

## Badania zniekształceń prądu zasilającego i egzytancji energetycznej wybranych lamp

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki pomiarów ilustrujących właściwości wybranych lamp z punktu widzenia sieci elektroenergetycznej. Do badań wybrano lampę halogenową, świetlówkę kompaktową oraz 3 różne lampy LED. Przedstawiono zastosowany układ pomiarowy oraz zmierzone przebiegi czasowe oraz widma częstotliwościowe prądu zasilającego badane lampy. Wyznaczono i przedyskutowano wartości wybranych parametrów charakteryzujących wpływ tych lamp na sieć elektroenergetyczną.

**Abstract.** The paper presents the results of measurements illustrating the properties of selected lamps from the point of view of the power grid. A halogen lamp, a compact fluorescent lamp and 3 different LED lamps were selected for the investigations. The applied measuring system as well as the measured waveforms and frequency spectra of the current supplying the tested lamps are presented. The values of selected parameters characterizing the influence of these lamps on the power grid were measured and discussed. (Investigations of the distortion of the supply current and optical parameters of selected lamps)

**Słowa kluczowe:** Lampy, jakość energii elektrycznej, widmo prądu zasilania, współczynnik mocy.

**Keywords:** Lamps, power quality, spectrum of supply current, power factor

### Wprowadzenie

Od początku XXI wieku obserwuje się szybki rozwój półprzewodnikowych źródeł światła [1]. Źródła te są powszechnie wykorzystywane zarówno w gospodarstwach domowych, jak i w przedsiębiorstwach i instytucjach publicznych. Ze względu na fakt, że elementy emitujące światło w tych lampach (diody LED) wymagają zasilania prądem o ustalonej wartości, a w sieci elektroenergetycznej stosowane jest napięcie sinusoidalnie zmienne, lampy LED (Light Emitting Diodes) muszą zawierać odpowiednie układy zasilające [2-5].

Uzyskanie wysokiej sprawności energetycznej tych układów wymaga zastosowania w rozważanej klasie lamp zasilaczy impulsowych [5, 6, 7]. Ich cechą jest impulsowy przebieg prądu pobieranego z sieci elektroenergetycznej [6], który niekorzystnie wpływa na parametry tej sieci i właściwości innych urządzeń zasilanych z niej [5, 7].

W celu scharakteryzowania wpływu urządzeń elektrycznych na sieć zasilającą wykorzystuje się różne parametry, np. współczynnik mocy PF (Power Factor) lub współczynnik zawartości harmonicznych prądu THD<sub>i</sub> (Total Harmonic Distortion) [7-10]. W przypadku wyznaczania wartości każdego z tych parametrów wykonywane są pomiary widma prądu zasilającego. W pracach [7, 11] przedstawiono wyniki takich pomiarów dla wybranych lamp, jednak prezentowane tam wyniki są obciążone niedokładnością związaną z uwzględnieniem niewielkiej liczby harmonicznych częstotliwości sieciowej oraz pominięciu wpływu widma fazowego na wartość THD. Istotne znaczenie mają także pomiary charakterystyk fotometrycznych i radiometrycznych badanych źródeł światła.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki pomiarów parametrów charakteryzujących odkształcenie prądu zasilającego wybrane lampy LED oraz wybrane wyniki pomiarów parametrów radiometrycznych. Przedstawiono parametry badanych lamp i zastosowany układ pomiarowy oraz uzyskane przebiegi czasowe i widma rozważanego prądu. Uzyskane wyniki badań porównano z wynikami uzyskanymi dla wybranych klasycznych źródeł światła. Przedyskutowano uzyskane wyniki badań.

### Badane źródła światła

Do badań eksperymentalnych wybrano pięć źródeł światła, którymi są: lampa halogenowa OSRAM Classic (Lampa 1), świetlówka kompaktowa BRILUX (Lampa 2),

lampa LED NIVISS (Lampa 3), lampa LED SPECTRUM (Lampa 4) oraz lampa PHILIPS HUE (Lampa 5). Wartości wybranych parametrów eksploatacyjnych badanych źródeł światła zebrano w Tabeli 1.

Badane źródła światła mogą pracować przy zasilaniu napięciem przemiennym o wartości skutecznej  $U_{weRMS}$  z zakresu od 100 V do 240 V. Wyjątkiem jest lampa 4, dla której napięcie  $U_{weRMS}$  mieści się w zakresie od 180 V do 240 V. Wszystkie rozważane lampy charakteryzują się wartością emitowanego strumienia świetlnego  $\phi_v$  z zakresu od 270 lm dla lampy 3 do 1,1 klm dla lampy 2. Deklarowany czas życia mieści się w zakresie od 2 kh dla lampy 1 do 50 kh dla lampy 3. Moc  $P$  pobierana z sieci elektroenergetycznej przez badane źródła światła mieści się w zakresie od 4 W dla lampy 3 do 57 W dla lampy 1. Temperatura barwowa CCT przyjmuje wartości z zakresu od 2700 K dla lamp 2, 3 i 4 do 3000 K dla lampy PHILIPS HUE (Lampa 5) [12].

Tabela 1. Wartości wybranych parametrów eksploatacyjnych badanych źródeł światła [12]

Źródło światła	$\phi_v$ [lm]	Czas pracy [h]	P [W]	CCT [K]
Lampa Halogenowa (Lampa 1)	915	2 000	57	2 800
Lampa Kompaktowa (Lampa 2)	1 100	6 000	18	2 700
Lampa LED Niviss (Lampa 3)	270	50 000	4	2 700
Lampa LED Spectrum (Lampa 4)	1 050	17 000	11,5	2 700
Lampa LED Philips HUE (Lampa 5)	806	20 000	9,5	3 000

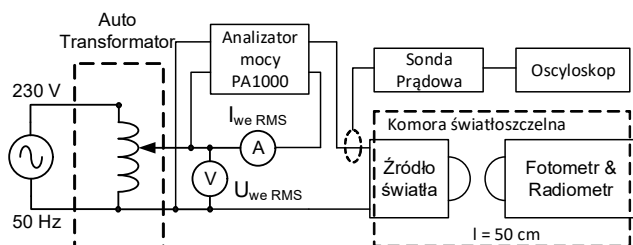
Lampa LED Philips Hue (Lampa 5) jest bezprzewodowo sterowanym źródłem światła typu 9CK produkowanym przez firmę Philips Lighting [13] emitującym światło w kolorze białym. Lampa ta może być sterowana za pomocą aplikacji Philips Hue w wersji 3.0.1 przeznaczonej dla urządzeń mobilnych z systemami operacyjnymi Windows, iOS oraz Android. Aplikacja ta umożliwia regulację temperatury barwowej CCT oraz wartości natężenia

oświetlenia w zakresie od 1 do 100% wartości znamionowej z krokiem 1%. Podczas badań eksperymentalnych temperaturę barwową ustalono na poziomie 2700 K, natomiast wartość natężenia oświetlenia ustawiono na 100%. Dokładny opis systemu bezprzewodowego Philips Hue przedstawiono w pracy [11].

### Układ pomiarowy

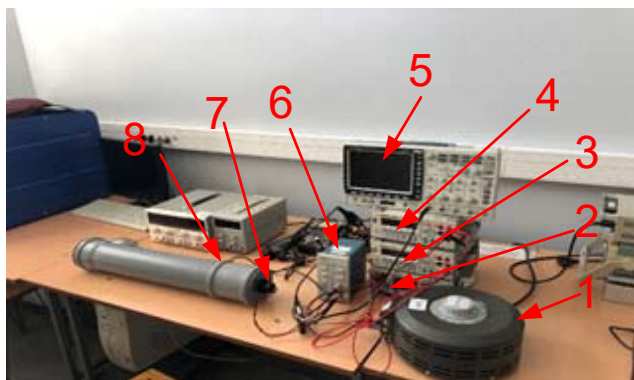
Na rysunku 2 przedstawiono schemat blokowy układu pomiarowego do badania zniekształceń prądu zasilającego oraz wybranych parametrów optycznych źródeł światła.

Badane źródło światła jest zasilane z autotransformatora ATS-REG1.2 [14] pozwalającego uzyskać napięcie zasilające  $U_{weRMS}$  o wartości skutecznej z zakresu od 0 do 240 V. Dwa multimetry RIGOL typu DM3068 [15] umożliwiają pomiar wartości skutecznej napięcia zasilającego  $U_{weRMS}$  oraz prądu zasilającego  $I_{weRMS}$ . Sonda prądowa Tektronix T CPA300 [16] przy współpracy z oscyloskopem Gwlnstek typu GDS2104A [17] rejestruje przebiegi prądu zasilającego. Jednofazowy analizator sieci elektroenergetycznej PA1000 [18] firmy Tektronix umożliwia pomiar współczynników zawartości harmonicznycy prądu  $THD_I$  i napięcia  $THD_U$  zasilającego oraz pomiar współczynnika mocy PF w szerokim zakresie zmian napięcia zasilającego od 100 do 230 V.



Rys. 2. Schemat blokowy układu do badania parametrów eksploatacyjnych wybranych lamp

Przedstawiony układ pomiarowy pozwala również na pomiar wybranego parametru radiometrycznego, którym jest egzytancja energetyczna  $E_e$  badanych źródeł światła. W tym celu zastosowano radiometr HD2302 z głowicą LP471RAD [19] charakteryzującą się pasmem pomiarowym od 400 do 1050 nm. Fotometr oraz radiometr wraz z badanym źródłem światła zostały umieszczone w światłoszczelnym torze pomiarowym o długości 50 cm. Na rysunku 3 został przedstawiony widok stanowiska pomiarowego.



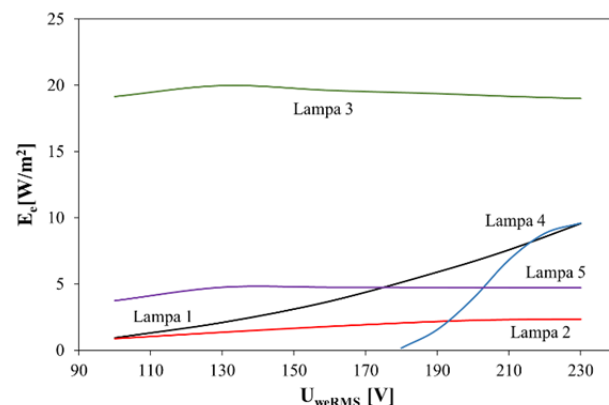
Rys. 3. Widok opracowanego stanowiska pomiarowego: autotransformator (1), jednofazowy analizator mocy (2), miernik wartości skutecznej prądu zasilającego (3), miernik wartości skutecznej napięcia zasilającego (4), oscyloskop (5), sonda prądowa (6), głowica radiometru (7), komora światłoszczelna (8)

### Wyniki pomiarów

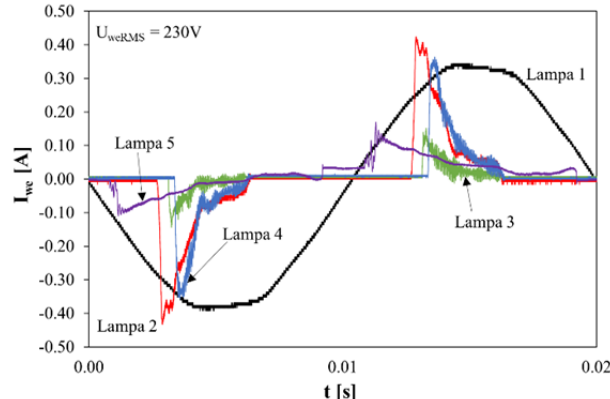
Wykorzystując opisane w poprzednim rozdziale stanowisko pomiarowe zmierzono wybrane parametry elektryczne i radiometryczne badanych lamp. Wyniki tych pomiarów przedstawiono na rys. 4 - 9.

Rysunek 4 ilustruje zależność egzytancji energetycznej  $E_e$  dla poszczególnych lamp od wartości skutecznej napięcia zasilania  $U_{weRMS}$ . Jak można zauważyć, dla lamp 1, 2 i 4 zależność  $E_e(U_{weRMS})$  jest funkcją monotonicznie rosnącą, natomiast dla pozostałych lamp rozważana zależność posiada maksimum przy  $U_{weRMS} = 140$  V.

Rysunek 5 ilustruje czasowy przebieg prądów zasilania badanych lamp przy napięciu zasilania  $U_{weRMS} = 230$  V.



Rys. 4. Zależność egzytancji energetycznej od napięcia zasilania dla badanych lamp



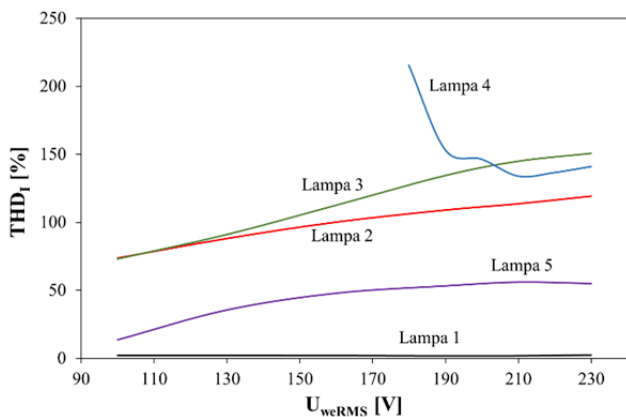
Rys. 5. Czasowe przebiegi prądu zasilania badanych lamp przy nominalnej wartości napięcia zasilania  $U_{weRMS} = 230$  V

Jak można zauważyć, tylko dla lampy halogenowej (lampa 1) przebieg  $I_{we}(t)$  ma kształt zbliżony do przebiegu sinusoidalnego, natomiast dla pozostałych lamp widać wyraźnie odkształcenie rozważanych przebiegów. Kształt tych przebiegów wskazuje na pojemnościowy charakter impedancji wejściowej układu zasilającego rozważane lampy. Widoczne odkształcenia przebiegów  $I_{we}(t)$  korespondują z dużymi wartościami współczynnika zawartości harmonicznycy prądu  $THD_I$ .

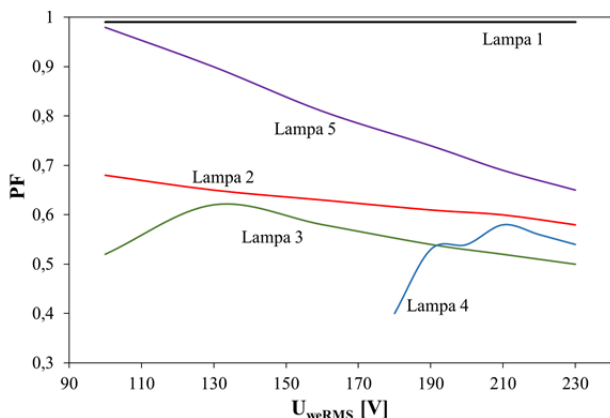
Na rysunku 6 pokazano zależność współczynnika  $THD_I$  rozważanych lamp od napięcia  $U_{weRMS}$ .

Można zauważyć, że tylko dla lampy 4 wzrost napięcia zasilania powoduje spadek wartości  $THD_I$ , a w pozostałych przypadkach uzyskano rosnącą zależność  $THD_I(U_{weRMS})$ . Warto zwrócić uwagę na duże wartości parametru  $THD_I$ , które przekraczają nawet 200%. Tylko dla lampy halogenowej wartość  $THD_I$  jest mała i nie przekracza paru procent. Przy nominalnej wartości napięcia zasilania wartość  $THD_I$  dla lamp 2, 3, 4 przekracza 100%.

Rysunek 7 ilustruje wpływ napięcia  $U_{weRMS}$  na wartość współczynnika mocy PF.



Rys. 6. Zależność parametru  $THD_1$  prądu zasilania badanych lamp od wartości napięcia zasilania



Rys. 7. Zależność współczynnika mocy PF badanych lamp od wartości napięcia zasilania

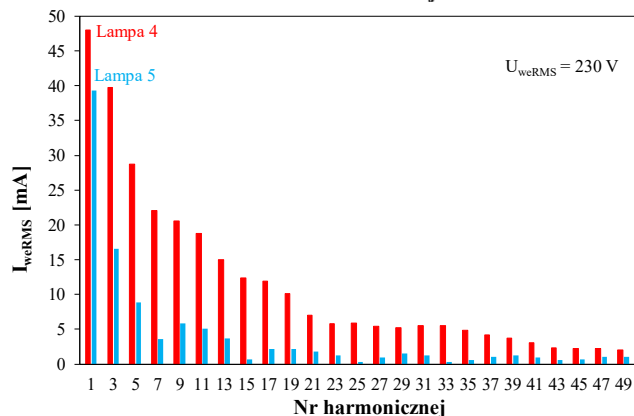
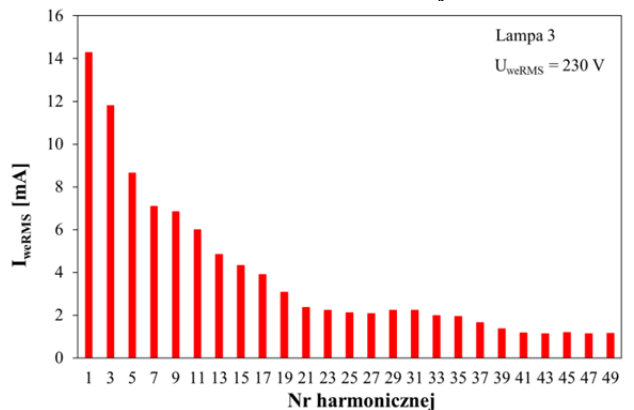
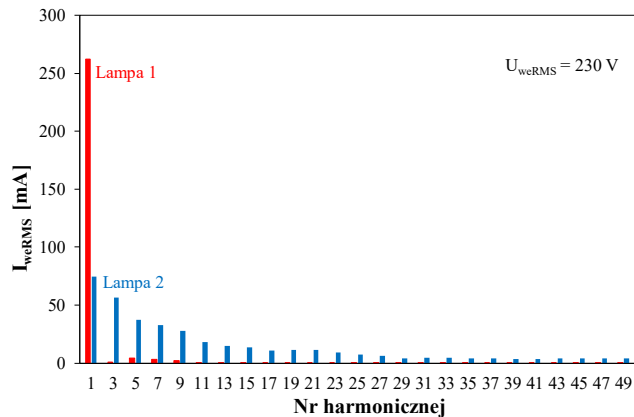
Jak widać, dla lampy halogenowej współczynnik mocy jest bliski jedności, natomiast dla pozostałych lamp jego wartość jest znacznie niższa. Dla lamp 2 i 5 uzyskano monotonicznie malejącą zależność  $PF(U_{weRMS})$ , a dla pozostałych lamp rozważana zależność posiada maksimum. Szczególnie istotne są wartości PF przy nominalnej wartości napięcia zasilania. Dla świetlówki kompaktowej i lamp LED wartość PF przy tej wartości napięcia zawiera się w zakresie od 0,5 do 0,7. Warto zauważyć, że dla lamp 2 i 5 pracujących przy napięciu 110 V współczynnik mocy przyjmuje znacznie korzystniejsze wartości, a dla lampy 5 przekracza nawet 0,95.

Kolejne wykresy ilustrują widma amplitudowe (rysunek 8) i fazowe (rysunek 9) prądu zasilania wybranych lamp LED wyznaczone przy napięciu zasilania  $U_{weRMS} = 230$  V. Zastosowany analizator PA1000 umożliwia wyznaczenie wartości nawet 50 harmonicznych częstotliwości podstawowej.

Jak można zauważyć na rysunku 8, widma prądu zasilania mają zróżnicowane wykresy dla poszczególnych lamp. Ich cechą wspólną jest obecność wyłącznie nieparzystych harmonicznych. Dla lampy 1 praktycznie cała energia zasilania jest związana z pierwszą harmoniczną prądu zasilającego. Harmoniczne 3, 5, 7 i 9 są zauważalne na wykresie widma, ale żadna z nich nie przekracza 2% harmonicznej podstawowej, natomiast pozostałe harmoniczne są na niezauważalnym poziomie. W przypadku pozostałych lamp widoczne są wszystkie nieparzyste harmoniczne, a największą wartość ma harmoniczna podstawowa. Warto zwrócić uwagę, że typowo każda kolejna harmoniczna ma mniejszą wartość od poprzedniej, ale więcej energii niosą wyższe harmoniczne niż harmoniczna podstawowa. Zaburzenie tej tendencji widoczne jest między 21 a 35 harmoniczną dla lamp 2, 3 i 4

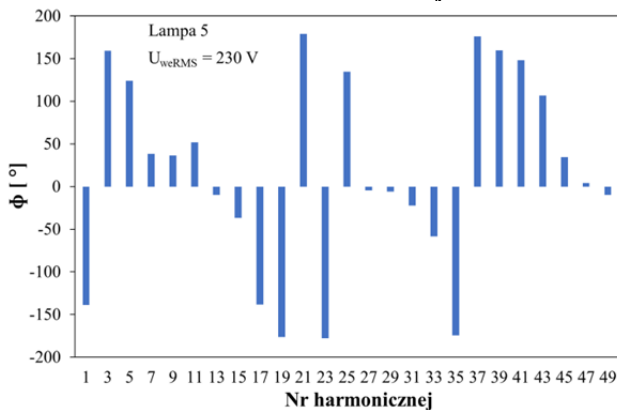
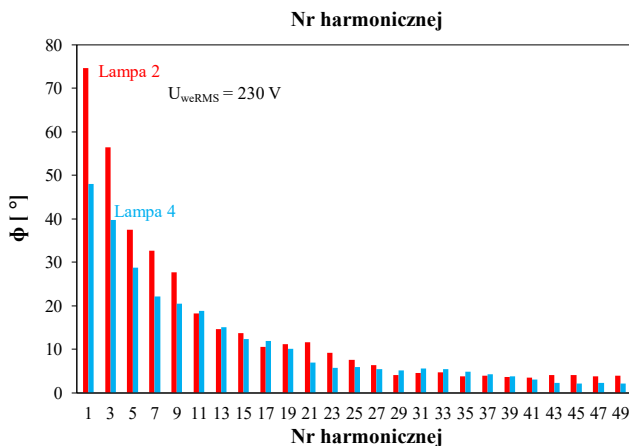
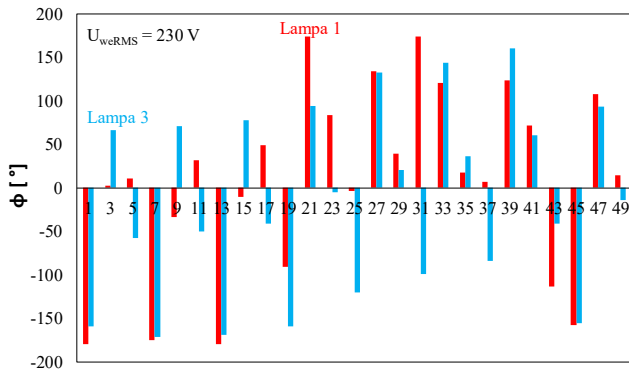
oraz 7, 15, 25 i 33 harmonicznej prądu zasilającego lampę 5. Widma amplitudowe zmierzone dla lamp 2, 3, 4 i 5 dowodzą, że przebiegi czasowe prądu zasilania poszczególnych lamp są silnie odkształcone.

Obserwując rysunek 9 można zauważyć, że dla lamp 1, 3 i 5 faza poszczególnych prążków widmowych przyjmuje wartości dodatnie i ujemne z zakresu od  $-180^\circ$  do  $180^\circ$ . Wartości tej fazy dla kolejnych prążków nie wykazują widocznej tendencji. Z kolei, dla lamp 2 i 4 fazy poszczególnych prążków są dodatnie a wartość fazy dla kolejnych prążków przyjmuje coraz mniejsze wartości z zakresu od 0 do  $90^\circ$ .



Rys. 8. Widma amplitudowe prądu zasilającego badane lampy przy nominalnej wartości napięcia zasilania

Zaprezentowane widma prądu zasilania wskazują, że dla lamp 2, 3, 4 i 5 prąd ten istotnie odbiega od pożądanego przebiegu sinusoidalnego. Lampy te, jeżeli będą wykorzystywane w dużej ilości będą niekorzystnie wpływały na parametry sieci. Celowe wydaje się zastosowanie filtra przeciwzakłóceńowego, który pozwoli wyeliminować z widma wysokie harmoniczne prądu zasilania.



Rys. 9. Widma fazowe prądu zasilającego badane lampy przy nominalnej wartości napięcia zasilania

### Podsumowanie

W pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych ilustrujących właściwości elektryczne i optyczne wybranych lamp. Wykazano, że dla lamp LED i świetlówki kompaktowej występują znacznie większe zniekształcenia prądu zasilania niż dla lampy halogenowej. Wskazano, że w widmie prądu zasilania wymienionych lamp występują tylko nieparzyste harmoniczne aż do 49 rzędu. Tak szerokie widmo wskazuje na istotne odkształcenia prądu zasilającego rozważane lampy.

Przy wykorzystaniu analizatora mocy wyznaczono parametry charakteryzujące zniekształcenia prądu zasilającego badane lampy, tzn. THD oraz PF. Pomiar wykonany w szerokim zakresie zmian napięcia zasilającego wykazały, że dla lamp LED i świetlówki kompaktowej obserwuje się wzrost THD oraz spadek PF przy wzroście napięcia zasilania. Oznacza to, że przy niższym napięciu zasilania wartości wymienionych parametrów są bliższe wartościom pożądanym. Warto rozważyć możliwość pracy wybranych lamp przy obniżonym napięciu zasilania

uzyskiwanym np. przez połączenie szeregowo dwóch lamp tego samego typu.

Wartości parametrów optycznych lamp 1 i 4 rosną wraz ze wzrostem napięcia zasilania, natomiast dla pozostałych lamp praktycznie nie zależą od napięcia zasilania. Można stąd wnosić, że wyższą wartość skuteczności świetlnej można uzyskać dla lamp LED i świetlówek kompaktowych przy obniżonym napięciu zasilania.

Przedstawione wyniki badań mogą być przydatne przy projektowaniu systemów oświetleniowych. Mogą one pomóc przy optymalizacji warunków pracy źródeł światła zapewniając niskie zniekształcenia prądu zasilania oraz wysokie wartości parametrów optycznych lamp.

**Autor:** prof. dr hab. inż. Krzysztof Górecki, dr hab. inż. Przemysław Ptak, prof. UMG, inż. Jakub Heleniak, Uniwersytet Morski w Gdyni, Katedra Elektroniki Morskiej, ul. Morska 83, 81-225 Gdynia, E-mail: k.gorecki@we.umg.edu.pl, p.ptak@we.umg.edu.pl, kuba.97-1997@o2.pl

### LITERATURA

- [1] Wang, K.; Liu, S.; Luo, X.; Wu, D. Freeform Optics for LED Packages and Applications; Wiley: Singapore, 2017.
- [2] Chung Y. C., Lee K. M., Choe H. J., Sung C. H., Kang B., Low-cost drive circuit for AC-direct LED lamps, IEEE Trans. on Power Electr., 30 (2015), n.10, 5776-5782
- [3] Pollock A., Pollock H., Pollock C., High efficiency LED power supply, IEEE Jour. of Emerg. and Selec. Top. in Pow. Elec., 3 (2015), n.3, 617-623
- [4] Górecki K., The influence of power supply voltage on exploitive parameters of the selected lamps, Infor. Midem Jour. of Micro. Compon. and Mater., 43 (2013), n.3, 193-198
- [5] Górecki, K.; Ptak, P. Modeling power supplies of LED lamps. Int. J. Circuit Theory Appl., 46, 2018, 629–636.
- [6] Winder, S. Power Supplies for LED Driving, 2nd ed.; Elsevier BV: Aalborg, Denmark, 2017.
- [7] Górecki, K.; Górecka, K.; Górecki, P. Porównanie właściwości eksploatacyjnych wybranych typów lamp LED. Przegląd Elektrotechniczny, 88, 2012, 111–114.
- [8] Uddin, S.; Shareef, H.; Mohamed, A.; Hannan, M.A. Harmonics and thermal characteristics of low wattage LED lamps. Przegląd Elektrotechniczny 2012, 88, 266–271.
- [9] Ndokaj, A.; Di Napoli, A. LED power supply and EMC compliance. In Proceedings of the 2012 IEEE International Energy Conference and Exhibition (ENERGYCON), Florence, Italy, 9–12 September 2012; pp. 254–258.
- [10] Pinto, M.F.; Mendonca, T.R.F.; Duque, C.A.; Braga, H.A.C. Power quality measurements embedded in smart lighting systems. In Proc. of the 2015 IEEE 24th Int. Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Rio de Janeiro, Brazil, 2015; pp. 1202–1207.
- [11] Ptak P., Górecki K., Heleniak J., Orlikowski M., Investigations of electrical and optical parameters of some LED luminaires – A study case, Energies, 14 (2021), n.11, 1612
- [12] Nota katalogowa lampy Philips HUE 9CK: [https://www.philips-hue.com/en-gb?locale\\_code=en\\_&remember\\_locale=en\\_gb](https://www.philips-hue.com/en-gb?locale_code=en_&remember_locale=en_gb)
- [13] Philips Lighting: <https://www.lighting.philips.pl/>
- [14] Nota katalogowa autotransformatora ATS-REG1.2: <https://www.sklep.cyfronika.com.pl/pl/p/ATS-REG1.2-Autotransformator-z-regulowanym-napieciem-moc-1.25-kW/15527> (15.06.2021)
- [15] Nota katalogowa multimetru Rigol DM3068: [https://rigol.com.pl/file/DM3068\\_DataSheet\\_EN](https://rigol.com.pl/file/DM3068_DataSheet_EN)
- [16] Nota katalogowa sondy prądowej TCPA300: <https://docs.rs-online.com/b719/0900766b8139eb29.pdf> (15.06.2021)
- [17] Nota katalogowa oscyloskopu GDS2104a: <https://www.merazet.pl/wp-content/uploads/img/16be5064.pdf> (15.06.2021)
- [18] Nota katalogowa analizatora PA1000: <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/en/001195421DS01/karta-katalogowa-1195421-analizator-mocy-tektronix-pa1000.pdf> (15.06.2021)
- [19] Radiometr LP471RAD: <https://sklep.emd.net.pl/foto-radiometr-hd23020-delta-ohm-p-2724.html>