynika, że badany układ zasilacza zintegrowanego w lampie LED bardzo negatywnie wpływa na parametry jakości energii elektrycznej w instalacji zasilającej.



Rys. 9. Przebiegi czasowe napięcia oraz natężenia prądu dla lampy LED-COG-8W-E27

## 6. PODSUMOWANIE

Lampy i oprawy LED są coraz częściej podłączane do instalacji elektrycznych jako odbiorniki oświetleniowe, a w niedługim czasie mogą stanowić zdecydowaną większość wśród wszelkich elektrycznych źródeł światła. W związku z powyższym znacząco może wzrosnąć zagrożenie wynikające z generowanych przez lampy LED wyższych harmonicznych natężenia prądu. Pomimo tego, że moce jednostkowe tych odbiorników są bardzo małe w porównaniu z odbiorami przemysłowymi, to jednak występują one w bardzo dużej liczbie, a dodatkowym utrudnieniem w ograniczaniu generowanych przez nie wyższych harmonicznych prądu jest duże rozproszenie półprzewodnikowych źródeł światła w sieciach zasilających.

Z przeprowadzonych badań wynika, że część źródeł światła LED spełnia wymagania normatywne [8]. Są to lampy zdecydowanie droższe od pozostałych i można w ich przypadku założyć, że producent dołożył wszelkich starań, żeby jego produkty były zgodne z obowiązującymi uregulowaniami prawnymi. Nie oznacza to jednak, że nawet takie oświetlenie nie stanowi problemu dla instalacji zasilających czy innych odbiorników elektrycznych przyłączonych do takiej instalacji. Spośród przebadanych lamp LED najlepsza pod względem zawartości wyższych harmonicznych prądu osiąga współczynnik  $THD_I$  na poziomie 24,5%, a druga 51,4%. Wyniki pomiarów obu źródeł światła są zgodne z wytycznymi normy [8]. Mimo to wartości te są zbyt wysokie, by móc stwierdzić, że tego typu oświetlenie nie stanowi zagrożenia wynikającego z wysokich poziomów wyższych harmonicznych natężenia prądu.

## LITERATURA

- [1] Bednarek K., Kasprzyk L., Suppression of higher harmonic components introduction to the networks and improvement of the conditions of electric supply of electrical equipment, *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 88, nr 12b, 2012, pp. 236-239.
- [2] Bednarek K., Typańska D., Jakość i bilans energii w sieci zasilającej obiektu biurowo-magazynowego, *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 93, nr 12, 2017, pp. 63-66.
- [3] Dyrektywa 2005/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 6 lipca 2005 r. ustanawiająca ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów wykorzystujących energię oraz zmieniająca dyrektywę Rady 92/42/EWG, oraz dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 96/57/WE i 2000/55/WE.
- [4] Karta katalogowa lampy LED z diodami typu COB o mocy 12 W.
- [5] Karta katalogowa lampy LED z diodami typu COG o mocy 8 W.
- [6] Karta katalogowa lampy LED z diodami typu SMD3030 o mocy 10 W.
- [7] Karta katalogowa lampy LED z diodami typu SMD5630 o mocy 9,5 W.
- [8] Norma PN-EN 61000-3-2:2014-10 – Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 3–2: Poziomy dopuszczalne - Poziomy dopuszczalne emisji harmonicznych prądu (fazowy prąd zasilający odbiornika  $\leq 16$  A).
- [9] Putz Ł., Kurzawa M., Two-Step Power Supply Application to Reduce THDi Ratio in LED Light Sources with Integrated Driver, *IEEE Xplore*, 2016, DOI: 10.1109/CPEE.2016.7738743.
- [10] Putz Ł., Nawrowski R., Energy efficiency analysis of lighting installations using LED technology, *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 89, nr 6, 2013, pp. 296–298.
- [11] Putz Ł., Typańska D., Analysis of the light and energy performance inside a lobby with an illumination made in LED technology, *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 90, nr 3, 2014, pp. 111–114.

### RESEARCH AND ANALYSIS OF SELECTED LED LAMPS WITH E27 BASE IN THE FIELD OF HARMONIC DISTORTION

The article presents the results of testing of four compact LED lamps with the E27 base. Power quality parameters were subject to the testing in the circuit which powered the LED light sources. Particular attention was paid to higher harmonics of current and the total harmonic distortion. The obtained testing results for the respective LED lamps were analyzed in comparison with the requirements of the IEC 61000-3-2 standard. Also has been presented the way to make lower THD<sub>I</sub> ratio in the lighting system where work this same LED lamps with E27 base. Additionally has been plotted the characteristics of THD<sub>I</sub> in the relation to the active power cooperating LED lamps.

*(Received: 22.02.2019, revised: 10.03.2019)*