

Wpływ źródeł oświetlenia LED na pogorszenie niektórych parametrów energii elektrycznej

Streszczenie. W artykule przedstawiono częściowe wyniki pomiarów mocy w nowo powstałym obiekcie przeznaczonym pod działalność naukowo badawczą oraz biurową. Obiekt ten charakteryzował się znacznym wykorzystaniem tanich opraw oświetleniowych LED. Dodatkowo w izolowanej sieci zasilania wykonano badania dostępnych komercyjnie układów oświetleniowych LED dla przypadku zasilania ich napięciem odkształconym. Wykonane pomiary i badania wskazują na znaczący wpływ małych odbiorników energii na całkowity współczynnik mocy oraz na jego zależność od poziomu występujących w sieci zasilania zaburzeń mało częstotliwościowych.

1. Wstęp

Praca różnorodnych systemów elektroenergetycznych i elektronicznych w warunkach występowania harmonicznych napięć i prądów stanowi od ważne aspekty różnorodnych prac zarówno użytkowych jak i badawczych. Wiąże się one z minimalizacją niekorzystnych oddziaływań wyższych harmonicznych na różnorodne elementy infrastruktury elektroenergetycznej. Występowanie różnorodnych zaburzeń elektromagnetycznych występujących w dostarczanej energii elektrycznej wiąże się głównie z rozwijającymi się masowo metodami jej przetwarzania na inne użytkowe jej formy. Zarówno dostawcy energii elektrycznej jak jej konsumenci wymagają, aby miał a ona odpowiednią, jakość. Jakość energii elektrycznej z reguły jest określana na podstawie pomiarów przyjętych parametrów odniesionych do przyjętych uregulowań prawnych i norm. Dodatkowo dostawcy energii na podstawie zawieranych umów nierzadko ograniczają możliwość pobierania mocy biernych z systemu elektroenergetycznego. Określenie obowiązujących parametrów jakościowych energii elektrycznej dostarczanej odbiorcom w poszczególnych grupach przyłączeniowych podano w „rozporządzeniu systemowym” [7]. Wprowadzając znaczne obciążenia finansowe dla odbiorców energii, którzy nie dotrzymują przyjętych warunków. W szczególności dotyczy to odbiorców wprowadzających do sieci moc bierną pojemnościową. W ramach istniejącego na Politechnice Gdańskiej Laboratorium Inteligentnej Energetyki LAB-6 przy współdziałaniu Pomorskiej Specjalnej Strefy Ekonomicznej wykonywane są prace związane zarówno z kompatybilnością elektromagnetyczną jak i zagadnieniami dotyczącymi, pomiarów, jakości energii elektrycznej w różnorodnych obiektach. Wykonywane w ostatnim okresie pomiary wskazują na zmianę występującej dotychczas tendencji. Oprócz występującego rozszerzenia się spektrum zaburzeń harmonicznymi następuje zmiana charakteru obciążeń z mocy biernej indukcyjnej na pojemnościową. Skutkuje to koniecznością wprowadzania kompensacji mocy biernej pojemnościowej. Zaobserwowane zmiany dotyczą obiektów nowych wyposażanych zarówno w oświetlenie o charakterze jarzeniowym jak i źródła oświetlenia LED. Przeprowadzone inwentaryzacje wykazują niestety, iż nierzadko na obiektach tych znalazły masowe zastosowanie najtańsze źródła światła LED w postaci tzw. „żarówek LED”. Masowe wprowadzenie oświetlenia LED, poza spodziewanym dalszym spadkiem zapotrzebowania na pobieraną moc czynną, może skutkować wprowadzaniem dodatkowych zaburzeń związanych z poborami prądów niesinusoidalnych, pogorszeniem współczynnika mocy (PF) oraz wzrostem mocy biernej pojemnościowej, co zostało przedstawione min. w pracach:

[1 - 5]. Dodatkowe informacje dotyczące podstawowych informacji o ich zastosowaniu znajdują się min w opracowaniach [10 - 14]. Dodatkowo w szeregu opracowaniach [15 - 17] przedstawiono dane dotyczące bezpieczeństwa użytkowania oświetlenia opartego o źródła LED i pojawiających się zagrożeniach związanych z stosowaniem tej technologii.

Zdaniem autorów parametrami pozwalającymi dobrze zdefiniować dany obiekt są:

- współczynnik zawartości harmonicznych THD w napięciu zasilania (oznaczany THD_U),
- indywidualne poziomy składowych harmonicznych napięcia,
- moc czynna (P), pozorna (S), bierna (składowych podstawowych) (QV), nieaktywna (N) wyznaczone zgodnie z [4],
- współczynnika mocy (PF) oraz $\cos(\varphi)$.

Wszystkie parametry powyższe powinny być wyznaczone zgodnie z zaleceniami zawartymi m.in w normach [18 - 19]. Natomiast w zakresie oceny źródeł światła w zakresie ich oddziaływania na sieć zasilającą ocenę podano:

- pobory mocy zarówno czynnej, pozornej, biernej,
- współczynnik mocy.

Nominalne wartości powyższych parametrów wyznaczone powinny być przy zasilaniu napięciem nieodkształconym. W artykule zaprezentowano wybrane pomiary i badania przeprowadzone zarówno na obiektach przemysłowych oraz badania laboratoryjne wybranych małych źródeł oświetlenia (poniżej 25 W).

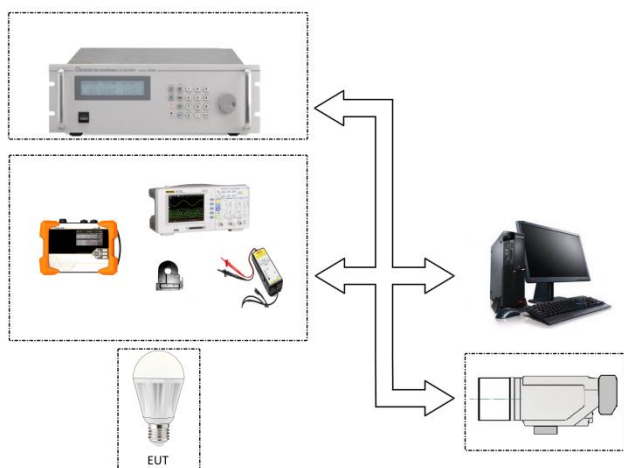
2. Obiekt badań i zastosowany układy pomiarowy

Pomiary przeprowadzone w zakładzie oznaczonym „obiekt nr 1” wykonywano na nowo otwieranym budynku składającym się z dwóch kondygnacji, przeznaczonych pod biura i laboratoria badawcze o niskiej intensywności. Całkowita powierzchnia użytkowa budynku wynosiła ~ 1000 m². W czasie prowadzenia badań na obiekcie pracowało ~ 30 osób. Zidentyfikowane wyposażenie obiektu składało się głównie z rozproszonych obciążeń w postaci komputerów. W obiekcie nie zainstalowano żadnej specjalistycznej aparatury mogącej mieć wpływ na pobór mocy. Oszacowane całkowite zapotrzebowanie na moc łącznie z pracującymi urządzeniami klimatyzacyjnymi określone było na poziomie ~20 kW (zgodnie z umową moc zamówiona maksymalna wynosi 40 kW). Zasilanie obiektu było wykonane w oparciu o własną abonencką stacją transformatorową o mocy 250 kVA. Podstawowe oświetlenie na obiekcie jest realizowane za pomocą opraw jarzeniowych wspomaganych przez znaczną liczbę tanich opraw oświetleniowych dostosowanych do montażu popularnych źródeł oświetlenia LED małych mocy. Badania

przedstawione w pracy zostały przeprowadzone na niektórych z zidentyfikowanych źródeł oświetlenia LED występujących na „obiekcie nr 1”. Wszystkie pomiary mocy przeprowadzono miernikiem typu PQ - BOX 200 [20] w czasie ich normalnego funkcjonowania.

3. Układ pomiarowy zastosowany do testów źródeł oświetlenia LED

Do badań wybranych źródeł oświetlenia małych mocy w izolowanym układzie zasilania zastosowano system pomiarowy przedstawiony na rys. 1. Wykorzystano w nim zasilacz programowalny Chroma 61503 [21], umożliwiający generację napięć przemiennych o zadanej zawartości harmonicznym. W skład systemu pomiarowego wchodziły dodatkowo: sonda napięciowa R&S RT – ZD 01, prądowa ALCL – 40 D, oscyloskopu RIGOL 1102 D, miernika PQ - BOX 200, kamery termowizyjnej VIGOCam v.50 z polem wzorcowym. Do badań w izolowanym środowisku zasilania wytypowano źródła oświetlenia małej mocy (LED, jarzeniowe) o deklarowanych mocach rzędu 10 W – 14 W. Pomiary wykonywano na nowych źródłach, które przepracowały wcześniej 100 h przy zasilaniu nieodkształconym napięciem 230 V. Badania wykonywano przez okres, co najmniej 120 min gwarantujący osiągnięcie stabilności temperaturowej badanych obiektów, w temperaturze otoczenia $25^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$.



Rys. 1. Schemat ideowy zastosowanego systemu pomiarowego [8]

W tabeli 1 podano podstawowe dane techniczne deklarowane przez producentów na opakowaniach lub obudowach testowanych źródeł oświetlenia.

Tabela 1. Deklarowane parametry źródeł światła małych mocy

Producent	Oznaczenie w pracy	Moc	Strumień świetlny	Napięcie pracy	Współczynnik PF
-	-	[W]	[lm]	[V]	-
Piła	E 1	14	1521	220 ± 240	ND *
Philips	E 2	13	1521	220 ± 240	ND *
Kobi	E 3	10	810	230	0,5
Osram	E 4	29	1300	220 ± 240	>0,5

Źródła oświetlenia LED, źródło oświetlenia jarzeniowe
* - ND – wartość niezadeklarowane przez producenta

W tabeli 2 podano wartości poszczególnych testów, jakim podawano badanie źródła oświetlenia. Jako poziom odniesienia przyjęto badanie oznaczone test T1, w którym źródła oświetlenia były zasilane napięciem pozbawionym zaburzeń harmonicznymi. Dla testów T2, T3 i T4 wartości poziomów zaburzeń harmonicznymi napięcia zostały dobrane arbitralnie. Wszystkie pomiary prowadzono przy poziomie składowej podstawowej (50 Hz) wynoszącym

230 V). Wartości wszystkich harmonicznymi w zakresie od 14 - tej harmonicznymi do 40 - tej harmonicznymi wynosiły 0%. Wartości wprowadzanych zaburzeń harmonicznymi podano w % w stosunku do wartości składowej podstawowej podano również wartość współczynnika zawartości harmonicznymi w napięciu THD_U.

Tabela 2. Zastosowane poziomy testowe w badaniach źródeł oświetlenia

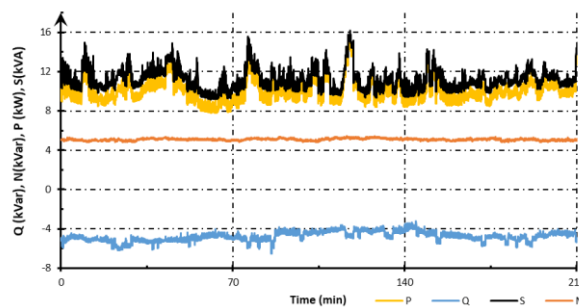
Rząd harmonicznymi	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
Kod badania	T1	T2	T3	T4
3	0.0%	3.0%	5.0%	8.0%/90°
5	0.0%	3.0%	6.0%	8.0%
7	0.0%	2.0%	5.0%	8.0%/90°
9	0.0%	1.5%	1.5%	0.0%
11	0.0%	1.0%	3.5%	0.0%
13	0.0%	1.0%	3.0%	0.0%
THD	0%	5.1%	10.5%	13.9%

- gdzie 90° oznacza przesunięcie o kąt 90° względem składowej podstawowej U₁

Badania przyrostów temperatury (ΔT_{AV}) źródeł światła zrealizowano poprzez rejestrację ich termogramów za pomocą kamery termowizyjnej VIGOCam v.50, oraz wzorcowego źródła odniesienia o znanym współczynnikiem emisyjności (ϵ) umieszczonego w polu widzenia kamery. Takie podejście pozwalało na minimalizację wpływu zmienności współczynnika emisyjności (ϵ) badanego obiektu, którego znajomość jest konieczna do wyznaczenia temperatury. Podawane w pracy średnie przyrosty temperatury (ΔT_{AV}) powierzchni obserwowanej wyznaczano względem wzorcowego źródła odniesienia. Pomiary zmian przyrostów temperatury (ΔT_{AV}) źródeł oświetlenia wykonywano w celu weryfikacji zachowania się tego typu odbiorników w przypadku zasilania napięciem silnie odkształconym [6].

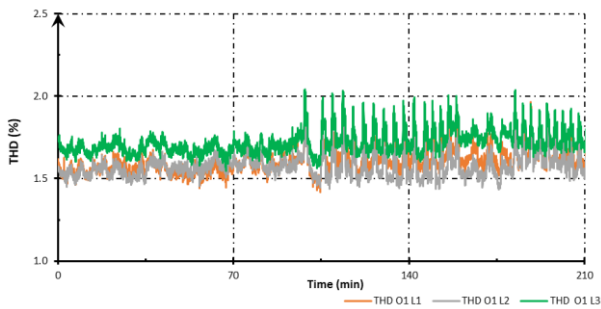
4. Wynik pomiarów obiektu laboratoryjnego - biurowego

W rys.2 przedstawiono zarejestrowane przebiegi zmienności mocy (czynnej P, pozornej S, biernej Q, nieaktywnej N) zarejestrowane na obiekcie nr 1.



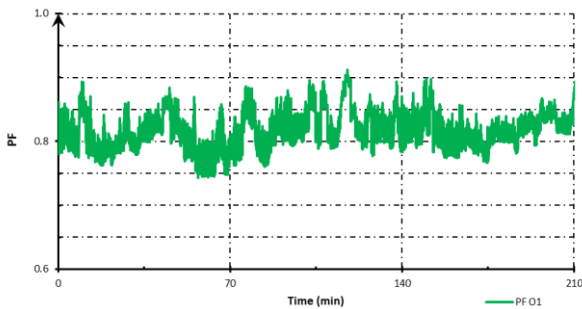
Rys. 2. Pomiary mocy na obiekcie nr 1

Badany obiekt nr 1 charakteryzował się mocą bierną pojemnościową na poziomie 6 kVar. Na rys. 3 przedstawiono zarejestrowane maksymalne wartości współczynnika THD_U (w napięciu zasilania) dla poszczególnych fazy L1 do L3. Zarejestrowane wartości mieszczą się w przedziale, około 2% co zdaniem autorów należy uznać za typowy poziom zaburzeń.

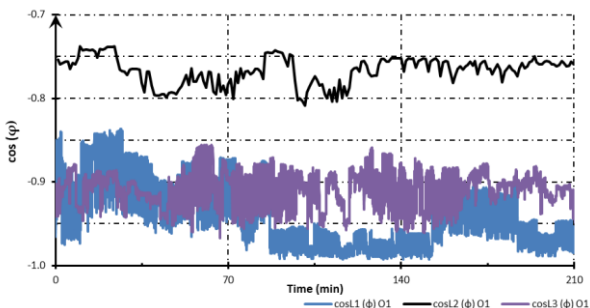


Rys. 3. Zarejestrowane wartości THD na obiekcie nr 1.

Na rys. 4. przedstawiono zarejestrowane wartości całkowitego współczynnika mocy PF. Wartość współczynnika $\cos(\varphi)$ w poszczególnych fazach L 1 do L 3 przedstawiono na rys. 6.



Rys. 4. Zarejestrowane wartości współczynnika mocy (PF)



Rys. 5. Zarejestrowane wartości $\cos(\varphi)$

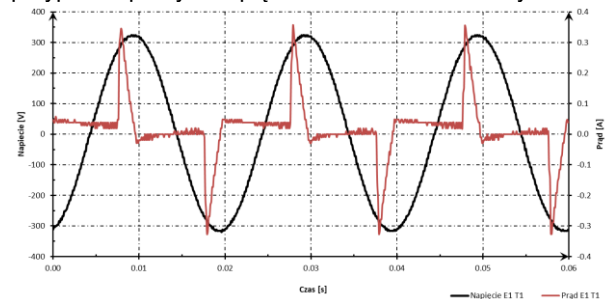
5. Wyniki pomiarów źródeł oświetlenia

W tabeli 3 podano zestawienie wyników pomiarów podstawowych parametrów elektrycznych i średnich przyrostów temperatury ΔT_{AV} otrzymanych dla badanych źródeł oświetlenia przy różnych poziomach występujących zaburzeń harmonicznymi w napięciu zasilania.

Tabela 3. Wybrane wyniki pomiarów podstawowych parametrów źródeł oświetlenia małych mocy

Oznaczenie / Kod testu	P	Q	PF	CF	ΔT_{AV}
	[W]	[Var]	-	-	[°C]
E 1 / T 1	14.19	-21.49	0.56	3.58	56.0
E 1 / T 2	14.12	-20.96	0.58	3.43	56.1
E 1 / T 3	14.27	-26.81	0.50	3.53	56.2
E 1 / T 4	14.19	-26.93	0.50	3.82	57.5
E 2 / T 1	13.26	-21.35	0.50	3.16	64.0
E 2 / T 2	13.12	-20.40	0.51	2.89	64.2
E 2 / T 3	13.14	-26.59	0.40	4.35	64.8
E 2 / T 4	13.31	-21.35	0.40	4.31	65.1
E 3 / T 1	9.66	-15.85	0.50	3.30	67.3
E 3 / T 2	9.59	-15.16	0.50	2.97	66.9
E 3 / T 3	9.68	-20.37	0.40	4.45	70.1
E 3 / T 4	9.85	-20.97	0.40	4.34	71.8
E 4 / T 1	16.08	-21.18	0.60	2.53	59.61
E 4 / T 2	15.82	-20.95	0.60	2.54	59.42
E 4 / T 3	15.39	-25.27	0.50	3.42	61.23
E 4 / T 4	17.94	-28.27	0.51	3.05	61.91

Na rysunku 6 przedstawiono typowy dla badanych źródeł światła chwilowy przebieg napięć i prądów dla badanego źródła światła oznaczonego E1 (producent Philips). Uzyskane wyniki wskazują, iż źródła światła o małej mocy charakteryzują się znacznymi poborem mocy biernej a tym samym niskim współczynnikiem mocy. Dodatkowo należy zauważyć, iż moc ma charakter pojemnościowy oraz współczynnik mocy ulega dalszemu zmniejszeniu w przypadku pracy z napięciem silnie odkształconym.



Rys. 6. Przebieg napięć i prądów chwilowych na badanym źródle światła E1

Równocześnie należy zauważyć, iż wyznaczone przyrosty średnie temperatury są niewielkie w przypadku zasilania ich napięciem silnie odkształconym.

Wnioski

Przedstawione problemy wydają się wspólne dla nowo powstających bądź modernizowanych obiektów, na których zastosowano oświetleniowe źródła LED. Przeprowadzone pomiary wskazują, iż masowe zastosowanie z jednej strony energooszczędnych źródeł oświetlenia LED zmniejsza zapotrzebowanie na moc czynną. Jednakże w przypadku stosowania najtańszych rozwiązań małych mocy układy te mogą się stać dodatkowym źródłem zaburzeń. Pomiary pojedynczych źródeł oświetlenia LED małych mocy wskazują, iż mamy do czynienia w ich przypadku z spadkiem współczynnika mocy (PF) do wartości około 0,5, oraz wzrostem współczynnika szczytu (CF). Masowe ich zaimplementowanie w obiekcie w znaczący sposób obniża całkowitą wydajność mocy. Dodatkowo w przypadku dalszego wzrostu poziomu zaburzeń harmonicznymi napięcia należy się spodziewać równoczesnego spadku wartości współczynnika mocy. Równocześnie na obiektach występuje ze względu na charakter konstrukcji źródeł oświetlenia konieczność kompensacji mocy biernej pojemnościowej. W przypadku braku takiej kompensacji skutkuje to obecnie dla obiektów przemysłowych pojawieniem się dodatkowych opłat za wprowadzanie energii biernej pojemnościowej. Dodatkowo przeprowadzone badania pozwalają wnioskować o wprowadzenie wymagań dotyczące minimalnych współczynników mocy dla oświetleniowych źródeł LED małych mocy (poniżej 25 W). Ponieważ przy masowym ich stosowaniu mogą znacząco wpływać na obiekt. Autorzy proponują, aby wprowadzić wymóg stosowania w małych źródłach światła LED współczynnika mocy o wartości większej niż 0,9 tak jak dla układów wyższych mocy, miałyby to charakter prewencyjny. Niestety będzie się to na pewno wiązało z wzrostem ich ceny. Takie rozwiązania są obecnie dostępne na niektórych rynkach [22]

Autorzy: dr inż. Stanisław Galla, Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Katedra Metrologii i

Optoelektroniki, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233, Gdańsk, E-mail: galla@eti.pg.edu.pl; dr inż. Mirosław Włas, Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, Katedra Automatyki Napędu Elektrycznego i Konwersji Energii, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233, Gdańsk, E-mail: mwlas@pg.edu.pl

LITERATURA

- [1] Dolara, A., and Leva, S., 2012, "Power Quality and Harmonic Analysis of End User Devices," *Energies*, **5**(12), pp. 5453–5466.
- [2] Molina, J., Mesas, J. J., Mesbahi, N., and Sainz, L., 2017, "LED Lamp Modelling for Harmonic Studies in Distribution Systems," *Transmission Distribution IET Generation*, **11**(4), pp. 1063–1071.
- [3] A. F. Zobaa, and S. H. E. Abdel Aleem, 2014, "A New Approach for Harmonic Distortion Minimization in Power Systems Supplying Nonlinear Loads," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, **10**(2), pp. 1401–1412.
- [4] Peretto, L., Tinarelli, R., Rovati, L., and Bernabei, M., 2017, "On the Behavior of LED Lamps under Non-Sinusoidal Voltage Conditions," *2017 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, pp. 1–6.
- [5] "Power Quality Problems with Industrial LED Lighting" [Online]. Available: <http://www.ecmweb.com/power-quality-reliability/uncovering-pq-problems-industrial-led-lighting>. [Accessed: 10-Jan-2018].
- [6] Włas, M., and Galla, S., 2018, "The Influence of LED Lighting Sources on the Nature of Power Factor," *Energies*, **11**(6).
- [7] *Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z 04.05.2007 r. w sprawie Szczegółowych Warunków Funkcjonowania Systemu Elektroenergetycznego, Dz. U. Nr 93, Poz. 623, 2007.*
- [8] Tan, S. T., Sun, X. W., Demir, H. V., and DenBaars, S. P., 2012, "Advances in the LED Materials and Architectures for Energy-Saving Solid-State Lighting Toward #x201C;Lighting Revolution #x201D;," *IEEE Photonics Journal*, **4**(2), pp. 613–619.
- [9] Aman, M. M., Jasmon, G. B., Mokhlis, H., and Bakar, A. H. A., 2013, "Analysis of the Performance of Domestic Lighting Lamps," *Energy Policy*, **52**, pp. 482–500.
- [10] Gayral, B., 2017, "LEDs for Lighting: Basic Physics and Prospects for Energy Savings," *Comptes Rendus Physique*, **18**(7), pp. 453–461.
- [11] Wiśniewski, A., 2017, "Lampy LED nowej technologii - zamienniki żarówek tradycyjnych i halogenowych," *Przegląd Elektrotechniczny*, **1**(12), pp. 291–294.
- [12] Ptak, P., Górecki, K., and Zarebski, J., 2017, "UKłady zasilające stosowane w lampach LED," *Przegląd Elektrotechniczny*, **R. 93**, nr 3.
- [13] Salvadori, G., Fantozzi, F., Rocca, M., and Leccese, F., 2016, "The Energy Audit Activity Focused on the Lighting Systems in Historical Buildings," *Energies*, **9**(12).
- [14] Khan, N., and Abas Kalair, N., 2011, *Comparative Study of Energy Saving Light Sources*.
- [15] Behar-Cohen, F., Martinsons, C., Viénot, F., Zissis, G., Barlier-Salsi, A., Cesarini, J. P., Enouf, O., Garcia, M., Picaud, S., and Attia, D., 2011, "Light-Emitting Diodes (LED) for Domestic Lighting: Any Risks for the Eye?," *Progress in Retinal and Eye Research*, **30**(4), pp. 239–257.
- [16] Bellia, L., Bisegna, F., and Spada, G., 2011, *Lighting in Indoor Environments: Visual and Non-Visual Effects of Light Sources with Different Spectral Power Distributions*.
- [17] Bellia, L., Bisegna, F., and Spada, G., 2011, *Lighting in Indoor Environments: Visual and Non-Visual Effects of Light Sources with Different Spectral Power Distributions*.
- [18] 2010, "IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions," *IEEE Std 1459-2010 (Revision of IEEE Std 1459-2000)*, pp. 1–50.
- [19] "PN-EN 50160:2010+A1:2015" [Online]. Available: <https://wiedza.pkn.pl>. [Accessed: 21-Apr-2018].
- [20] "TD_PQ-Box 200_en_160506.Pdf." [Online]. Available: https://www.a-eberle.de/sites/default/files/media/TD_PQ-Box%20200_en_160506.pdf [Accessed: 21-Apr-2018].
- [21] "61500-Acsource.Pdf." [Online]. Available: <http://www.chromausa.com/pdf/61500-acsource.pdf> [Accessed: 21-Apr-2018].
- [22] "PF_Factor_california." [Online]. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/2a03/8b20e758b6d60f050ae18746ca413dbaa48b.pdf> [Accessed: 10-Jan-2018].