

doi:10.15199/48.2018.02.31

## Analiza parametrów oświetleniowych i elektrycznych w instalacjach drogowych z oprawami wyładowczymi i regulatorami napięcia

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wymagania dotyczące opraw drogowych ze źródłami wyładowczymi. Opisano również procedury projektowania oświetlenia pozwalające na uzyskanie oszczędności energii elektrycznej. Zaprezentowano wyniki pomiarów parametrów elektrycznych wykonanego rozwiązania instalacji oświetleniowej.

**Abstract.** The paper presents requirements for road lighting with discharge sources. It also describes procedures of illumination system design that facilitate electrical energy saving. The results of electrical parameters measurements of an installed lighting installation have also been presented. (Analysis of lighting and electrical parameters in road installations with discharge luminaires and voltage regulators).

**Słowa kluczowe:** oświetlenie drogowe, oprawy ze źródłami wyładowczymi, przepisy UE.

**Keywords:** road lighting, discharge luminaires, EU regulations.

### Wprowadzenie

Ciągły rozwój nowoczesnych technologii oraz wymóg stosowania rozwiązań energooszczędnych z jednej strony a wymagania przepisów z drugiej powodują, iż w branży oświetlenia drogowego pojawił się problem czy stosować oprawy ze źródłami wyładowczymi czy ze źródłami LED. Stosowane dotychczas oprawy ze źródłami wyładowczymi są postrzegane jako „przestarzałe” i wymagające całkowitego zastąpienia przez oprawy ze źródłami LED [1,2,3]. W rzeczywistości dotyczy to źródeł rtęciowych i niskoprężnych sodowych. W oświetleniu dróg nadal będą stosowane oprawy ze źródłami wysokoprężnymi sodowymi i metalohalogenkowymi. Jako przykład takiego rozwiązania można tu wymienić zrealizowane w 2015 roku oświetlenie mostu Łazienkowskiego w Warszawie. Wbrew panującym powszechnie bardzo pozytywnym opiniom technologia LED ma jednak swoje wady, które wynikają m.in. z funkcji układów elektronicznych (samego źródła światła – chipu LED oraz układów wspomagających). Również oprawy ze źródłami wyładowczymi zawierają układy pomocnicze. Są one jednak mniej skomplikowane i przez to mniej narażone na uszkodzenia.

Oprawa oświetleniowa zawiera m.in. układy elektroniczne określone w przepisach jako „Osprzęt sterujący źródłem światła”, co zgodnie z rozporządzeniem 245/2009 [4] oznacza element lub elementy umieszczone pomiędzy źródłem zasilania a źródłem światła lub większą liczbą takich źródeł, służące do przekształcania napięcia zasilającego (zasilanie stałonapięciowe lub stałoprądowe LED), ograniczania poboru prądu przez lampę lub lampy do wymaganej wartości, dostarczania napięcia zapłonowego i prądu do nagrzewania wstępnego, zapobiegania zapłonowi na zimno, korygowania współczynnika mocy lub ograniczania zakłóceń radiowych. Do przykładów osprzętu sterującego źródłem światła zaliczyć można stateczniki, przetwornice i transformatory do lamp halogenowych oraz sterowniki do diod elektroluminescencyjnych (LED). Układy te mogą ponadto spełniać następujące funkcje: regulację wartości strumienia świetlnego, regulację barwy światła, ochronę przepięciową, pomiar i kontrolę temperatury, eliminację harmonicznych, kompensację mocy bierną i inne. Układy elektroniczne są bardzo wrażliwe na zmiany temperatury, przepięcia atmosferyczne i sieciowe czy warunki środowiskowe. Mogą łatwo ulec uszkodzeniu a także (z powodu uszkodzenia układów elektronicznych) pracować niezgodnie z założeniami producenta.

### Wymagania rozporządzeń UE

Wycyfywanie z rynku części źródeł i opraw wyładowczych jest spowodowane wdrażaniem wymogów dotyczących ekoprojektu dla lamp wyładowczych dużej intensywności, a także dla stateczników i opraw oświetleniowych służących do zasilania takich lamp [4].

Zalecane przykładowe wartości znamionowej skuteczności świetlnej dla źródeł metalohalogenkowych oraz źródeł sodowych podano w tabelach 1 i 2.

Tabela 1. Zalecane wartości znamionowej skuteczności świetlnej dla wysokoprężnych lamp metalohalogenkowych [4]

	Moc nominalna lampy P [W]	Znamionowa skuteczność świetlna lampy [lm/W]
1	$P \leq 55$	$\geq 88$
2	$55 < P \leq 75$	$\geq 91$
3	$75 < P \leq 105$	$\geq 107$
4	$105 < P \leq 155$	$\geq 110$
5	$155 < P \leq 255$	$\geq 128$
6	$255 < P \leq 405$	$\geq 138$

Tabela 2. Zalecane wartości znamionowej skuteczności świetlnej dla wysokoprężnych lamp sodowych [4]

	Moc nominalna lampy P [W]	Znamionowa skuteczność świetlna lampy [lm/W]
1	$P \leq 45$	$\geq 60$
2	$45 < P \leq 55$	$\geq 80$
3	$55 < P \leq 75$	$\geq 90$
4	$75 < P \leq 105$	$\geq 100$
5	$105 < P \leq 155$	$\geq 110$
6	$155 < P \leq 255$	$\geq 125$
7	$255 < P \leq 605$	$\geq 135$

Nowoczesne rozwiązania pozwalają na realizację wielu funkcji. Jednak z przepisów wynika, iż sprawność opraw ze źródłami LED powinna być określona na poziomie 87% [5]. Również oprawy ze źródłami wyładowczymi mają określone dopuszczalne wartości sprawności (tabela 3).

Tabela 3. Minimalna sprawność stateczników do lamp wyładowczych dużej intensywności [4]

	Moc nominalna lampy P [W]	Minimalna sprawność statecznika $\eta_{ballast}$ [%]
1	$P \leq 30$	78
2	$30 < P \leq 75$	85
3	$75 < P \leq 105$	87
4	$105 < P \leq 405$	90
5	$P > 405$	92

Stosowane w oprawach wyładowczych urządzenie wspomagające pracę źródeł światła określono nazwą statecznik [4]. Jego nazwa określa jednak więcej funkcji niż znane dotychczas stateczniki magnetyczne do lamp fluorescencyjnych. Zgodnie z zapisami rozporządzenia „statecznik” oznacza urządzenie służące głównie do ograniczenia poboru prądu przez lampę lub lampy do wymaganej wartości, w przypadku gdy jest włączone pomiędzy źródłem zasilania a lampą wyładowczą lub większą liczbą takich lamp. Statecznik może również zawierać środki przekształcania napięcia zasilającego, „przyciemniania” (sterowania wartością emitowanego strumienia świetlnego) lampy i korygowania współczynnika mocy oraz może – sam lub w połączeniu z urządzeniem zapłonowym – zapewniać warunki niezbędne do zapłonu lampy lub grupy lamp (opraw oświetleniowych). Oznacza to konieczność objęcia wymogami dotyczącymi sprawności opraw wyładowczych również układów sterujących.

### Parametry i kryteria w oświetleniu dróg

Na etapie projektowania oświetlenia drogowego najważniejsze znaczenie ma stosowanie poszczególnych części normy serii EN 13201 [6,7,8,9,10]. Pierwsza część pozwala na zakwalifikowanie odpowiedniej sytuacji oświetleniowej i wybór klasy oświetlenia. W części drugiej normy definiowane są wymagania fotometryczne dla klas oświetleniowych, z uwzględnieniem potrzeb użytkowników dróg i aspektów środowiskowych. Trzecia część określa jednolite metody obliczeniowe, tak by procedury i oznaczenia były jednoznaczne. Czwarta część określa zasady dokonywania pomiarów, ich warunków oraz sposobu prezentacji. Część piąta dotyczy oceny efektywności energetycznej instalacji oświetlenia drogowego. W części pierwszej normy przedstawiono uproszczony system procedury wyboru klas oświetleniowych (M, C lub P). Opisano także parametry charakteryzujące sytuacje oświetleniowe. Są to m.in. obszary ruchu motorowego, strefy konfliktowe oraz strefy ruchu pieszych i/lub wolno poruszających się pojazdów, prędkość poruszania się, natężenia i rodzaju uczestników ruchu, warunków charakteryzujących otoczenie drogi. Ogólna zasada ustalania ilościowych wymagań oświetleniowych dla każdej z klas sprowadza się do przypisania wag poszczególnym parametrom. Oprócz parametrów o stałej przyporządkowanej wadze (m.in. dopuszczalna prędkość, gęstość skrzyżowań czy rozdzielanie jezdni) występują tu parametry których wagi w godzinach nocnych są zmienne (natężenie ruchu, rodzaj ruchu czy jasność otoczenia). W przypadku oświetlenia dróg (klasa M), na których dominujące znaczenia ma ruch samochodowy, podstawowymi czynnikami są: poziom luminancji, jej równomierność, ograniczenie olśnienia i prowadzenie wzrokowe (część druga normy). Dla klasy C i P (strefy konfliktowe – ruch motorowy i piesi lub rowerzyści) kryteria oparte o mierzoną wartość luminancji zostały zastąpione pomiarami natężenia oświetlenia.

Tabela 4. Klasy oświetleniowe P [2]

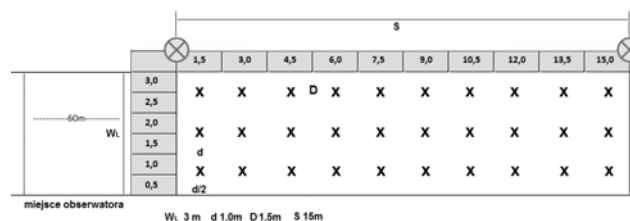
Klasa	Poziome natężenie oświetlenia	
	Wartość średnia $E_m$ [lx]	Wartość minimalna $E_{min}$ [lx]
P1	15,0	3,00
P2	10,0	2,00
P3	7,50	1,50
P4	5,00	1,00
P5	3,00	0,60
P6	2,00	0,40
P7	brak wymagań	brak wymagań

W chwili obecnej do obliczeń (realizowanych zgodnie z zapisami części trzeciej) wykorzystuje się programy

komputerowe wspomagające proces doboru źródeł i opraw oraz wyznaczania parametrów oświetleniowych wynikających z założeń projektu. Czas obliczeń jest znacznie skrócony w stosunku do metod tradycyjnych, przez co można łatwiej zoptymalizować sposób oświetlenia drogi.

Po wykonaniu instalacji oświetleniowej należy przeprowadzić pomiary zakładanych parametrów oświetleniowych zgodnie z czwartą częścią normy [9]. Pomiary są praktycznie jedynym obiektywnym sposobem na określenie faktycznych parametrów fotometrycznych na danej drodze. Właściwie określone procedury weryfikacyjne, pozwalają na weryfikację projektu oświetleniowego oraz prawidłową realizację instalacji oświetleniowej. Pomiary umożliwiają także sprawdzenie utrzymania w czasie eksploatacji wymaganego poziomu poszczególnych parametrów oświetlenia. Pomiary oświetlenia dróg wykonuje się przed przyjęciem do eksploatacji nowych lub zmodernizowanych urządzeń oświetleniowych oraz okresowo w trakcie eksploatacji, w celu stwierdzenia potrzeby wykonania zabiegów konserwacyjnych.

W normie ustalono zasady i procedury pomiarów parametrów oświetlenia drogowego. Warunki pomiaru określają aby po załączeniu instalacji odczekać odpowiedni czas, po którym lampy wyładowcze osiągną stabilizację wartości strumienia świetlnego. Pomiary natężenia oświetlenia w tym samym miejscu lub w tych samych miejscach należy wykonywać w regularnych odstępach czasu w celu upewnienia się, że przed ostatecznym wykonaniem pomiarów oświetlenia stabilizacja została osiągnięta. Zaleca się ponadto, aby warunki klimatyczne nie wpływały znacząco na pomiary. Do nieprawidłowości może dojść na skutek: oddziaływania nadmiernego ciepła (źródła, oprawy lub przyrządy pomiarowe, oddziaływania wilgoci (kondensacja pary wodnej na kloszkach opraw lub sensorach (czujnikach lub obiektywach) czy silnego przepływu powietrza - wiatru (drżania źródeł, opraw lub przyrządów pomiarowych). Temperaturę otoczenia należy rejestrować na wysokości 1 m nad powierzchnią drogi. Zaleca się wyłączenie świateł obcych (witryny sklepowe, tablice reklamowe, sygnalizacja świetlna) i wprowadzenie korekty uwzględniającej poświatę niebosłonu lub odbicie światła od np. śniegu. W trakcie pomiarów parametrów fotometrycznych należy rejestrować wartość napięcia zasilania. Plan instalacji powinien być wykonany na podstawie pomiarów wykonanych w terenie. Dokumentacja powinna zawierać wszystkie dane geometryczne opraw oświetleniowych wraz ze słupami. W celu zapewnienia zgodności między wartościami mierzonymi i obliczonymi zaleca się, aby lokalizacja punktów pomiarowych była zgodna z ich rozmieszczeniem w projekcie.



Rys. 1. Rozkład punktów obliczeniowych (pomiarowych) na ocenianej powierzchni – pomiary natężenia oświetlenia

### Wyniki pomiarów parametrów instalacji oświetleniowej

Pomiarów dokonano na wykonanej instalacji oświetleniowej z oprawami wyładowczymi sodowymi podzielonymi na 3 obwody z zastosowaniem regulatora napięcia [11]. Oprawy (170 szt.) były zamontowane nad ciągami dróg osiedlowych pieszych. Zastosowano oprawy

oświetleniowe ze źródłami światła o następujących parametrach: strumień świetlny 10700 lm, współczynnik oddawania barw Ra 65, temperatura barwowa 2000K, moc znamionowa 100W i znamionowa skuteczność świetlna 107lm/W [12].

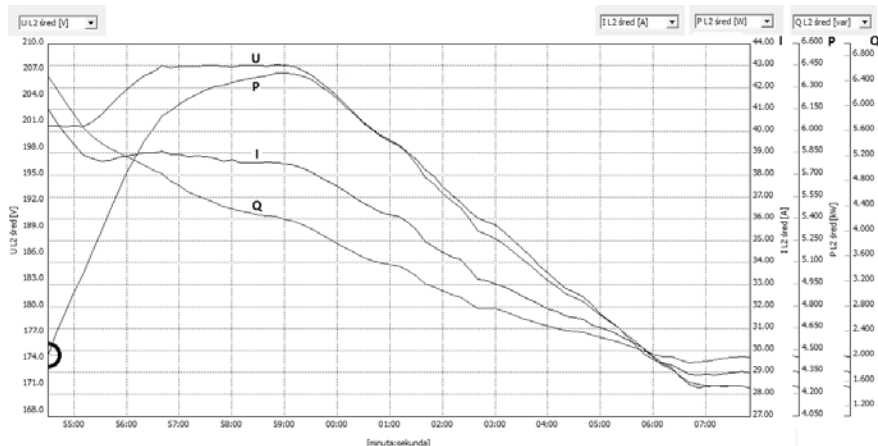
Tabela 5. Wybrane wyniki pomiarów parametrów elektrycznych instalacji oświetleniowej 3 fazowej

	U [V]	I [A]	P [kW]	Q <sub>1</sub> [kvar]	S [kVA]	S <sub>N</sub> [kvar]
L1-N	233,4	31,08	5,731	3,830	7,254	2,219
L2-N	230,3	44,04	8,185	5,154	10,14	2,979
L3-N	232,7	26,16	5,170	2,576	6,087	1,887
	f [Hz]	PF [-]	cosφ [-]	tgφ [-]	THD <sub>u</sub> [%]	THD <sub>i</sub> [%]
L1-N	50,0	0,790	0,832	0,668	3,473	31,93
L2-N	50,0	0,807	0,847	0,630	3,398	30,52
L3-N	50,0	0,849	0,895	0,498	3,230	32,45

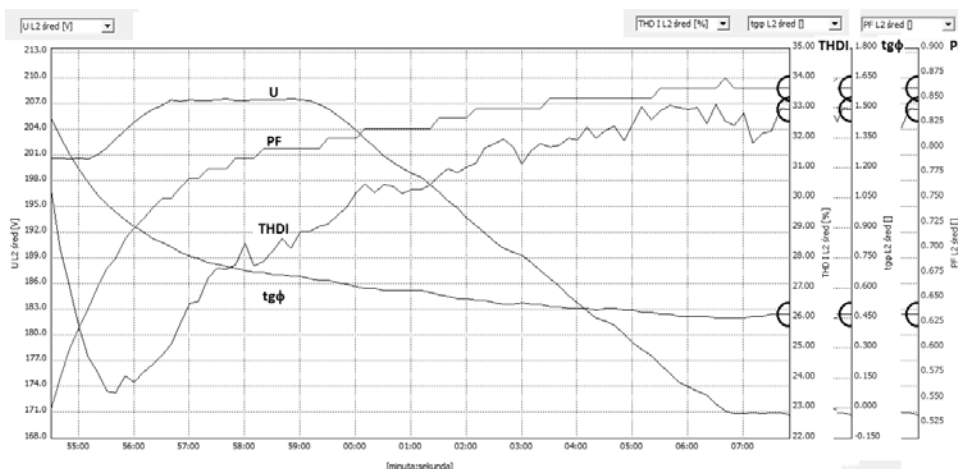
Pomiary parametrów elektrycznych i natężenia oświetlenia zrealizowano dla znamionowej wartości napięcia zasilania opraw ~230V oraz dla obniżonej wartości napięcia ~170V. Wybrane wyniki pomiarów parametrów elektrycznych (po uzyskaniu pełnej stabilizacji wartości strumienia świetlnego) podano w tabeli 6.

Tabela 6. Przykładowe wyniki pomiarów parametrów elektrycznych (obwód faza 1) dla dwóch wartości napięć zasilania opraw ~230V i ~170V

	~230,0	~170,0
U [V]	~230,0	~170,0
I [A]	30,0	21,0
P [kW]	5,7	4,5
Q <sub>1</sub> [kvar]	3,5	1,1
PF [-]	0,8	0,9
tgφ [-]	0,42	0,2
THD <sub>i</sub> [%]	31,8	34,9



Rys. 2. Wykres zmian wartości napięcia, prądu, mocy czynnej i mocy biernej w obwodzie 2 badanej instalacji oświetleniowej



Rys. 3. Wykres zmian wartości napięcia, całkowitego współczynnika mocy, współczynnika zawartości harmonicznych THDI, współczynnika tgφ w obwodzie 2 badanej instalacji oświetleniowej

		s											
		1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	9,0	10,5	12,0	13,5	15,0		
Wł.	3,0												
	2,5	17,2	7,5	2,7	1,2	1,1	1,1	1,2	2,7	7,6	17,4		
	2,0												
	1,5	14,9	6,9	2,6	1,2	1,0	1,0	1,2	2,6	6,9	15,2		
	1,0												
	0,5	12,0	5,9	2,4	1,1	1,0	1,0	1,1	2,4	5,9	12,2		

Wł. 3 m d 1,0m D1,5m S 15m

Rys. 4. Rozkład punktów pomiarowych na fragmencie ocenianej powierzchni – pomiary natężenia oświetlenia – wartość napięcia zasilania ~230V

W trakcie realizacji audytu dokonano również pomiarów rozkładu natężenia oświetlenia na wybranym fragmencie ocenianej powierzchni (według rozkładu punktów pomiarowych jak na rys. 1).

Aby wyznaczyć klasę oświetlenia obliczono wartość średnią natężenia oświetlenia ze wzoru (1) [3].

$$(1) \quad E_m = \frac{E_{P1} + E_{P2} + E_{P3} + E_{P4} + \dots + E_{P30}}{n}$$

gdzie:  $E_m$  – wartość średnia natężenia oświetlenia dla ocenianego obszaru,  $E_{P1} \dots E_{P30}$  – wartość natężenia oświetlenia w danym punkcie,  $n$  – liczba punktów pomiarowych.

Wartość średnia natężenia oświetlenia  $E_m$  dla napięcia zasilania opraw równego  $\sim 230V$  wyniosła 5,24 lx. Ponieważ wartość minimalna  $E_{min}$  wynosi 1,0 lx można stwierdzić, że oceniana instalacja oświetleniowa (przy wartości napięcia zasilania równej  $\sim 230V$ ) ma klasę P4 [6].

	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	9,0	10,5	12,0	13,5	15,0
3,0										
2,5	9,2	4,9	2,1	D 1,0	0,7	0,7	1,0	2,1	4,9	9,3
2,0										
1,5	6,8	3,9	1,8	1,0	0,6	0,7	1,0	1,8	3,9	6,8
1,0										
0,5	5,0	3,1	1,6	0,9	0,6	0,6	0,9	1,6	3,1	4,9

Rys. 5. Rozkład punktów pomiarowych na fragmencie ocenianej powierzchni – pomiary natężenia oświetlenia – wartość napięcia zasilania  $\sim 170V$

Wartość średnia natężenia oświetlenia  $E_m$  dla napięcia zasilania opraw równego  $\sim 170V$  wyniosła 2,88 lx. Ponieważ wartość minimalna  $E_{min}$  wynosi 0,6 lx można stwierdzić, że oceniana instalacja oświetleniowa (przy zasilaniu  $\sim 170V$ ) ma klasę P6 [4].

### Podsumowanie

Wzrost kosztów energii elektrycznej z jednej strony, a możliwości techniczne w dziedzinie oświetlenia z drugiej wymuszają szukanie nowych rozwiązań mających na celu oszczędności podczas eksploatacji urządzeń i instalacji elektrycznych – również oświetleniowych [13]. Jedną z metod oszczędzania energii elektrycznej jest stosowanie regulatorów napięcia dedykowanych do obwodów z oprawami wyładowczymi.

Stosowanie regulatorów a co za tym idzie obniżanie wartości emitowanego strumienia świetlnego jest możliwe tylko przy założeniu zmiany klasy oświetlenia związanej z godzinami nocnymi eksploatacji instalacji oświetleniowych [11,14].

Średnia moc czynna całkowita zastosowanej oprawy (na podstawie pomiarów w laboratorium) wyniosła 112 W czyli układ lampa – statecznik miał sprawność 89,29% co oznacza że parametry instalacji są zgodne z przepisami [4] tabele 1 i 2.

Stosowane nowe a także już eksploatowane oprawy ze źródłami wyładowczymi mogą być używane w oświetleniu drogowym pod warunkiem, iż spełniają wymagania przepisów UE [1-5, 6, 10]. Podobnie jak oprawy ze źródłami LED mogą mieć regulowaną wartość emitowanego strumienia świetlnego, co pozwala na oszczędności energii elektrycznej. Dla analizowanego przypadku (rys. 3) oszczędność wynosi około 35% (wyniki uwzględniają zużycie energii czynnej przez regulator). Na podstawie danych dostawców regulatorów napięcia [9,11]

oszczędności te dochodzą nawet do 40% dla dużych instalacji i przy stosowaniu kilku poziomów redukcji napięcia.

Zmniejszanie strumienia świetlnego jest możliwe wraz ze zmianą parametrów sytuacji oświetleniowych co oznacza zmianę klasy oświetlenia.

Przedstawione wyniki pomiarów parametrów elektrycznych pozwalają stwierdzić, iż stosując regulatory napięcia zmniejsza się wartość prądów zasilania oraz poprawiają się wartości współczynników PF i  $\text{tg}\varphi$ . Niestety współczynniki zawartości harmonicznych nie maleją co oznacza konieczność zastosowania dodatkowych filtrów harmonicznych. Wartość współczynnika  $\text{tg}\varphi$  jest większa od wartości 0,4 co oznacza konieczność wymiany kondensatorów w oprawach (prezykcyjne utrzymanie ruchu) i/lub stosowania baterii kondensatorów.

**Autor:** dr inż. Marek Kurkowski Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, Instytut Elektroenergetyki, al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, e-mail: [tarnaslight@wp.pl](mailto:tarnaslight@wp.pl)

### LITERATURA

- [1] Tomczuk P.: Assessment of the state of pedestrian crossing lighting on the basis of field measurements of luminance, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 89 NR 8/2013, pp. 266-269.
- [2] Wiśniewski A.: Sterowanie oświetleniem zewnętrznym – stateczniki elektroniczne do lamp wyładowczych, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 92 NR 6/2016, ss. 182-185.
- [3] Czapp S.: Current distortion in lighting systems and its impact on power supply installations, *Acta Energetica*, vol. 1, no. 1, pp. 25-39, Jan. 2009.
- [4] Rozporządzenie nr 245/2009, zmienione przez rozporządzenie nr 347/2010, w sprawie wykonania dyrektywy 2009/125/WE dotyczącej wymogów ekoprojektowania dla lamp fluorescencyjnych bez zintegrowanego statecznika, lamp wyładowczych wysokiej intensywności oraz stateczników i opraw oświetleniowych przeznaczonych do takich lamp
- [5] Rozporządzenie nr 278/2009 w sprawie wykonania dyrektywy 2005/32/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu w zakresie zużycia energii elektrycznej przez zasilacze zewnętrzne w stanie bez obciążenia oraz ich średniej sprawności podczas pracy
- [6] PKN-CEN/TR 13201-1:2016-02 – Oświetlenie dróg -- Część 1: Wytyczne dotyczące wyboru klas oświetlenia
- [7] PN-EN 13201-2:2016-03 – Oświetlenie dróg -- Część 2: Wymagania eksploatacyjne
- [8] PN-EN 13201-3:2016-03 – Oświetlenie dróg -- Część 3: Obliczenia parametrów oświetleniowych
- [9] PN-EN 13201-4:2016-03 – Oświetlenie dróg -- Część 4: Metody pomiaru efektywności oświetlenia
- [10] PN-EN 13201-5:2016-03 – Oświetlenie dróg -- Część 5: Wskaźniki efektywności energetycznej
- [11] Oferta firmy AB MICRO
- [12] Oferta firmy OSRAM
- [13] Oferta firmy TECHNOLIGHT
- [14] Oferta firmy RABBIT