

Andrzej LANGE*, Marian PASKO**

WPLYW PRACY LED-OWYCH ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA NA PARAMETRY OKREŚLAJĄCE JAKOŚĆ ENERGII ELEKTRYCZNEJ, CZĘŚĆ 2

W niniejszym artykule zaprezentowano wyniki pomiarów parametrów określających jakość energii elektrycznej pobieranej przez nowoczesne LED-owe źródła światła stosowane w przemyśle do oświetlania pomieszczeń biurowych, hal produkcyjnych oraz stosowanych do oświetlenia dróg i placów. Przedstawiono przebiegi prądów wybranych opraw podczas załączania ich do sieci elektroenergetycznej.

SŁOWA KLUCZOWE: parametry jakości energii elektrycznej, wyższe harmoniczne napięć i prądów, moc bierna, filtry pasywne

1. WSTĘP

Do oświetlenia pomieszczeń wewnętrznych w domach i zakładach przemysłowych oraz miejsc zewnętrznych np. ulic coraz częściej stosowane są źródła światła wykorzystujące technologię LED. Zastępują one mniej ekonomiczne żarowe źródła światła oraz bardziej energooszczędne wyładowcze źródła takie jak: fluorescencyjne, rtęciowe, sodowe niskoprężne i wysokoprężne oraz metalohalogenkowe. Wszystkie energooszczędne źródła światła powodują pobieranie prądu odkształconego od kształtu sinusoidalnego, co skutkuje pogorszeniem się jakości energii elektrycznej i występowaniem wyższych harmonicznych w prądzie obciążenia i napięciu zasilającym [1, 2, 15]. W artykule [16] omówiono dosyć dokładnie wymagania jakie określają przepisy [3, 4, 5, 13 i 14] i normy [6, 7, 8, 9, 10 i 11] w stosunku do napięć zasilających odbiorców na różnych poziomach napięcia zasilającego, jak również wymagania w stosunku do pobieranych prądów wyższych harmonicznych i współczynnika mocy PF oprawy oświetleniowej. Wybrane zapisy dyrektyw, rozporządzeń i norm odnoszących się do jakości energii elektrycznej zawarto w załączonej literaturze od [3] do [14]. W niniejszym artykule skupiono się na analizie źródeł LED-owych stosowanych w zakładach przemysłowych i użyteczności publicznej oraz źródeł świa-

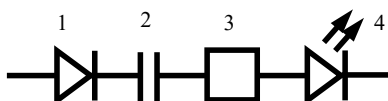
* Uniwersytet Warmińsko-Mazurski

** Politechnika Śląska

ła stosowanych do oświetlenia dróg, placów, ulic i wysokich hal produkcyjnych.

2. OGÓLNA BUDOWA LED-OWYCH ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA

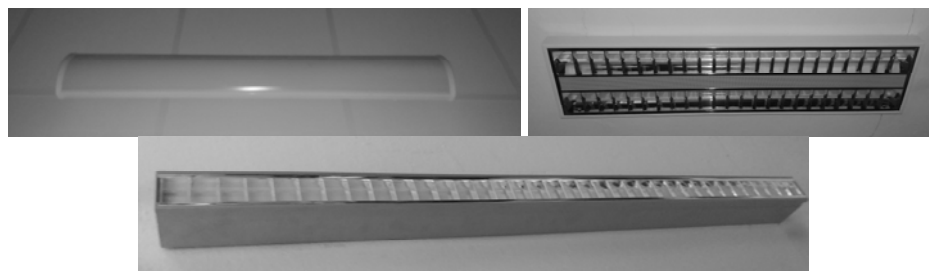
Oprawy LED-owe są zbudowane z następujących elementów (rys.1): układu prostowniczego 1, kondensatora 2 służącego do wygładzenia napięcia otrzymanego z prostownika, stabilizatora prądowo-napięciowego 3 oraz układu diod 4 połączonych szeregowo i równoległe generujących strumień świetlny. W zależności od typu i przeznaczenia oprawy (domowa, przemysłowa) układ prostowniczko-zasilający pojedyncze diody LED może być mniej lub bardziej rozbudowany, co z kolei ma istotny wpływ na przebieg pobieranego prądu.



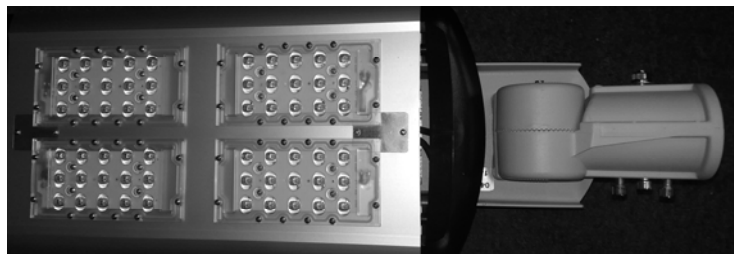
Rys. 1. Ogólna budowa LED-owego źródła światła

3. POMIARY I ANALIZA UZYSKANYCH WYNIKÓW

Dla przedstawienia wpływu LED-owych źródeł światła na parametry jakości energii elektrycznej w niniejszym artykule wytypowano do porównania urządzenia reprezentujące dwie grupy urządzeń. Pierwszą grupę źródeł LED-owych stanowią oprawy stosowane w zakładach przemysłowych i użyteczności publicznej (rys. 2), zastępujące świetlówki liniowe powszechnie tam stosowane. Drugą grupę analizowanych źródeł światła stanowią oprawy drogowe (rys. 3), stosowane do oświetlenia dróg, placów, ulic i wysokich hal produkcyjnych.



Rys.2. LED-owe oprawy stosowane w przemyśle i budynkach użyteczności publicznej



Rys.3. LED-owa oprawa drogowa

W celu dokonania analizy parametrów charakteryzujących jakości energii elektrycznej pobieranej przez oświetlenie LED-owe dokonano pomiaru kilku losowo wybranych źródeł, za pomocą analizatora jakości zasilania typu HIOKI 3196. Podczas prób dokonano pomiarów nie tylko prądów, napięć i mocy, ale również pomiaru prądów i napięć wyższych harmonicznych w punkcie zasilania oprawy oświetleniowej. Dodatkowo zbadano stany przejściowe podczas załączania i wyłączenia oprawy do sieci zasilającej.

3.1. Oświetlenie przemysłowe

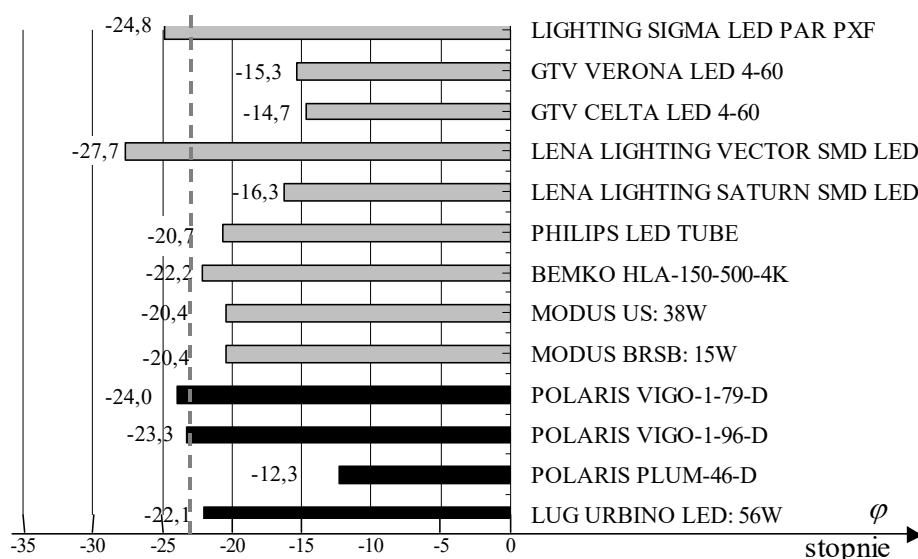
W celu określenia oddziaływania przemysłowych lamp LED na sieć zasilającą do pomiarów wybrano dziewięć losowo wybranych opraw przedstawionych w tabeli 1.

Tabela 1. Typy i dane znamionowe badanych opraw przemysłowych LED

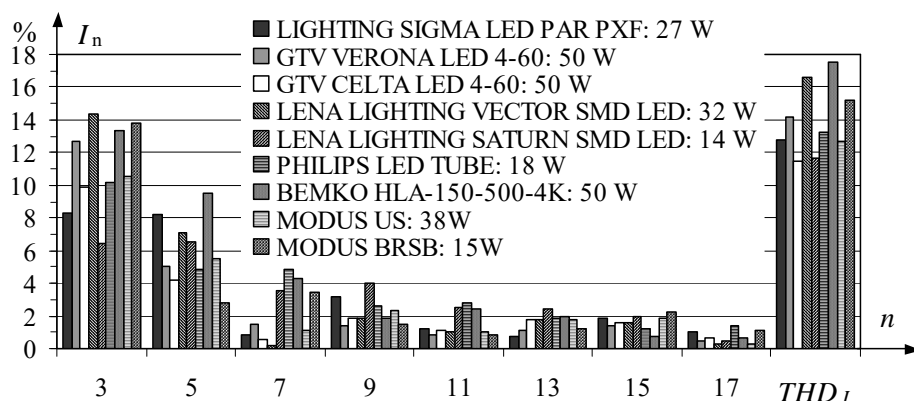
Lp.	Typ żarówki	Moc
1	LIGHTING SIGMA LED PAR PXF	27 W
2	GTV VERONA LED 4-60	50 W
3	GTV CELTA LED 4-60	50 W
4	LENA LIGHTING VECTOR SMD LED	32 W
5	LENA LIGHTING SATURN SMD LED	14 W
6	PHILIPS TUBE LED T8	18 W
7	BEMKO HLA-150-500-4K	50 W
8	MODUS US	38 W
9	MODUS BR SB	15 W

Na rys. 5 przedstawiono procentową zawartość poszczególnych wyższych harmonicznych prądów oraz THD_I podczas pracy wybranych opraw LED. Z pomiarów wynika, że urządzenia te pobierają mniejsze wartości nieparzystych wyższych harmonicznych niż żarówki domowe (cz. 1). Największą wartość osiąga 3 harmoniczna do 15%. Kolejne nieparzyste harmoniczne mają mniejsze wartości, a całkowity THD_I nie przekracza 18%. Na rys. 6, 7 i 8 przedstawiono

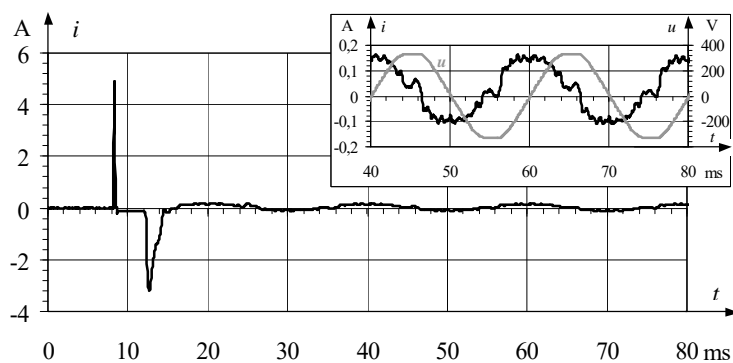
przebieg załączania oprawy LIGHTING SIGMA LED PAR PXF. Na początku pobierany prąd ma zdecydowanie mniejszą wartość, a następnie wzrasta do wartości znamionowej. Z całego przebiegu załączenia wynika, że na początku następuje ładowanie samego kondensatora, gdyż napięcie opóźnia się względem prądu o -90° (rys. 6). Następnie po ok. 0,5 s następuje załączenie diod LED (rys. 7). Po zakończeniu stanu przejściowego kąt przesunięcia pomiędzy prądem, a napięciem wynosi -25° (rys. 4 i 8). Analogiczne przebiegi zarejestrowano w pozostałych oprawach przemysłowych i drogowych (rys. od 9 do 14). W oprawach LENA LIGHTING Vector LED 32W 1258 MAT 4000K i BEKO HLA-120-500-4K załączenie diod LED po naładowaniu kondensatora następuje w sposób łagodny w czasie ok. 200 ms. W tym czasie zmienia się kąt przesunięcia między prądem a napięciem z -90° do ok. -20° (rys. 10 i 13).



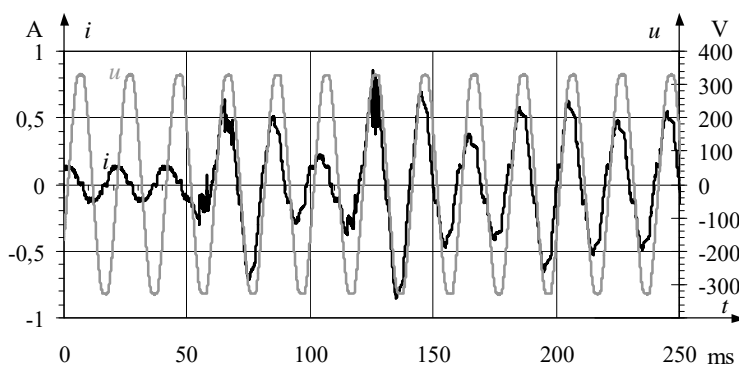
Rys.4. Zmierzony kąt przesunięcia fazowego pomiędzy napięciem i prądem dla podstawowej harmonicznej dla różnych opraw LED-owych



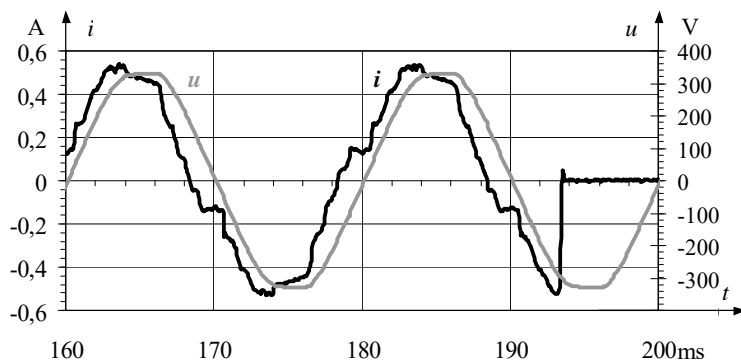
Rys.5. Zawartość procentowa wyższych harmonicznych prądów oraz THD_I pobieranego z sieci zasilającej nn przez LED-owe oprawy przemysłowe



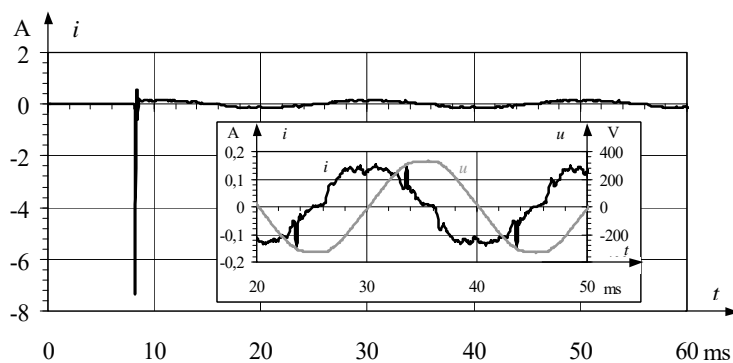
Rys.6. Przebieg prądu pobieranego przez oprawę przemysłową LIGHTING SIGMA LED PAR PXF - moment załączenia



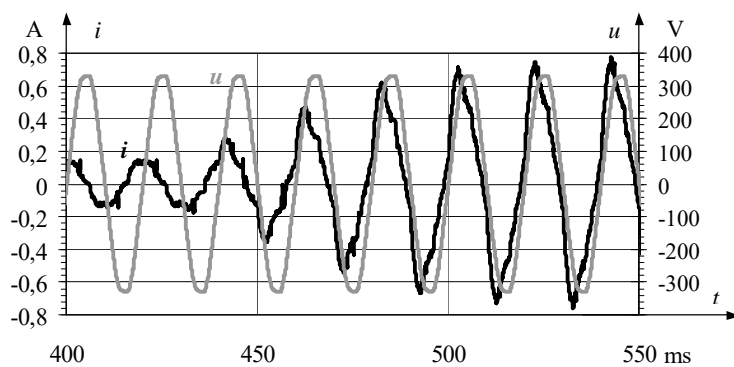
Rys.7. Przebieg prądu pobieranego przez oprawę przemysłową LIGHTING SIGMA LED PAR PXF - stan przejściowy



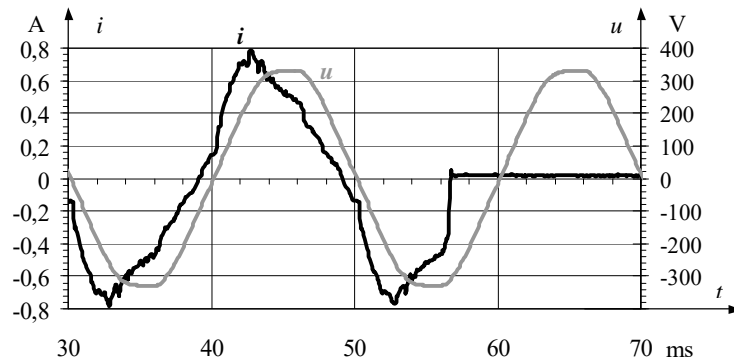
Rys.8. Przebieg prądu pobieranego przez oprawę przemysłową LIGHTING SIGMA LED PAR PXF - stan ustalony i wyłączenie



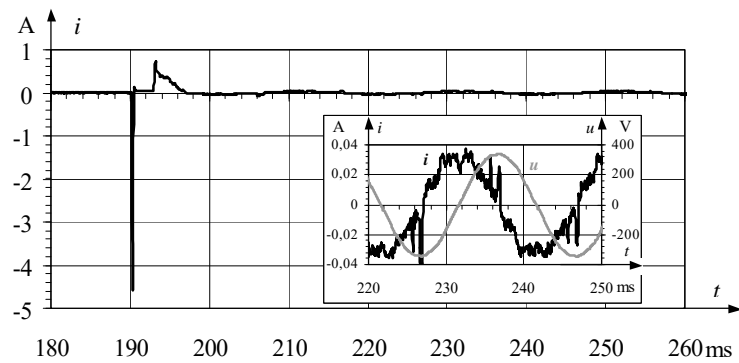
Rys.9. Przebieg prądu pobieranego przez oprawę przemysłową LENA LIGHTING Vector LED 32W 1258 MAT 4000K - moment załączenia



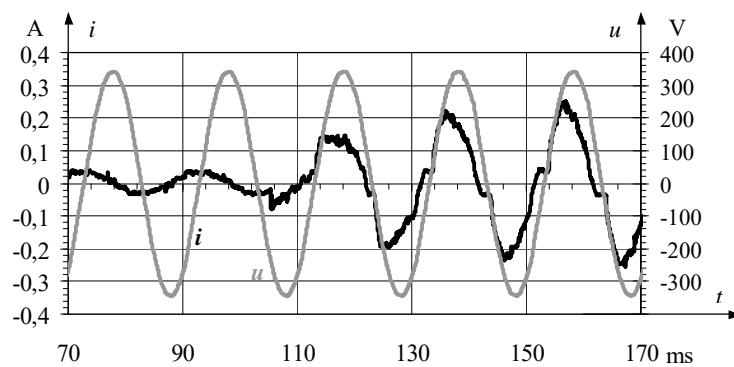
Rys.10. Przebieg prądu pobieranego przez oprawę przemysłową LENA LIGHTING Vector LED 32W 1258 MAT 4000K - stan przejściowy



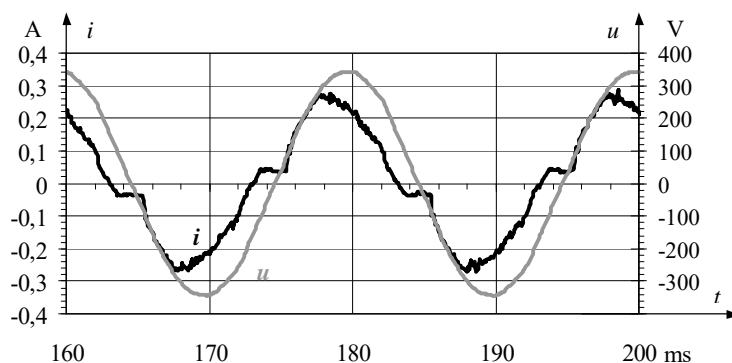
Rys.11. Przebieg prądu pobieranego przez oprawę przemysłową
LENA LIGHTING Vector LED 32W 1258 MAT 4000K - stan ustalony i wyłączenie



Rys.12. Przebieg prądu pobieranego przez oprawę przemysłową
BEKO HLA-120-500-4K - moment załączenia



Rys.13. Przebieg prądu pobieranego przez oprawę przemysłową
BEKO HLA-120-500-4K - stan przejściowy



Rys.14. Przebieg prądu pobieranego przez oprawę przemysłową BEKO HLA-120-500-4K - stan ustalony

3.2. Oświetlenie uliczne

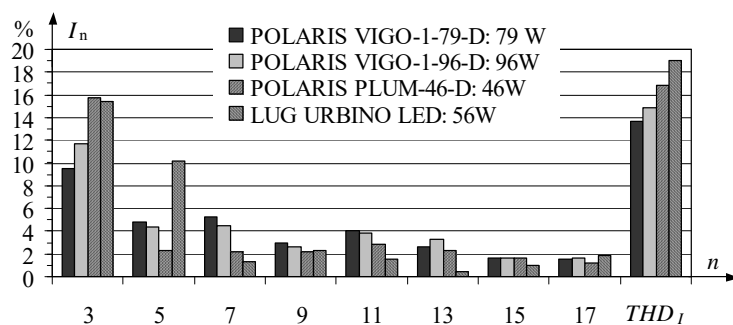
W celu określenia oddziaływania opraw drogowych LED na sieć zasilającą do pomiarów wybrano cztery losowo wybrane oprawy przedstawione w tabeli 3.

Z pomiarów wyższych harmonicznych prądów oraz THD_I (rys. 15) wynika, że oprawy drogowe LED pobierają podobne wartości wyższych harmonicznych, jak oprawy przemysłowe.

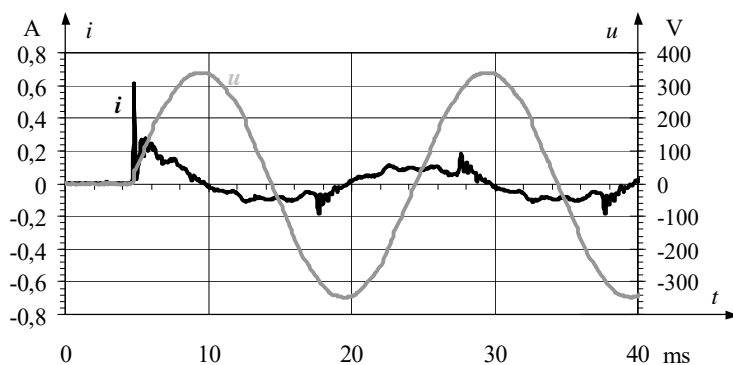
Z przebiegów prądów i napięć wynika (rys. 16 do 26), iż oprawy w czasie załączenia pobierają najpierw mały prąd ładowania kondensatora (rys. 16, 20, 24) a następnie w ciągu ok. 0,5 s po załączeniu następuje łagodne załączenie diod LED (rys. 17, 21, 24, 25). Przebiegi te są analogiczne do przebiegów lamp przemysłowych.

Tabela 2. Typy i dane znamionowe badanych opraw drogowych LED

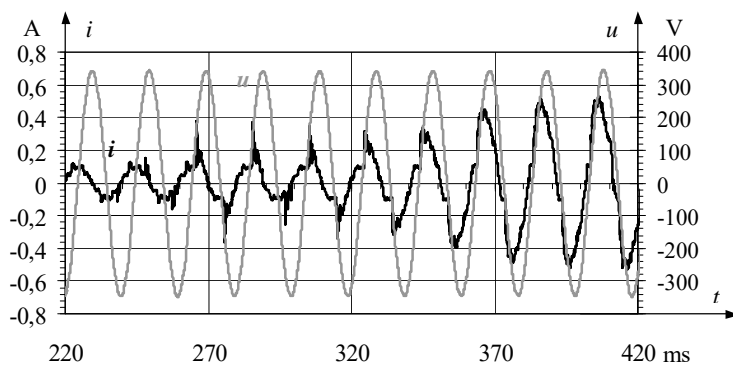
Lp.	Typ żarówki	Moc
1	LIGHTING SIGMA LED PAR PXF	27 W
2	GTV VERONA LED 4-60	50 W
3	GTV CELTA LED 4-60	50 W
4	LENA LIGHTING VECTOR SMD LED	32 W



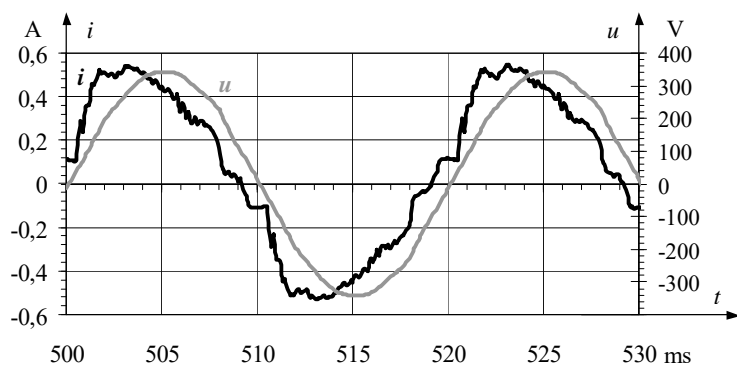
Rys.15. Zawartość procentowa wyższych harmonicznych prądów oraz THD_1 , pobieranego z sieci zasilającej nn przez oprawy drogowe LED



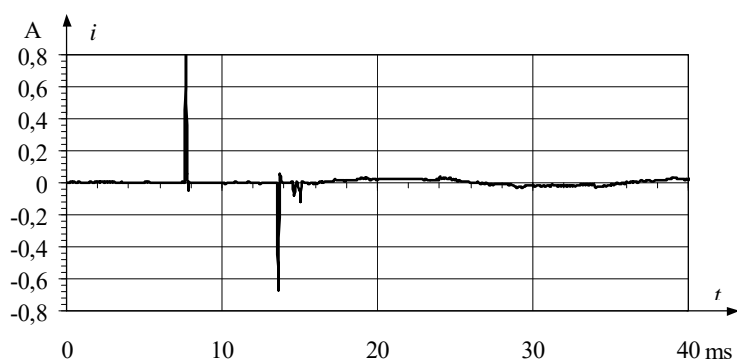
Rys.16. Przebieg prądu pobieranego przez oprawę drogową POLARIS VIGO-1-79-D - moment załączenia



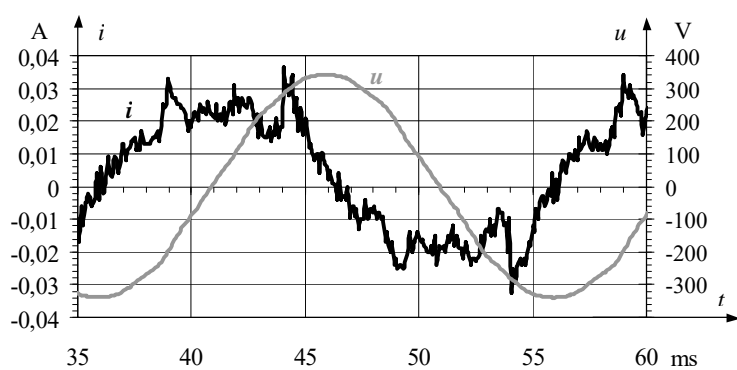
Rys.17. Przebieg prądu pobieranego przez oprawę drogową POLARIS VIGO-1-79-D - stan przejściowy



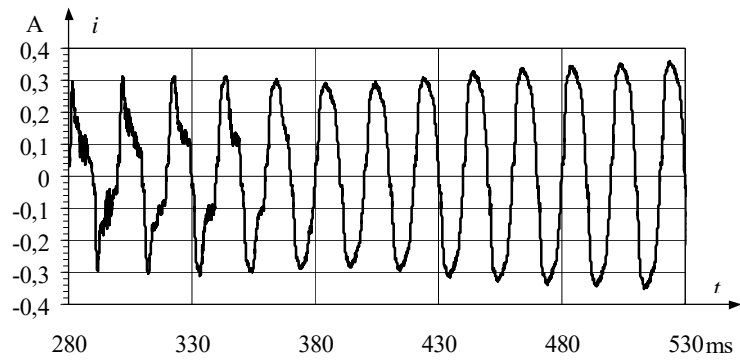
Rys.18. Przebieg prądu pobieranego przez oprawę drogową POLARIS VIGO-1-79-D - stan ustalony



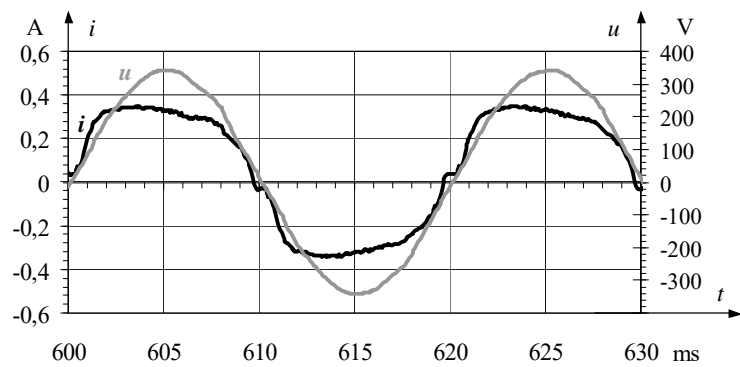
Rys.19. Przebieg prądu pobieranego przez oprawę drogową POLARIS PLUM-46-D - moment załączenia



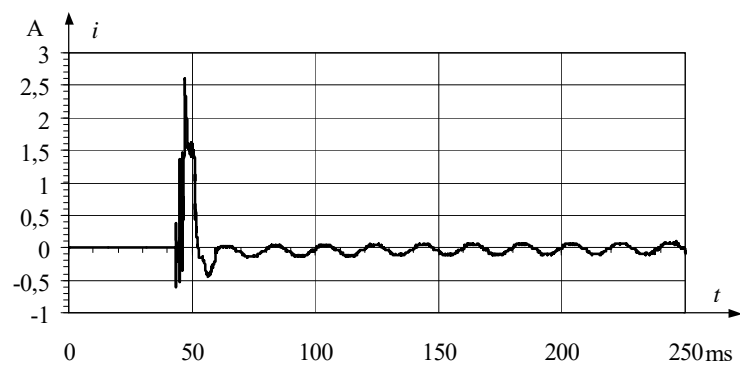
Rys.20. Przebieg prądu pobieranego przez oprawę drogową POLARIS PLUM-46-D - przebieg 25 ms po załączeniu



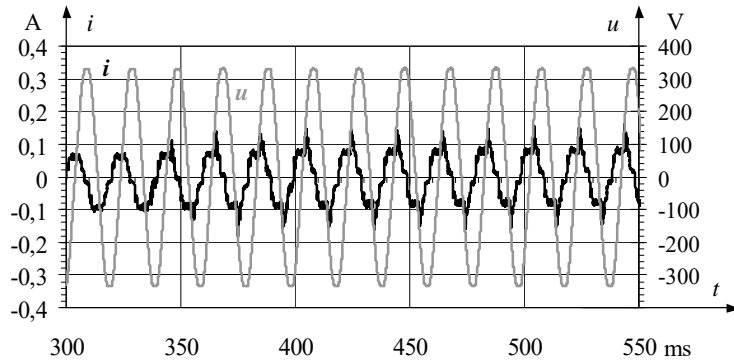
Rys.21. Przebieg prądu pobieranego przez oprawę drogową POLARIS PLUM-46-D - stan przejściowy



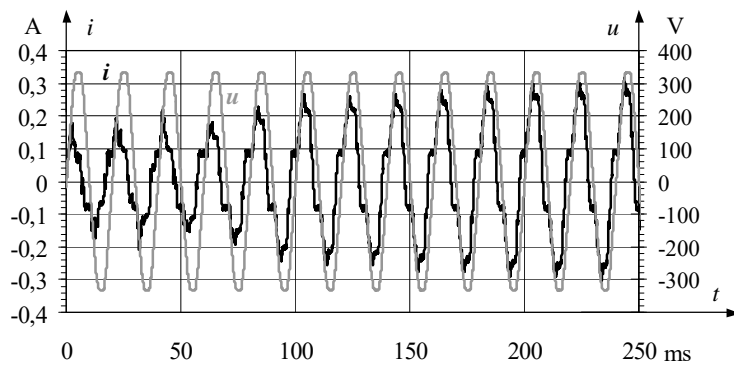
Rys.22. Przebieg prądu pobieranego przez oprawę drogową POLARIS PLUM-46-D - stan ustalony



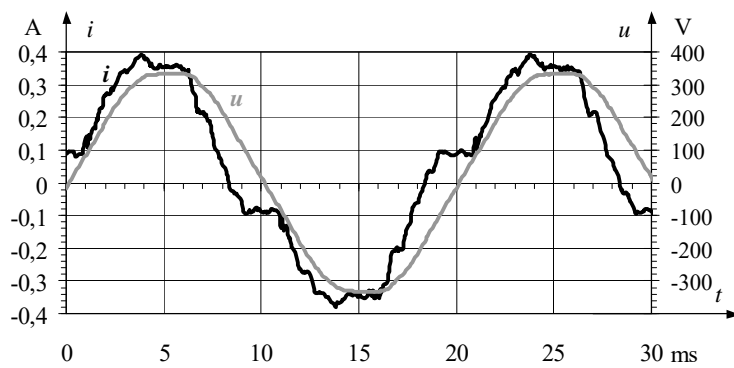
Rys.23. Przebieg prądu pobieranego przez oprawę drogową LUG URBINO LED 56 W - moment załączenia



Rys.24. Przebieg prądu pobieranego przez oprawę drogową LUG URBINO LED 56 W - stan przejściowy



Rys.25. Przebieg prądu pobieranego przez oprawę drogową LUG URBINO LED 56 W - stan przejściowy cd.z rys. 31



Rys.26. Przebieg prądu pobieranego przez oprawę drogową LUG URBINO LED 56 W - stan ustalony

4. UWAGI I WNIOSKI

Nowoczesne oświetlenie LED-owe mają nie tylko wysoką skuteczność świetlną i dużą trwałość, ale również powodują:

- pobieranie prądu odkształconego, co wiąże się z generowaniem do sieci wyższych harmoniczných prądów (rys. 5 i 15),
- pogorszenie współczynnika mocy przy stosowaniu oświetlenia LED-owego od $PF=0,53$ dla żarówek domowych [16] do $PF=0,93$ dla lamp drogowych (rys. 4),
- większość opraw domowych ma proste układy prostownikowe z kondensatorem do wygładzenia napięcia wyjściowego na diody LED przez co mają większy kąt przesunięcia pomiędzy prądem a napięciem, który wynosi ok. -55° [16]. Przez to generują również wyższe wartości wyższych harmoniczných dochodzące do $THD_I = 140\%$ (cz. 1) niż lampy przemysłowe i drogowe, które generują wyższe harmoniczne o wartościach nie przekraczających $THD_I = 20\%$ (rys. 5 i 15)
- oprawy przemysłowe i drogowe najpierw ładują kondensator (rys. 6, 9, 12, 16, 20 i 24) a następnie po kilkunastu okresach przebiegu napięcia łagodnie załączają się diody LED (rys. 10, 13, 17, 21, 24 i 25)
- wzrost wartości wyższych harmoniczných w napięciu zasilającym w wyniku poboru wyższych harmoniczných prądów oraz możliwości wystąpienia rezonansów prądowych,
- pobieranie z sieci mocy biernej pojemnościowej.
- wszystkie lampy LED prócz LENA LIGHTING VECTOR SMD LED spełniają wymagania w zakresie współczynnika mocy PF (rys 4 i tabela 8 w [16]) wszystkie żarówki LED spełniają wartości dopuszczalnych zawartości wyższych harmoniczných generowanych do sieci zasilającej (tabela 6 w [16]).

LITERATURA

- [1] Kurkowski M., Mirowski J., Popławski T., Pasko M., Białoń T., Pomiarы energii biernej w instalacjach niskiego napięcia. Przegląd Elektrotechniczny, R.92 (2016), nr 4, 144-147.
- [2] Mirowski J., Kurkowski M., Białoń T., Pasko M., Harmoniczne prądu w instalacjach oświetleniowych, Przegląd Elektrotechniczny R.91 (2015), nr 8, 180-184.
- [3] Prawo energetyczne z dnia 25 września 2012, Dz.U, poz. 1059, tom 1.
- [4] EMC 2014/30/UE - Dyrektywa 2014/30/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do kompatybilności elektromagnetycznej.
- [5] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego, Dziennik Ustaw Nr 93 poz. 623.

- [6] PN-EN 50160: 1998, Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych.
- [7] IEEE Std 1459-2010 Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions; IEEE, New York, 2010.
- [8] PN-EN 61000-3-2:2014-10, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) - Część 3-2: Poziomy dopuszczalne - Poziomy dopuszczalne emisji harmoniczných prądu (fazowy prąd zasilający odbiornika $<$ lub $=$ 16 A).
- [9] PN-EN 61000-3-12:2012, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) - Część 3-12: Poziomy dopuszczalne - Poziomy dopuszczalne emisji harmoniczných prądu dla odbiorników o znamionowym prądzie fazowym $>$ 16 A i $<$ lub $=$ 75 A przyłączonych do publicznej sieci zasilającej niskiego napięcia.
- [10] PN-EN 61000-4-30:2015-05, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) - Część 4-30: Metody badań i pomiarów - Metody pomiaru jakości energii.
- [11] PN-EN 61000-4-7:2007/A1:2011, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) - Część 4-7: Metody badań i pomiarów - Ogólny przewodnik dotyczący pomiarów harmoniczných i interharmoniczných oraz przyrządów pomiarowych, dla sieci zasilających i przyłączonych do nich urządzeń.
- [12] Kurkowski M., Popławski T., Mirowski J., Energia bierna a przepisy Unii Europejskiej, Rynek Energii, nr 2 (111), 2014, s. 18-25.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] Wandachowicz K., Taisner M., Lampy i moduły diodowe zasilane napięciem przemysłowym. Poznan University of Technology Academic Journals, No. 92, 2017, pp. 117-122.
- [16] Lange A., Pasko M., Wpływ pracy LED-owych źródeł światła na parametry określające jakość energii elektrycznej, część 1, Poznan University of Technology Academic Journals. No.93, 2018, pp. 37-52.

EFFECTS OF LED LIGHT SOURCES ON THE PARAMETERS DEFINING THE QUALITY OF ELECTRICITY, PART 2

This article presents the results of measurements of parameters determining the quality of electricity consumed by modern LED light sources used in industry to illuminate office rooms, production halls and used for lighting roads and squares. Current waveforms of selected luminaires during switching them to the power grid are presented.

(Received: 11.02.2018, revised: 06.03.2018)