PREMIUM LIGHT PRO

Zamówienia publiczne & Projektowanie

Oświetlenie uliczne

Poradnik

Autorzy: Bernd Schäppi, Thomas Bogner

Data: Wiedeń, listopad 2017

Spis treści

1. WPROWADZENIE 3

2. JAKOŚĆ, BEZPIECZEŃSTWO I EFEKTYWNOŚĆ OŚWIETLENIA ULICZNEGO 4
2.1 Wprowadzenie **4**
2.1.1 Kryteria jakości **4**
2.1.2 Kryteria bezpieczeństwa **8**
2.1.3 Kryteria efektywności **9**
2.1.4 Trwałość **10**
2.2 Norma PN-EN 13201 **10**
2.2.1 Wybór klas oświetlenia **10**
2.2.2 Wymagania dotyczące wydajności, metody pomiaru i obliczeń **11**
2.2.3 Wskaźniki efektywności energetycznej **12**
2.2.4 Przykład – drogi na obszarach miejskich **14**
2.2.5 Przykład – drogi na obszarach wiejskich **15**

3. ELEMENTY OŚWIETLENIOWE I PROJEKT OŚWIETLENIA 18
3.1 Elementy system oiświetleniowego **18**
3.1.1 Systemy oświetleniowe **18**
3.1.2 Konstrukcje wsporcze **22**
3.1.3 Systemy elektryczne **23**
3.2 Systemy sterowanie oświetlenia ulicznego **24**
3.2.1 Sterowanie autonomiczne **24**
3.2.2 Sterowanie scentralizowane **24**
3.2.3 Kontrola dynamiczna **24**
3.3 Strategie sterowania oświetlenia ulicznego **25**
3.3.1 Zegary astronomiczne **26**
3.3.2 Czujniki światła dziennego **26**
3.3.3 Detekcja ruchu **26**
3.3.4 Przyciemnianie **27**
3.3.5 Uwagi **27**

4. ZAMÓWIENIA PUBLICZNE SYSTEMÓW OŚWIETLENIOWYCH 28
4.1 Wprowadzenie **28**
4.2 Specyfikacja ogólna **30**
4.2.1 Specyfikacja systemu oświetleniowego **30**
4.2.2 Funkcje sterowania oświetleniem i systemy komunikacyjne **30**
4.2.3 Pomiar zużycia energii **31**
4.3 Kryteria wyboru **31**
4.3.1 Wiedza i doświadczenie zespołu projektantów i zespołu instalacyjnego **31**
4.3.2 Zdolność oferenta **31**
4.3.3 Zgodność z normami EN i ISO **31**
4.4 Wymagania techniczne (kryteria obowiązkowe i kryteria oceny) **32**
4.4.1 Kryteria związane z energią **32**
4.4.2 Kryteria jakości i projektowanie **33**
4.4.3 Oznaczenie zgodności **35**
4.4.4 Koszt cyklu życia / TCO **36**
4.4.5 Kwestie umowne **37**
4.4.6 Redukcja odpadów i odzyskiwanie materiałów **38**
4.5 Kryteria oceny PremiumLightPro – waga i wynik **38**
4.5.1 Wprowadzenie **38**
BIBLIOGRAFIA 40
SPIS RYSUNKÓW 42
SPIS TABEL 43

Wyłączna odpowiedzialność za treść niniejszego opracowania spoczywa na jego autorach. Opracowanie nie wyraża opinii Unii Europejskiej. EASME ani Komisja Europejska nie ponoszą odpowiedzialności za jakiekolwiek wykorzystanie zamieszczonych tu informacji.

1. Wprowadzenie

Nowoczesne rozwiązania oświetleniowe LED to szybko rozwijająca się dziedzina i obiecująca technologii, dająca możliwość znacznych oszczędności energii. Zwiększona efektywność, zoptymalizowana oprawa i elastyczne sterowanie oświetleniem pozwalają na lepszą pracę w różnych warunkach oświetlenia i ruchu ulicznego. Chociaż udział LED w oświetleniu zewnętrznym jest coraz większy, to rynek nie został jeszcze nasycony. Ponadto wciąż istnieje duży potencjał w zakresie poprawy lokalnych i krajowych polityk wspierających wdrożenie systemów oświetlenia LED.

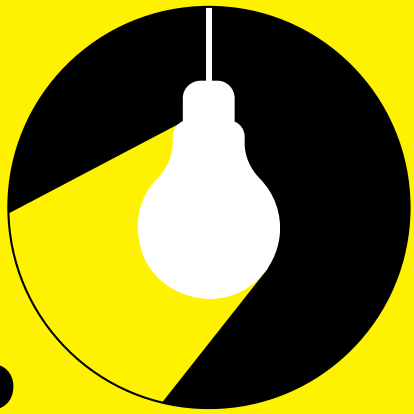
Inicjatywą PremiumLight-Pro jest wspieranie rozwoju polityki, m.in. poprzez:

- opracowanie zielonych zamówień i wytycznych dotyczących projektowania instalacji LED dla sektora prywatnego i publicznego, w tym dla oświetlenia zewnętrznego i wewnętrznego;
- świadczenie usług edukacyjnych, szkoleniowych i informacyjnych dla planistów, architektów, instalatorów i konsultantów;
- rozpowszechnianie najlepszych praktyk realizowanych na podstawie takich polityk.

Wytyczne dostarczone wraz z niniejszym dokumentem koncentrują się na zielonych zamówieniach i projektowaniu systemów oświetlenia ulicznego. Są one przeznaczone przede wszystkim dla ekspertów ds. zamówień publicznych i decydentów szczebla lokalnego i gminnego, którzy są odpowiedzialni za uruchomienie nowych instalacji oświetlenia drogowego lub ich modernizację. Ponadto wytyczne mogą być przydatne dla projektantów oświetlenia dróg, firm zamawiających, specjalistów ds. energii i konsultantów.

Sposób korzystania z poradnika zależy od konkretnego przypadku i wiedzy czytelnika. Eksperci mający już podstawowe informacje na temat oświetlenia ulicznego oraz technologii LED mogą od razu przejść do rozdziału 4, w którym znajdują się szczegółowe zalecenia PremiumLight-Pro odnośnie zamówień publicznych. Eksperci mający mniejszą wiedzę mogą zajrzeć do rozdziałów 2 i 3, które obejmują wszystkie istotne informacje, w tym aspekty jakości i efektywności oświetlenia drogowego oraz normę PN-EN 13201. Wreszcie w rozdziale 5 przedstawiono kilka wybranych przykładów najlepszych praktyk dotyczących oświetlenia drogowego LED.

2. Jakość, bezpieczeństwo i efektywność oświetlenia ulicznego



2.1 Wprowadzenie

Skuteczne rozwiązania oświetlenia drogowego wysokiej jakości oparte na technologii LED muszą spełniać wymogi jakości światła, skuteczności i kryteria bezpieczeństwa. Poniższe rozdziały zawierają przegląd najważniejszych kryteriów i wyjaśnienia specyfiki technologii LED.

2.1.1 Kryteria jakości

Kryteria jakości zawierają m.in. istotne aspekty, takie jak natężenia oświetlenia, barwa światła, oddawania barw, dystrybucja światła, migotanie, olśnienia i inne.

2.1.1.1 Luminancja

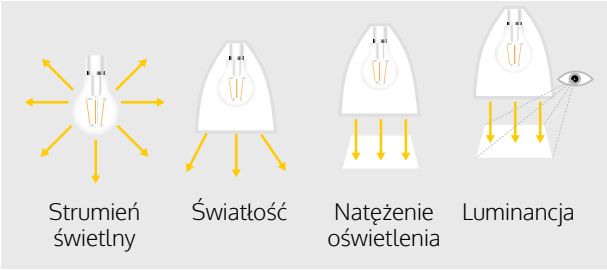
Do określenia ilości światła dostarczonego przez system oświetlenia i postrzeganego przez ludzkie oko można wykorzystać kilka parametrów.

Strumień świetlny (mierzony w lumenach, lm) to całkowita ilość promieniowania emitowanego przez dane źródło światła, które jest widoczne dla ludzkiego oka. Jako, że wrażliwość ludzkiego oka jest różna w zależności od długości fali (np. oko wykazuje większą wrażliwość na światło zielone niż czerwone lub niebieskie) to strumień świetlny jest odpowiednio regulowany.

Luminancja, natężenie strumienia źródła światła (mierzona w kandelach, cd, z 1 cd = 1 lm / kąt bryłowy) reprezentuje przestrzenny rozkład światła mierzonego jako strumień świetlny na danym podłożu stałym w oddaleniu od źródła światła. W oświetleniu dróg dystrybucja przestrzenna musi zapewnić odpowiednie oświetlenie drogi, ulicy i przechodniów. Niepożądanym zjawiskiem jest więc oświetlenie w górę (patrz zanieczyszczenie światłem poniżej).

Natężenie oświetlenia (mierzone w luksach, lx, z 1 lx = 1 lm/m^2) oznacza całkowitą ilość („gęstość") światła padającego na określoną powierzchnię. Minimalne kryteria natężenia oświetlenia zostały określone dla różnych rodzajów dróg, za wyjątkiem autostrad (patrz punkt 2.2.1). Wymagania dla minimalnego natężenia oświetlenia dla dróg w obszarach o skomplikowanej organizacji ruchu (na przykład: obszary z widocznością poniżej 60 m, drogi połączone ze ścieżkami rowerowymi lub ciągami pieszych) wahają się w zakresie od 7,5 do 50 lx (szczegóły w sekcji 3.1.1). Zalecenia dla standardowych wymagań natężenia oświetlenia i luminancji zostały określone w normie PN-EN 13201 (zobacz rozdział 2.2).

Na koniec, **luminancja** (mierzona w cd/m^2), która przedstawia jasność oświetlonych powierzchni lub przedmiotów, postrzeganych przez ludzkie oko. Minimalne wymagania dotyczące luminancji dla średnich i szybkich tras komunikacyjnych wahają się od 0,3 do 2 cd/m^2 [PN-EN 13201-2]. Zatem luminancja zwykle mieści się w tak zwanym "zakresie mezoskopowym" ludzkiej percepcji obrazu (która mieści się w zakresie od 0,001 do 3 cd/m^2), obejmującej zarówno pełne widzenie barwne (widzenie fotopowe), jak i widzenie nocne (widzenie skotopowe). W tym zakresie ludzki czas reakcji na nowe bodźce zależy od kontrastu jasności i barw. Luminancja oświetlonego obszaru i barwa źródła światła (patrz 2.1.1.3, poniżej) są więc bardzo ważne dla ludzkiej percepcji obrazu, a tym samym dla bezpieczeństwa ruchu. Minimalne wymagania dotyczące luminancji są określone dla klas drogowych obejmujących zarówno średnie, jak i szybkie trasy ruchu (patrz punkt 2.2.1).

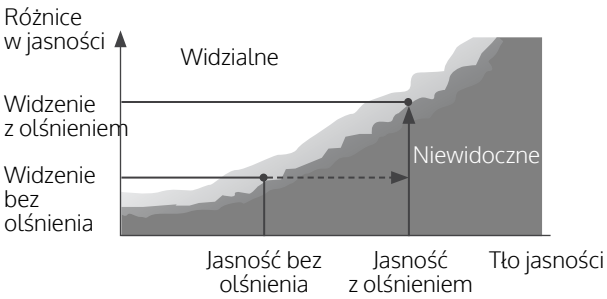


Rysunek 1 *Różne definicje dotyczące parametry oświetlenia.*

2.1.1.2 Olśnienie

Olśnienie to nieprzyjemny efekt wizualny spowodowany niekorzystnym rozkładem światła lub zbyt wysokich kontrastów, zmuszających oko do szybkiego dostosowania (patrz również norma PN-EN 12665-1). Zasadniczo wyróżnia się dwa typy efektów olśnienia: olśnienie oślepiające (uniemożliwiające widzenie), spowodowane przez rozproszenie światła w oku, co zmniejsza wrażliwość na kontrast (np. gdy oczy dostosowały się do światła sztucznego, a światło słoneczne pada na kartkę białego papieru, uniemożliwiając czytanie) oraz olśnienie przykre (powodujące dyskomfort), co wywołuje subiektywne odczucia przykrości (np. gdy światło 'tnie' prosto w oczy i trzeba je zasłonić).

Choć podatność na niebezpieczeństwo olśnienia może być inne dla różnych osób (w szczególności zwiększa się wraz z wiekiem), można ją obiektywnie wyliczyć. W oświetlonym otoczeniu ludzkie oko będzie w stanie wykryć różnice w luminancji do pewnego stopnia. Ten próg można porównywać do sytuacji, gdy w tym samym otoczeniu doda się źródło olśnienia. Poprzez porównanie tych progów można uzyskać przyrost wartości progowej.



Rysunek 2 *Przyrost wartości progowej jasności*

Z drugiej strony, olśnienie przykre powodujące dyskomfort jest zjawiskiem subiektywnym i nie ma zgody co do tego, jak powinno być oceniane. W dziedzinie oświetlenia pojazdów samochodowych i oświetlenia ulicznego, najpowszechniej stosowana jest 9-punktowa skala DeBoer (w zakresie od "1" - nie do zniesienia" do 9 - niezauważalna").

Ponieważ olśnienie oślepiające zmniejsza zdolność do postrzegania małych kontrastów, może to osłabić ważne odruchy, takie jak wykrywanie obiektów krytycznych, sterowanie reflektorami, ocena krytycznych wrażeń. Tak więc, olśnienie to stanowi zagrożenie dla innych użytkowników dróg. Na olśnienie wywoływane przez światła drogowe LED wpływ mają następujące czynniki:

- Stosunek pomiędzy natężeniem oświetlenia ze źródła poświaty w oczach obserwatora a luminancją tła.
- Kąt między źródłem odblasku a linią wzroku obserwatora.

Źródła światła LED mogą mieć bardzo wysoki poziom luminancji, co może powodować oślepienie. Z tego powodu lampy LED są powszechnie wyposażone w dyfuzory, które zmniejszają ten efekt. Systemy oświetlenia drogowego powinny być zaprojektowane w taki sposób, aby uniknąć wysoce odmiennych poziomów luminancji w źródle światła i na oświetlanych obszarach. Ponadto ciągłe zmiany poziomu oświetlenia mogą powodować zmęczenie oczu, czego należy unikać w szczególności w przypadku długich tras. Wyższe poziomy luminancji ułatwiają adaptację oka do mijanych reflektorów innych pojazdów. Dalsze omówienie projektowania systemów oświetlenia drogowego znajduje się w rozdziale 3.

Celem dopasowania odpowiednich osłon przed olśnieniem wprowadzono różne klasy olśnienia. Klasy osłony dla olśnień uniemożliwiających widzenie obejmują poziomy G1 i G6 i są określone w normie PN-EN 13201-2 (patrz tabela 1). Klasy osłon dla olśnień powodujących dyskomfort są określone jako od D1 do D6 (patrz tabela 2).

Tabela 1 *Klasy olśnienia dla olśnień oślepiających (PN-EN 13201-2 i Vejregler2015)*

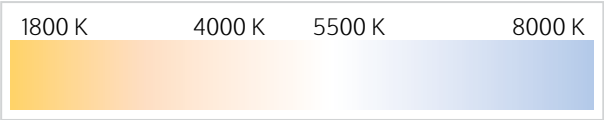
Klasa	Maksymalne natężenie światła			Całkowita osłona
	w 70°	w 80°	w 90°	
G1		200	50	Brak wymagań
G2		150	30	Brak wymagań
G3		100	20	Brak wymagań
G4	500	100	10	powyżej 95 ° do zera
G5	350	100	10	powyżej 95 ° do zera
G6	350	100	0	powyżej 95 ° do zera

Tabela 2 *Klasyfikacja olśnień przykrych (VEJ 2015)*

Klasa wielkości olśnienia	
D0	Bez wymagań
D1	7000
D2	5500
D3	4000
D4	2000
D5	1000
D6	500

2.1.1.3 Barwa światła – temperatura barwowa i chromatyczność

Źródła światła często emitują szeroki zakres różnych długości fali, podczas gdy zwykle są postrzegane jako mające jeden kolor. Ten pozorny kolor jest określany jako "temperatura barwowa" źródła światła. Odpowiada ona kolorowi referencyjnemu ciała doskonale czarnego przesuniętego do określonej temperatury (mierzonej w Kelvinach). Na przykład, słońce ma temperaturę barwową 5780 K, obserwowaną w południe, która jest bliska temperaturze ciała doskonale czarnego.



Rysunek 3 *Temperatura barwowa [Zobacz https://academo.org/demos/colour-temperature-relationship/ - dla wartości RGB]*

Barwa światła stosowana do oświetlenia dróg zazwyczaj zmienia się między żółtawym, neutralnym i niebiesko-białym, odpowiadających temperaturze barwowej między 2500 i 5000 Kelvina. Mieszkańcy różnych regionów Europy mają różne preferencje dotyczące barwy światła, zarówno dla oświetlenia wewnętrznego, jak i zewnętrznego. Na przykład "zimne światło białe" (niebieskawe) jest bardziej popularne w krajach południowych, podczas gdy w środkowych i północnych krajach europejskich preferuje się ciepłe światło białe. Tak więc, w krajach Europy Środkowej i Północnej, światło o wysokiej temperaturze barwowej może być mniej akceptowane przez mieszkańców.

Oświetlenie LED, w przeciwieństwie do pozostałych technologii oświetleniowych, daje możliwość dostosowania lub wyboru temperatur barwowych w zależności od potrzeby zastosowania. Należy jednak wziąć pod uwagę, że temperatura barwowa źródła światła ma wpływ na efektywność energetyczną systemu oświetleniowego i może powodować fizjologiczne skutki dla ludzi i zwierząt. Zimno światło białe o wysokiej temperaturze barwowej zapewnia wyższy poziom efektywności energetycznej systemu oświetleniowego. Wysoki poziom niebieskiego światła w zimnych źródłach światła białego może również powodować efekty fizjologiczne u ludzi i zwierząt i należy wziąć je pod uwagę (patrz także poniżej). Badania wykazały, że białe światło lepiej wpływa na percepcję oka ludzkiego niż światło żółtawe. Białe światło wydaje się jaśniejsze niż żółtawo-białe. W związku z tym światło białe (np. 4000K) może być wykorzystywane w przypadku złożonego układu drogowego z udziałem różnych rodzajów użytkowników dróg (np. samochodów, rowerzystów, pieszych). W przeciwieństwie do niższych temperatur barwowych, ciepłe światło może być korzystne do użytku w strefie zamieszkania oraz do użytku domowego.

Ogólnie wybór temperatury barwowej jest ważnym aspektem projektowania oświetlenia drogowego. Oświetlenie LED zapewnia całe spektrum temperatur barwowych i stwarza podstawę do starannego doboru temperatury barwowej światła dla różnych potrzeb i zastosowań.

Do określenia jednolitości barwy konkretnego typu źródła oprócz temperatury barwowej można użyć tak zwanej chromatyczności, czyli konkretnych współrzędnych barwy światła w spektrum kolorów. Te współrzędne barw mogą być również stosowane do opisu zmiany barwy światła w czasie eksploatacji. Różnice barwy światła w serii lamp lub w określonym przedziale czasowym są oznaczone tak zwanymi elipsami McAdamsa. Przykładowo, konsystencję kolorów konkretnej lampy lub typu oprawy można wskazywać rozmiarem elipsy MacAdamsa. Wymagania dotyczące zgodności kolorów dla serii lamp i ich zmiany w czasie eksploatacji można również wyspecyfikować w zamówieniu. Minimalne wymogi dotyczące produktów sprzedawanych na rynku UE są obecnie określone w odnośnym prawodawstwie UE. Obecny minimalny wymóg zgodnie z ustawodawstwem w sprawie ekoprojektu to pięciostopniowa elipsa MacAdamsa.

2.1.1.4 Oddawanie barw

Źródła światła o tej samej temperaturze barwowej mogą działać zupełnie inaczej pod względem oddawania kolorów oświetlanych obszarów i przedmiotów. W związku z tym specyficzne odwzorowanie kolorów nie zależy od temperatury barwowej źródła światła, ale od długości fali widmowej emitowanej przez źródło. Źródła światła zapewniające pełne spektrum długości fali przedstawiają w bardzo naturalny sposób dowolny rodzaj kolorów oświetlonych obiektów. Źródła światła

emitujące tylko wybrane kolory wspierają prezentację tych konkretnych kolorów.

Przykładowo, dla pieszych ważne jest rozpoznanie twarzy, które wymaga zdolności dostrzegania kontrastu kolorów. Badania wykazały, że ludzie muszą mieć możliwość rozpoznawania twarzy z odległości 4 m, aby poczuć się pewnie (patrz punkty świetlne P, HS i SC w sekcji 2.2.2, które obejmują aspekty rozpoznawania twarzy). [LRT]

Zdolność oddawania barw źródeł światła jest określana ilościowo w warunkach laboratoryjnych za pomocą ośmiu standardowych kolorów. Oddawanie barw jest reprezentowane przez wskaźnik oddawania barw (CRI, jego maksymalna wartość wynosi 100). Systemy oświetleniowe o zdolności oddawania barw równej 80 lub wyższej dają możliwość dobrego rozpoznawania twarzy. [LRT] W odniesieniu do oświetlenia LED istotne znaczenie ma także oddawanie dla światła czerwonego. Jest to tak zwana wartość R9, która zazwyczaj nie jest zawarta w klasycznym CRI. Jest to rozszerzony indeks obejmujący 14 standardowych kolorów. W przypadku oświetlenia LED należy wziąć pod uwagę standardowe CRI i wartość R9. Tabela 3 przedstawia typowe poziomy oddawania barw dla różnych technologii stosowanych w oświetleniu ulicznym. Oprawy LED dają zazwyczaj wartość wskaźnika oddawania barw na poziomie 80 lub wyższym. W przypadku ulic o prostym modelu użytkowania wystarcza często wskaźnik oddawania barw na poziomie Ra 70. W przypadku bardziej złożonych zastosowań i sytuacji oświetleniowych pożądane może być stosowanie wartości ponad Ra 80.

Ogólnie zarówno barwa światła (temperatura barwowa), jak i zdolność oddawania barw źródła światła, są istotne dla widoczności i percepcji obiektów w otoczeniu.

Tabela 3 *Wskaźnik oddawania barw dla systemów oświetlenia ulicznego [BG]*

Typ lampy	CRI
Rtęciowa	40 - 60
Metalohalogenowa	70 - 95
Sodowa niskociśnieniowa	Monochromatyczna
Sodowa wysokociśnieniowa	20
LED	80+

2.1.1.5 Utrzymanie barwy

Utrzymanie barwy jest kwestią szczególnie istotną dla oświetlenia LED, ponieważ starzenie się modułów LED może zmieniać temperaturę barwową i współrzędne barw. Problemy z utrzymaniem barw mogą być spowodowane degradacją materiału stosowanego w hermetycznym kloszu lub soczewek LED, zanieczyszczeniami lub innymi rodzajami degradacji systemu. Przyczynami obecnie badanymi mogą być wysokie temperatury robocze, wyższe pobory prądu, przebarwienia materiałów optycznych z powodu promieniowania niebieskiego lub ultrafioletowego.

Do tej pory tylko niewielu producentów oświetlenia LED oferuje gwarancje dotyczące utrzymania barw. Obecnie brakuje dostępnych, standardowych procedur w tym zakresie. [ENG]

Zmiany barw w czasie eksploatacji można określić i ocenić za pomocą współrzędnych kolorów i elipsy MacAdamsa.

2.1.1.6 Zanieczyszczenie światłem

Sztuczne oświetlenie może mieć niekorzystny wpływ na ludzi i zwierzęta. Niepożądane oświetlenie zewnętrzne nazywa się również zanieczyszczeniem światłem. Dla ludzi efekty to obejmują oświetlenie nocnego nieba w miastach i ich okolicach, powodując zakłócenia snu przez oświetlenie zewnętrzne w rejonach mieszkalnych. Z kolei zwierzęta wykorzystują naturalne źródła światła jako wsparcie nawigacji, tym samym mogą się mylić lub przestraszyć miejsc ze sztucznym oświetleniem. W odróżnieniu od ludzi, wiele zwierząt postrzega inne zakresy długości fali.

Badania wykazały, że źródła światła LED przyciągają mniej owadów niż inne źródła oświetlenia ulicznego, przy czym diody LED "ciepłe" (temperatura barwowa 3000 K) przyciągają znacznie mniej insektów niż diody LED "zimne białe" (temperatura barwowa 6000 K). [SdN]

Jednym ze sposobów ograniczenia zanieczyszczeń światłem jest użycie opraw, które kierują światło tylko na oświetlane obszary. Kierunkowe źródła światła, takie jak diody LED, są szczególnie przydatne do uzyskania optymalnego rozkładu światła. Najczęściej niepożądane są emisje światła powyżej źródła światła.

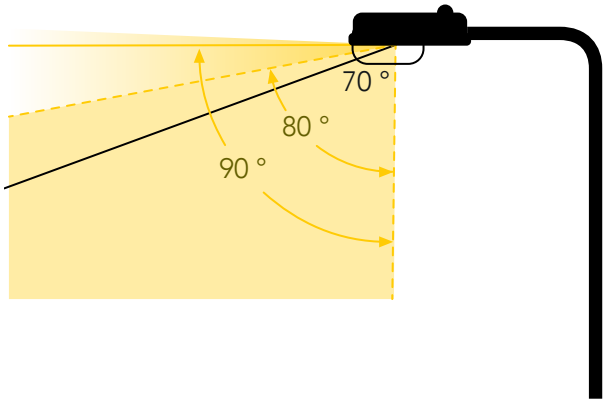
Światło emitowane z oprawy do góry jest określane ilościowo przez współczynnik wyprowadzenia światła w górę (zwany ULOR lub RULO):

$$\textbf{ULOR} = \frac{\text{strumień świetlny (lumen) wychodzący z oprawy w górę}}{\text{całkowita ilość wychodzących lumentów}}$$

W zależności od rodzaju pionowej dystrybucji światła, oprawy dzielą się na cztery podstawowe typy [IIEC]:

- **Oprawy o całkowitym ograniczonym rozsyle** maksymalnie 10% całkowitego światła jest emitowane pod kątem 80° ponad horyzont astronomiczny, i 0% pod kątem 90° ponad horyzont astronomiczny.
- **Oprawy o ograniczonym rozsyle:** maksymalnie 10% całkowitego światła lampy jest emitowane pod kątem 80° ponad horyzont astronomiczny, i 2,5% pod kątem 90° ponad horyzont astronomiczny.
- **Oprawy o częściowo ograniczonym rozsyle światłości:** maksymalnie 20% całkowitego światła lampy może być postrzegane pod kątem 80° ponad horyzont astronomiczny, a 5% pod kątem 90° ponad horyzont astronomiczny.
- **Oprawy bez ograniczenia rozsyłu:** emitują światło we wszystkich kierunkach.

Definicja **ograniczenia rozsyłu światła** jest zawarta w normie PN-EN 13201-2 i jest przypisana do sześciu różnych klas intensywności świecenia, które obejmują również wartości maksymalne pod kątem 70° i wyższym. Więcej informacji na temat normy PN-EN 13201-2 zawiera sekcja 2.2.2.



Rysunek 4 *Określenie kryteriów **ograniczeń rozsyłu światła***

Dalsze możliwości zmniejszenia zanieczyszczenia światłem obejmują:

- **Zmniejszenie natężenia oświetlenia:** środek ten musi być wyważony w stosunku do wymagań bezpieczeństwa użytkowników dróg. Inteligentne sterowanie oświetleniem może regulować natężenie oświetlenia do odpowiednich poziomów w określonych momentach i sytuacjach (patrz rozdział 3.5) [JAE]. Mimo to, wyłączenie lub redukcja oświetlenia w nocy (na przykład między północą a 5:30) prawdopodobnie nie przyniesie wiele korzyści dla lokalnej przyrody, jak na przykład nietoperze i inne rodzaje nocnych zwierząt, które są aktywne we wczesnych godzinach wieczornych, kiedy systemy oświetlenia drogowego o tej porze nadal działają na najwyższym poziomie [BAT]..
- **Zmiana widma:** wrażliwość zwierząt na różne barwy światła różni się w zależności od gatunku. Ogólnie rzecz biorąc, wydaje się, że technologie oświetleniowe emitujące wąskie "ciepłe białe" widmo światła – takie jak lampy sodowe (LPS) niskoprężne – mają mniejsze oddziaływanie na środowisko niż inne technologie. W technologii LED temperatura barwowa może zmieniać się w zależności od potrzeb. Jednakże wymagania dotyczące jakości i bezpieczeństwa muszą zostać spełnione.

Technologia oświetlenia LED może być stosowana do zapewnienia bardziej jednolitego poziomu oświetlenia. Lampy wyładowcze o dużej intensywności (HID), takie jak lampy HPS lub MH, mają wyższe wartości szczytowe oświetlenia bezpośrednio pod oprawami, ale występują też "ciemne miejsca" między oprawami.

2.1.2 Kryteria bezpieczeństwa

Aby zapewnić ciągłą pracę, oprawy dla oświetlenia drogowego muszą być zabezpieczone przed dostępem ciał obcych (zarówno ciał stałych, jak i cieczy), a także odporne na mechaniczne oddziaływania i wahania napięcia w sieci. W tym celu określono wymagania dotyczące ochrony przed wnikaniem, uderzeniem i przepięciem.

Tabela 4 *Stopień ochrony obudowy (IP)*

IP kod	Pierwsza cyfra	Druga cyfra
0	Brak ochrony	Brak ochrony
1	Ochrona przed obcymi ciałami stałymi o średnicy 50 mm i większej	Ochrona przed padającymi kroplami wody
2	Ochrona przed obcymi ciałami stałymi o średnicy 12,5 mm i większej	wychyleniu o dowolny kąt do 15° od pionu w każdą stronę

IP kod	Pierwsza cyfra	Druga cyfra
3	Ochrona przed obcymi ciałami stałymi o średnicy 2,5 mm i większej	Ochrona przed natryskiwaniem wodą pod dowolnym kątem do 60° od pionu z każdej strony
4	Ochrona przed obcymi ciałami stałymi o średnicy 1 mm i większe	Ochrona przed rozpryskiwaniem wody we wszystkich kierunkach
5	Ochrona przed pyłem (z wyłączeniem szkodliwych depozytów)	Ochrona przed strumieniami wody we wszystkich kierunkach
6	Pełna ochrona pyłoszczelna	Ochrona przed falistymi strumieniami wody we wszystkich kierunkach
7		Ochrona przed zanurzeniem
8		Ochrona przed długotrwałym zanurzeniem w wodzie

[IIEC, 2015]

2.1.2.1 Ochrona przed wnikaniem

Odporność opraw oświetleniowych na obcą materię określana jest przez tzw. ochronę obudowy (IP, Ingress Protection), dwucyfrowy numer zdefiniowany przez normę IEC 60529. Pierwsza cyfra oznacza odporność na wnikanie ciał stałych, a druga cieczy:

Aby zapewnić wystarczającą odporność na kurz i wodę w oświetleniu ulicznym należy używać lamp IP65. [IEA]

2.1.2.2 Uderzenia mechaniczne

Odporność opraw na uderzenia mechaniczne jest określana w skali IK, opisanej w normie IEC 62262:

Tabela 5 *Skala odporności na uderzenia mechaniczne (IK)*

Skala IK	Siła uderzenia w dżulach
00	-
01	0.15
02	0.2
03	0.35
04	0.5
05	0.7
06	1
07	2
08	5
09	10
10	20

Jako, że oprawy zewnętrzne mogą być narażone na uderzenia przez gałęzie drzew lub inne czynniki, a nawet na wandalizm, dlatego zaleca się oprawy IK08.

2.1.2.3 Ochrona przed przepięciem

Chwilowe przepięcia (wzrost napięcia powyżej standardowego napięcia projektowego, który trwa od kilku sekund do kilku milisekund) może spowodować uszkodzenie modułów LED i urządzenia sterującego. Ich odporność na takie wahania jest mierzona przez ich zabezpieczenie przepięciowe.

Norma PN-EN 61547 reguluje minimalne kryteria ochrony przeciwprzepięciowej oświetlenia LED poprzez określenie jednej fazy 0,5 kV na przewód neutralny/ziemia. Jest to jednak niewystarczające przy bardziej poważnych sytuacjach, takich jak pobliskie uderzenia pioruna. Z tego powodu wiele projektów oświetlenia drogowego zaleca ochronę przepięciową do 10 kV. [ZVEI2]

2.1.3 Kryteria efektywności

W porównaniu do większości innych technologii, diody LED osiągają bardzo wysoki **poziom efektywności energetycznej** (ilość lumenów na moc wyrażona w Watach).

Tabela 6 *Typowe wartości efektywności energetycznej różnych rodzajów lamp ulicznych [BG]*

Typ lampy	Skuteczność energetyczna [lm/W]
Rtęciowa	60
Halogenki metali	120
Sodowa niskociśnieniowa	150
Sodowa wysokociśnieniowa	150
LED	150

Całkowita sprawność systemów oświetlenia LED zależy nie tylko od skuteczności modułu LED, ale także od oprawy, systemu sterowania oświetleniem i całego projektu oświetlenia. Z tego powodu ważne jest, aby rozróżnić efektywność na poziomie modułu LED, oprawy i całego systemu.

Na efektywność systemu jako całości wpływa też rozkład przestrzenny światła (intensywność świecenia) oraz geometryczny układ dróg i oświetlenia (szczegóły w części 3.2 i 3.3). W celu oceny efektywności energetycznej na poziomie systemu drogowego opracowano wskaźnik gęstości mocy (PDI).

Chociaż wskaźnik gęstości mocy dostarcza użytecznych informacji na temat efektywności energetycznej w systemie oświetlenia ulicznego dla określonego stanu oświetlenia, to poziomy oświetlenia mogą zmieniać się w nocy i w roku, w zależności od wdrożonych systemów sterowania. Całkowita efektywność energetyczna i roczne zużycie energii są lepiej wyrażane przez roczny wskaźnik zużycia energii (AECI). Sekcja 2.2.3 wyjaśnia PDI i AECI bardziej szczegółowo.

2.1.4 Trwałość

W celu określenia żywotności modułów LED, norma IEC 62722-2-1 definiuje następujące wskaźniki:

Trwałość znamionowa L_x czyli deklaracja utrzymania strumienia świetlnego. Na przykład: L_{80} 50,000h oznacza, , że oprawę zaprojektowano tak by po 50 000 godzin pracy wytwarzała przynajmniej 80% znamionowej wartości strumienia świetlnego. Wyjście światła z modułu zmniejsza się o 20% po 50 000 godzinach pracy.

Żywotność znamionowa L_xB_y wskazuje, jaki procent y modułów LED będzie emitować strumień świetlny x po określonym okresie. Tak więc, $L_{80}B_{10}$, 50,000 h należy rozumieć jako:

- Po 50 000 godzin pracy 10% diod LED będzie emitować równo lub mniej niż 80% pierwotnego strumienia świetlnego.

Całkowita awaria C_z określa procentowy udział opraw, które przestały działać w momencie osiągnięcia końca okresu trwałości znamionowej. Zatem C_{10} 50,000 t = 35°C należy rozumieć jako:

- Po upływie 50,000 godzin i temperaturze otoczenia 35°C 10% zainstalowanych opraw LED z tymi samymi modułami LED wykazuje całkowitą awarię.

Ze względu na długi okres żywotności diod LED i ich stosunkowo szybki rozwój, oceniane okresy życia i wartości uszkodzeń to ekstrapolacje statystyczne i w tym aspekcie należy je rozważyć. Ponadto rzeczywisty czas żywotności oprawy może zależeć od kilku czynników. Całkowita awaria i degradacja strumienia świetlnego oprawy są dodatkowo zależne od elektrycznych i termicznych danych eksploatacyjnych, temperatury otoczenia i innych parametrów. Planista musi uzyskać wszystkie istotne dane od producentów w celu wybrania oprawy odpowiedniej do zamierzonego zastosowania i stworzenia na podstawie tych informacji odpowiednich planów utrzymania [ZVEI, 2015]. Diody LED mają żywotność 100 000 godzin lub więcej. Należy również wziąć pod uwagę żywotność urządzenia sterującego oprawą, co zwykle wyraża się jako procentowa możliwość awarii w określonym przedziale czasowym, na przykład "wskaźnik awarii 0,2% na 1000 godzin".

2.2 Norma PN-EN 13201

Podstawowym celem oświetlenia drogowego jest zapewnienie odpowiedniego bezpieczeństwa na drogach w ciemności. Dobre systemy oświetlenia dróg umożliwiają użytkownikom drogowym identyfikację osób, przeszkód i źródeł zagrożeń w pobliżu lub w terenie. Pozwala to uczestnikom ruchu działać efektywnie, co oznacza skuteczną redukcję poważnych wypadków w ciemności.

Kryteria jakości dla oświetlenia dróg są określone w normie europejskiej PN-EN 13201 "Oświetlenie drogowe" i obejmują następujące tematy:

- PD CEN/TR 13201-1:2014: Wybór klas oświetlenia
- PN-EN 13201-2:2015: Wymagania oświetleniowe
- PN-EN 13201-3:2015: Obliczenia parametrów oświetlenia
- PN-EN 13201-4:2015: Metody pomiarów parametrów oświetlenia
- PN-EN 13201-5:2015: Wskaźniki efektywności energetycznej

2.2.1 Wybór klas oświetlenia

PD CEN/TR 13201-1:2014 definiuje zestaw parametrów do szczegółowego opisu wszystkich typowych sytuacji oświetleniowych w ruchu drogowym. Zgodnie ze standardem europejskim wymagania dotyczące oświetlenia można określać w zależności od specyfiki dróg. Do

określenia klas oświetlenia, dla których opisano jakościowe i ilościowe wymagania, wykorzystuje się różne parametry, takie jak geometria obszaru ruchu, rodzaj ruchu i wpływ otoczenia.

PD CEN/TR 13201-1:2014 stosuje procedurę selekcji dla określania klas oświetlenia: od M1 do M6, od C0 do C6 i od P1 do P6. Nie zawiera wytycznych dotyczących wyboru klas oświetleniowych HS, SC i EV, które są dostępne na poziomie krajowym dla każdego państwa

Kryteria wyboru każdej podklasy (określonej przez ich liczbę) opierają się na geometrii drogi, jej przepustowości i jej otoczeniu. Skuteczne kryteria (na podstawie PD CEN/TR 13201-1:2014) obejmują:

- Projektowanie prędkości lub ograniczeń prędkości
- Prędkość jazdy (dla klasy oświetlenia P)
- Wielkość ruchu
- Skład ruchu
- Oddzielenie jezdni
- Zagęszczenie węzła
- Parkowanie pojazdów
- Jasność otoczenia
- Rozpoznawanie twarzy (dla klasy oświetlenia P)
- Oznakowanie

Pewne parametry (w szczególności wielkość ruchu, natężenie ruchu i jasność otoczenia) mogą zmieniać się w zależności od sezonu lub w różnych godzinach nocnych. Dlatego niektóre odcinki drogi mogą być przesuwane do innej klasy.

[PD CEN/TR 13201-1:2014; PN-EN 13201-2:2003; PN-EN 13201-2:2015]

2.2.2 Wymagania dotyczące wydajności, metody pomiaru i obliczeń

Część 2 normy PN-EN 13201 zawiera specyfikacje dla różnych klas oświetlenia, które są określone przez zestaw wymagań fotometrycznych w zależności od potrzeb i wymagań zarówno użytkowników dróg, jak i typów dróg.

Klasy oświetleniowe upraszczają rozwój, a także stosowanie produktów oświetlenia drogowego i ich utrzymanie. Aby ujednolicić wymagania, klasy oświetleniowe zostały określone na podstawie krajowych przepisów państw członkowskich i standardów CIE 115:2010.

Część 2 zawiera szereg dodatkowych wskaźników służących do definiowania minimalnych lub maksymalnych kryteriów dla każdej podklasy.

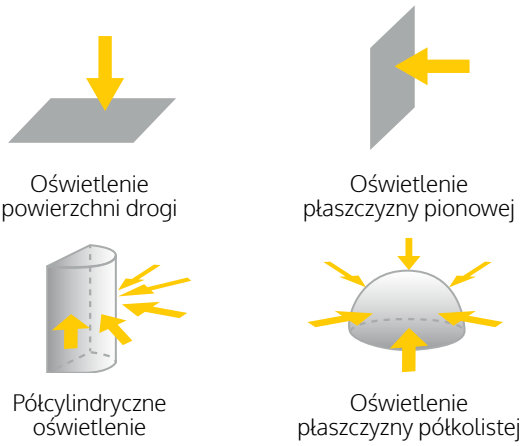
Drogi klasy M drogi dostosowane do potrzeb kierowców pojazdów mechanicznych poruszających się głównie po autostradach, trasach szybkiego ruchu dopuszczających od średniej do wysokiej prędkości ruchu. Aby spełnić kryteria normy, należy zachować ostrożność w celu zachowania: minimalnej średniej luminancji powierzchni drogi, minimalnej jednolitości luminancji powierzchni drogi (z oddzielnymi wartościami minimalnymi podanymi dla warunków suchych i mokrych), minimalnej jednorodności luminancji wzdłuż centra dróg, maksymalnego poziomu odblasku. Należy także dopilnować, aby natężenie oświetlenia poza jezdnią nie spadało zbyt szybko.

Drogi klasy C dostosowane do potrzeb kierowców pojazdów mechanicznych na obszarach konfliktowych, takich jak ulice w obszarach handlowych, jednopoziomowe skrzyżowania o większym stopniu złożoności, ronda, itp. Te klasy odnoszą się również do pieszych i cyklistów. O ile systemy oświetleniowe dróg klasy C muszą nadal spełniać minimalną jednolitość luminancji nawierzchni, to większość innych kryteriów przyjętych dla dróg klasy M nie ma zastosowania lub jest niewykonalna (na przykład wiele obszarów konfliktu nie ma wyraźnego pasa do jezdni przystosowanej do wykonania obliczeń, jak szybko spada natężenie oświetlenia poza drogą). Zamiast tego, muszą utrzymywać średnie poziome oświetlenie w terenie. Chociaż drogi klasy C – w odróżnieniu od dróg klasy M – nie mają obowiązkowych kryteriów minimalizowania olśnienia, w załączniku C do normy PN-EN 13201-2 przedstawiono kryteria informacyjne dla tej klasy.

Drogi klasy P i HS HS są przeznaczone dla pieszych i rowerzystów. Są to drogi rowerowe, drogi ratunkowe i inne drogi leżące oddzielnie lub wzdłuż jezdni drogi komunikacyjnej, a także drogi osiedlowe, chodniki, miejsca parkingowe, itp. Kryteria dla dróg klasy P obejmują minimalną średnią natężenia oświetlenia na terenie drogi oraz jej utrzymanie. Jeśli ważne jest rozpoznanie twarzy, należy zastosować dodatkowe kryteria dla oświetlenia w płaszczyźnie pionowej (w punkcie) i minimalne kryteria dla **oświetlenia w płaszczyźnie półcylindrycznej** (na płaszczyźnie nad drogą). Jako alternatywa dla klasy P, klasa HS opiera swoje kryteria na ogólnej jednolitości luminancji powierzchni drogowej, a także **średniej luminancji półkulistej**.

Drogi klasy SC są dodatkową klasą dla stref pieszych, gdzie szczególnie ważne jest rozpoznawanie twarzy i poczucie bezpieczeństwa. Wymagają minimalnych **poziomów utrzymywania półcylindrycznego natężenia oświetlenia**.

Drogi klasy EV to dodatkowa klasa dróg wprowadzona w przypadku sytuacji takich jak obszary wymiany, w których pionowe powierzchnie muszą być wyraźnie postrzegane.



Rysunek 5 *Typy kryteriów iluminacji*

Dodatkowo załącznik informacyjny A do normy PN-EN 13201-2 wprowadza sześć różnych klas intensywności świecenia w celu zredukowania olśnienia, w przypadku gdy nie można obliczyć normalnego wskaźnika (przyrostu granicznego). Klasy G*1, G*2 i G*3 odpowiadają tradycyjnym rozwiązaniom o częściowo ograniczonym rozsyle światłości, podczas dy G*4, G*5 i G*6 odpowiadają pełnemu wyłączeniu. Więcej informacji na temat definicji tych terminów zawiera sekcja 2.1.1.4.

PN-EN 13201-3 opisuje metody i procedury matematyczne, które powinny być stosowane do obliczania charakterystycznych wielkości oświetleniowych określonych w PN-EN 13201-2.

PN-EN 13201-4 opisuje metody, które powinny być stosowane do pomiaru oświetlenia. Istnieją cztery podstawowe typy sytuacji, w których powinny być przeprowadzane pomiary:

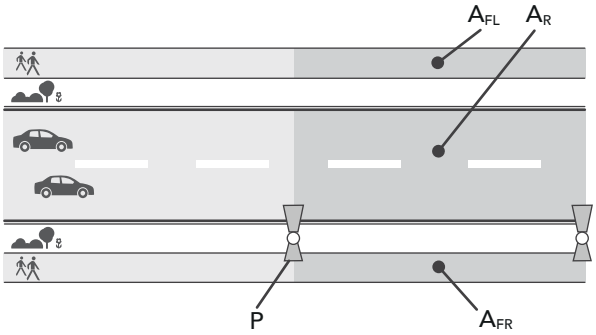
- w końcowej fazie testowej należy przeprowadzić pomiary w celu sprawdzenia zgodności z wymaganiami standardowymi i / lub specyfikacjami projektowymi.
- w ustalonych przedziałach czasu podczas cyklu życia oświetlenia ulicznego w celu określenia ilościowej degradacji oświetlenia i określenia potrzeby utrzymania.
- bezustannie lub we wcześniej ustalonych odstępach czasu w celu dostosowania strumienia świetlnego opraw oświetleniowych, jeśli droga wykorzystuje adaptacyjne oświetlenie dróg (np. kontrolę luminancji lub oświetlenia w zależności od natężenia ruchu, czasu, pogody lub innych czynników środowiskowych).

2.2.3 Wskaźniki efektywności energetycznej

PN-EN 13201-5 opisuje dwa wskaźniki efektywności energetycznej (PDI). Są to: **wskaźnik gęstości mocy D_P** (mierzone w [$\frac{W}{(lx \cdot m^2)}$]) oraz **wskaźnik rocznego zużycia energii (AECI) D_E** (mierzony w [$\frac{Wh}{m^2}$]), które zostały już przedstawione w poprzednim rozdziale. Wskaźniki te powinny być wykorzystywane zawsze łącznie do oceny charakterystyki energetycznej danego systemu oświetleniowego.

Wskaźnik gęstości mocy określa sposób obliczania charakterystyki energetycznej poszczególnych instalacji oświetlenia drogowego i umożliwia porównanie różnych ustawień i technologii dla tego samego projektu oświetlenia ulicznego (ponieważ różne lokalizacje i warunki środowiskowe będą miały inną geometrię, wartości PDI mogą służyć do porównywania różnych ustawień dla tej samej instalacji). W celu obliczenia wskaźnika gęstości mocy dla danego obszaru potrzebne są następujące informacje:

- **Całkowita moc elektryczna systemu P** systemu oświetleniowego (dla całej instalacji lub dla wybranych sekcji), która obejmuje zarówno moc elektryczną wszystkich indywidualnych punktów świetlnych (źródła światła i wszelkie powiązane urządzenia), jak również urządzeń, które nie należą do poszczególnych punktów świetlnych, ale są niezbędne do ich działania (takie jak scentralizowane systemy sterowania i przełączniki).
- **Utrzymywanie średniego poziomu oświetlenia** $\bar{E}$ (w [lx]) dla każdego podobszaru (a także rozmiaru każdego podobszaru). Pasy jezdni i pasy trawy są używane do obliczania, jak szybko spada natężenie oświetlenia poza jezdnią. Natężenie oświetlenia może pochodzić z wytycznych, które już zostały ustalone do wyboru klasy oświetlenia drogi.



Rysunek 6 *Przykładowe zobrazowanie dla obliczeń PDI/AECI*

Pełne równanie dla obliczania PDI wygląda następująco:

$$D_P = \frac{P}{\sum_{i=1}^{n} (\bar{E}_i \times A_i)}$$

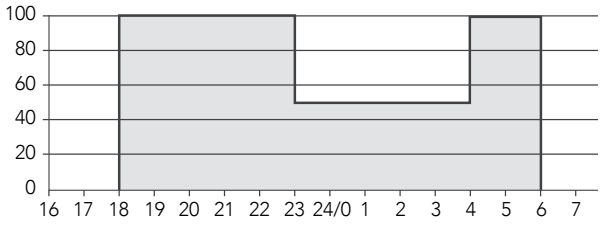
gdzie:
$\bar{E}_i$ - jest utrzymywanym średnim poziomem oświetlenia podobszaru poziomego,
A_i - jest wielkością podprzestrzeni "i" oświetlonej przez instalację oświetleniową (w [m^2]),
n - jest liczbą podobszarów do oświetlenia.

W przypadku klas oświetlenia drogowego, dla których nie stosuje się utrzymywania średniego poziomu oświetlenia poziomego (to znaczy klasy oświetlenia drogowego innej niż M), sekcja 4.2 normy PN-EN 13201-5 zawiera wskazówki dotyczące odpowiednich przeliczeń.

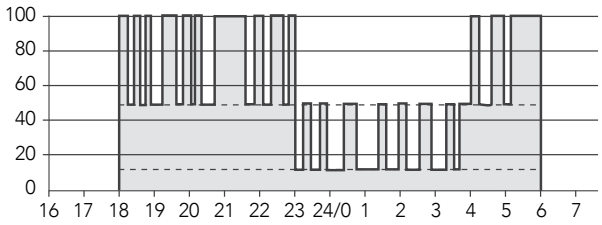
Ponieważ klasa oświetleniowa zmienia się zazwyczaj w różnych porach roku i w godzinach nocnych, należy obliczyć PDI oddzielnie dla każdej odpowiedniej klasy. W celu porównania różnic zużycia energii pomiędzy dwoma różnymi ustawieniami nie tylko dla określonej klasy oświetlenia drogowego, ale przez cały rok pracy, konieczne jest obliczenie współczynnika AECI. W tym celu konieczne jest podzielenie roku na osobne okresy operacyjne, w których stosowane są różne wartości dla P. Pełnym równaniem dla obliczania AECI jest:

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^{m} (P_j \times t_j)}{A}$$

gdzie:
P_j - jest całkowitą mocą systemu związaną z okresem operacji jth (w [W]),
t_j - jest okresem eksploatacji j, gdy pobiera się moc P_j(w [h]),
A - jest wielkością obszaru oświetlonego tym samym układem oświetlenia (w [m^2]),
m - oznacza liczbę okresów o różnej mocy operacyjnej P_j.
Całkowite skumulowane okresy czasu tj powinny zostać dodane do całego roku. Okresy, w których oświetlenie nie działa (np. w ciągu dnia) powinny być uwzględnione w obliczeniach, ponieważ nawet w tych okresach system nadal zużywa energię, np. w stanie czuwania.



Rysunek 7 *Przykład poboru mocy świetlnej w zależności od czasu: pełna moc pobierana jest wieczorem i wcześnie rano, połowa mocy późną nocą*



Rysunek 8 *Pobór mocy świetlnej pracującej z detektorem pojazdów lub ruchu – pełna moc w przypadku wykrycia obecności*

Załącznik A do normy PN-EN 13201-5 zawiera przykładowe wartości PDI/AECI dla szerokiego zakresu klas oświetleniowych, szerokości pasów jezdni i typów lamp (na podstawie produktów oświetleniowych dostępnych w 2014 r.). Poniżej przedstawiono kilka przykładowych wartości (wszystkie dla szerokości jezdni 7 m).

Tabela 7 *Przykład* D_P *(wyrażone w* $[\frac{W}{(lx \cdot m^2)}]$*)* / D_E *(wyrażone w* $[\frac{kWh}{m^2}]$*) wartości dla drogi dwupasmowej dla ruchu zmotoryzowanego*

Klasa oświetlenia	Rodzaj oświetlenia				
	Rtęciowe	Halogenki metali	Sodowe wysokociśnieniowe	Sodowe niskociśnieniowe	LED
M1		45 / 5.0		34 - 41 / 4.0 - 5.3	25 - 32 / 3.0 - 3.8
M2	100 / 10.8	50 / 4.6		31 - 40 / 3.2 - 4.2	24 - 27 / 2.4 - 2.5
M3	84 / 6.0	47 / 3.6	40 / 2.8 - 3.1	34 - 38 / 2.5 - 2.6	23 - 25 / 1.5
M4	90 / 5.0	60 / 3.1	41 - 47 / 2.3 - 2.5	34 - 42 / 1.8 - 2.4	23 / 1.1
M5	86 / 3.2	30 / 0.9	47 / 1.7	38 - 45 / 1.1 - 1.6	24 / 0.8
M6	85 / 1.9	37 / 0.6		45 - 49 / 0.2 - 1.2	20 - 27 / 0.4 - 0.5

Załącznik C do normy PN-EN 13201-5 dostarcza uproszczoną metodę porównania systemów oświetleniowych dla klas oświetlenia M w oparciu o średnią utrzymywania średniego poziomu oświetlenia poziomego $\bar{E}$. Załącznik D zawiera przykładowy schemat przedstawiania informacji o wskaźniku charakterystyki energetycznej.

2.2.4 Przykład – drogi na obszarach miejskich

Rozdział ten ilustruje, w jaki sposób norma PN-EN 13201 może być stosowana w różnych sytuacjach oświetleniowych, z uwzględnieniem klasyfikacji i wymagań drogowych. Pierwszym przykładem jest lokalizacja w centrum miasta, znajdują się tu przejścia dla pieszych i pas rowerowy. Ulica jest bardzo ciasna, co sprawia, że w godzinach szczytu jest ona zatłoczona.

Rysunek 9 *Śródmieście*

Zgodnie z PD CEN/TR 13201-1: 2014 jest to obszar konfliktowy, ponieważ występują piesi, a tym samym należy zastosować większą klasę oświetleniową C (klasy oświetleniowe obszarów konfliktu). Aby ustalić dokładną klasę oświetlenia, należy użyć Tabeli 3 z powyższej normy (Rysunek 10).

- Zaprojektowanie prędkości lub ograniczeń prędkości: w godzinach szczytu ruch jest raczej powolny (≤40 km/h), co daje odpowiednią wartość wagową –1
- Natężenie ruchu: ponieważ natężenie ruchu jest wysokie, ważona wartość wynosi 1..
- Skład ruchu: przejście dla pieszych i pas rowerowy dają kompozycję ruchu mieszanego. Prowadzi to do wartości wagowej równej 1.
- Oddzielenie jezdni: nie ma takiej separacji, a więc wartość wagowa wynosi 1.
- Pojazdy zaparkowane: generalnie nie ma zaparkowanych pojazdów, więc wartość wagowa wynosi 0.
- Jasność otoczenia: środowisko w godzinach szczytu jest jasne i jasność otoczenia jest wysoka, więc ważona wartość wynosi 1..
- Zadanie nawigacyjne: ze względu na przejście dla pieszych zadanie to byłoby trudne, więc ważona wartość wagowa wynosi 1.

Suma wszystkich współczynników wagowych "VWS" wynosi 4, co daje ostateczną klasę oświetlenia **C2** (C = 6 - VWS)

Table 8 *Parametry służące do określenia klasy oświetlenia*

Parametr	Opcja	Opis*	Wartość ważona V_w*
Zaprojektowanie prędkości lub ograniczeń prędkości	Bardzo wysoki	v ≥ 100 km/h	3
	Wysokie	70 < v < 100 km/h	2
	Umiarkowane	40 < v ≤ 70 km/h	0
	Niskie	v ≤ 40 km/h	–1
Natężenie ruchu	Wysoki		1
	Umiarkowany		0
	Niski		–1
Skład ruchu	Mieszany, z wysokim udziałem niezmotoryzowanych		2
	Mieszany		1
	Wyłącznie zmotoryzowany		0
Oddzielenie jezdni	Nie		1
	Tak		0
Pojazdy zaparkowane	Obecne		1
	Nieobecne		0
Jasność otoczenia	Wysoka	okna wystaw sklepowych, reklamy, tereny sportowe, przystanki, powierzchnie sklepów	1
	Umiarkowana	normalna sytuacja	0
	Niska		2
Zadanie nawigacyjne	Bardzo trudne		2
	Trudne		1
	Łatwe		0

* Podane wartości są przykładami. Wszelkie dostosowania metody lub użycie bardziej szczegółowych danych jest możliwe.

Zgodnie z tabelą 2 normy PN-EN 13201-2 powoduje to następujące wymagania dla porannych i wieczornych godzin szczytu:

- Minimalna utrzymywana średnia oświetlenia poziomu $\bar{E}$: 20 lx
- Minimalna całkowita jednolitość luminancji powierzchni drogi: 0,4
- Informacyjny załącznik C do normy PN-EN 13201-2 sugeruje również maksymalny przyrost graniczny wynoszący 15% (patrz rozdział 2.1.1.2, gdzie omówiono zjawisko olśnienia i przyrostu progowego).

2.2.5 Przykład - drogi na obszarach wiejskich

Drugi przykład dotyczy drogi między dwoma obszarami wiejskimi. Dla tego typu dróg oświetlenie drogowe nie jest obowiązkowe. Jeśli jednak planowane jest oświetlenie uliczne (na przykład w celu zmniejszenia liczby wypadków), klasa oświetlenia i kryteria minimalne muszą być określone.

Rysunek 10 *Obszar wiejski*

Jako, że sytuacja nie jest klasyfikowana jako obszar konfliktu (ścieżki rowerowe/piesze poza drogą, rowerzyści i piesi nie mogą korzystać z drogi), a średnia prędkość głównych użytkowników drogi jest dość duża, droga ta należy do wyższej klasy oświetleniowej M (klasy oświetleniowe dla ruchu zmotoryzowanego).

Aby określić dokładną klasę oświetlenia, należy użyć Tabeli 1 PD CEN/TR 13201-1: 2015.

- Zaprojektowanie prędkości lub ograniczeń prędkości: średnia prędkość użytkowników dróg głównych wynosi od 70 do 100 km / h, więc wartość ważona wynosi 1.
- Natężenie ruchu: w tym przykładzie przyjmujemy umiarkowane natężenie ruchu, co prowadzi do wartości wagowej równej 0.
- Skład ruchu: Ponieważ przy drodze znajduje się osobna ścieżka rowerowa/ciąg pieszy, na drogach są tylko pojazdy zmotoryzowane, to wartość ważona wynosi 0.
- Gęstość węzła: na skrzyżowaniu jest mniej niż 3 przecięcia na km, więc gęstość połączenia jest umiarkowana, a odpowiadająca jej wartość ważona wynosi 0.
- Pojazdy zaparkowane: nie ma zaparkowanych pojazdów, więc wartość ważona wynosi 0.
- Jasność otoczenia: jasność środowiska, a tym samym jasność otoczenia są niskie, więc wartość ważona wynosi -1.
- Zadanie nawigacyjne: ponieważ nie ma wielu skrzyżowań ani innych użytkowników drogi niż pojazdy silnikowe, zadanie nawigacyjne jest łatwe – ważona wartość wynosi 0.

Tabela 9 *Wybór klasy oświetlenia dla obszaru wiejskiego*

Parameter	Opcja	Opis*		Wartość ważona V_w*
Zaprojektowanie prędkości lub ograniczeń prędkości	Bardzo wysoki	v ≥ 100 km/h		2
	Wysoki	70 < v < 100 km/h		1
	Umiarkowany	40 < v ≤ 70 km/h		–1
	Niski	v ≤ 40 km/h		–2
Natężenie ruchu	Wysokie	Autostrady, drogi wielopasmowe	**Drogi dwupasmowe**	1
	Umiarkowane	35 % – 65 % maksymalnej przepustowości	15 % – 45 % maksymalnej przepustowości	0
	Niskie	< 35 % maksymalnej przepustowości	< 15 % maksymalnej przepustowości	–1
Skład ruchu	Mieszany, z wysokim udziałem niezmotoryzowanych			2
	Mieszany			1
	Wyłącznie zmotoryzowany			0
Oddzielenie jezdni	Nie			1
	Tak			0
Gęstość węzła		Skrzyżowanie/km	**Węzły komunikacyjne, odległość między mostami, km**	
	Wysoka	**> 3**	**< 3**	**1**
		≥ 3	**≤ 3**	**0**
Pojazdy zaparkowane	Obecne			1
	Nieobecne			0
Jasność otoczenia	Wysoka	okna wystaw sklepowych, reklamy, tereny sportowe, przystanki, powierzchnie sklepów		1
	Umiarkowana	normalna sytuacja		0
	Niska			–1
Zadanie nawigacyjne	Bardzo trudne			2
	Trudne			1
	Łatwe			0

* Podane wartości są przykładami. Wszelkie dostosowania metody lub użycie bardziej szczegółowych danych jest możliwe.

Końcowa klasa oświetlenia jest obliczana za pomocą M = 6 - VWS. Przy całkowitej wartości wagowej 1 prowadzi to do klasy oświetlenia M5.

Zgodnie z normami, powoduje to następujące wymagania:

- Minimalna utrzymywana średnia luminancja powierzchni $\bar{L}$: 0.5 cd/m^2
- Minimalna całkowita jednolitość luminancji powierzchni drogi U_O: 0.4
- Minimalna wzdłużna jednolitość luminancji powierzchni drogi U_O: 0.4
- Minimalna całkowita jednolitość luminancji powierzchni drogi U_{OW}: 0.15 (warunki na mokrej nawierzchni)
- Próg przyrostu f_{TI} : 15 %
- Współczynnik oświetlenia krawędzi R_{EI}: 0.3 (należy zwrócić uwagę, że dotyczy to boku drogi bez połączenia ze ścieżką rowerową – oddzielna ścieżka będzie miała własną klasę i kryteria oświetleniowe)

3. Elementy oświetleniowe i projekt oświetlenia

3.1 Elementy systemu oświetleniowego

Elementy systemu oświetlenia ulicznego można podzielić na trzy kategorie

- **Systemy optyczne**, które obejmują oprawy (w tym reflektory, refraktory i soczewki), źródła światła oraz urządzenia sterujące.
- **Systemy dodatkowe** składające się z słupów i wysięgników.
- **Instalacje elektryczne** (w tym szafy oświetleniowe) obejmujące urządzenia zasilające lampy w energię, urządzenia sterujące.

3.1.1 Systemy oświetleniowe

3.1.1.1 Oprawy, lampy i źródła światła

Pojęcia "oprawy", "lampy" i "źródła światła" zdefiniowane zostały w Rozporządzeniu Delegowane Komisji (UE) nr 874/2012 (w odniesieniu do etykietowania energetycznego lamp elektrycznych i opraw oświetleniowych) i Rozporządzeniu Delegowane Komisji (UE) 1194/2012 (wymagania dla lamp kierunkowych, lamp z diodami elektroluminescencyjnymi i powiązanego wyposażenia):

- „oprawa oświetleniowa" oznacza urządzenie, które rozdziela, filtruje lub przekształca światło wysyłane przez co najmniej jedną lampę i które zawiera wszystkie elementy niezbędne do wsparcia, zamocowania i osłonienia tych lamp, a także – w stosownych przypadkach – obwody pomocnicze wraz ze środkami ich połączenia ze źródłem zasilania elektrycznego.
- „lampa" oznacza urządzenie składające się z jednego źródła światła lub z większej liczby źródeł światła, których parametry można określić niezależnie od siebie. Może ono składać się z dodatkowych elementów niezbędnych do celów uruchomienia, zasilania energią elektryczną lub rozprowadzania, filtrowania bądź przetworzenia promieniowania optycznego, w przypadkach gdy takich elementów nie można zdemontować bez trwałego uszkodzenia urządzenia.
- „źródło światła" oznacza powierzchnię lub obiekt przeznaczone do emitowania głównie widzialnego promieniowania optycznego w wyniku przetwarzania energii. Termin „promieniowanie widzialne" odnosi się do promieniowania o długości fali 380–780 nm;

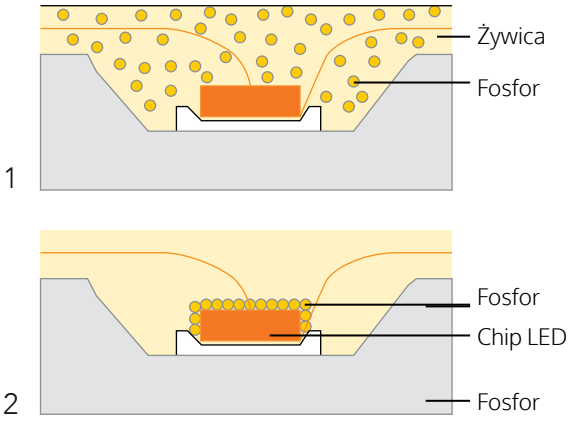
Należy mieć na uwadze iż „oprawa" może zawierać jeden lub więcej "lamp", podczas gdy "lampa" może być wyposażona w jeden lub więcej "źródeł światła".

3.1.1.2 Lampy

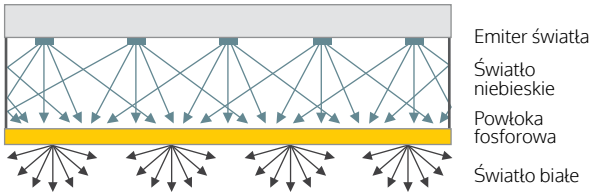
Z fizycznego punktu widzenia wszystkie technologie wykorzystywane do oświetlenia ulicznego przekształcają energię elektryczną w światło widzialne. Lampy wyładowcze dużej mocy dominują w oświetleniu ulicznym od dziesięcioleci. Jak wspomniano już w poprzedniej sekcji, technologia LED wypiera pozostałe technologie oświetlenia i jest stosowana zwłaszcza w nowych systemach oświetlenia ulicznego. Wysokociśnieniowe lampy sodowe (HPS) stanowią pewną opcję zwłaszcza w pewnych rodzaju dróg jak na przykład autostrady. Źródła te są wysokosprawne i efektywne ale charakteryzują się niskim wskaźnikiem oddawania barw, co w pewnych obszarach nie wyklucza ich zastosowania. Lampy metalohalogenkowe i lampy wyładowcze niskiego ciśnienia powinny zostać zastąpione przez LED a zwrot inwestycji nastąpi w szybkim czasie.

Źródło LED jest to półprzewodnikowe źródło promieniowania elektromagnetycznego widzialnego, podczerwonego lub ultrafioletowego. Dioda składa się ze złącza półprzewodnikowego powstałego z połączenia dwóch typów półprzewodnika (typu n i p). Emisja fotonów, czyli światła, zachodzi w trakcie przepływu prądu elektrycznego przez LED w kierunku przewodzenia.

Źródła LED mogą emitować światło różnej długości fali (różnej barwy) w zależności od użytej domieszki do materiału podstawowego półprzewodnika. W przypadku oświetlenia ulicznego, światło białe otrzymuje się uzupełniając światło niebieskie lub bliskie UV LED luminoforem żółtym (na rysunku 14 i rysunku 15 przedstawiono różne zasady generowania białego światła w oparciu o żółtą powłokę fosforową). Obecnie emitery światła niebieskiego posiadają najwyższa efektywność energetyczną spośród wszystkich rodzajów oświetlenia LED, wynoszącą około 55%. Pozostałe 45% energii zamieniane jest na ciepło. Ponieważ zwiększona temperatura (temperatura materiału półprzewodnikowego LED) obniża skuteczność świetlną oraz żywotność, konieczne jest dobre zaprojektowanie układu odprowadzania ciepła. W celu rozproszenia ciepła, na chipach LED i reflektorach montowane są radiatory. Radiator z kolei przenosi ciepło do oprawy, która rozprasza ciepło do otoczenia.



Rysunek 11 *Fosfor zawieszony w żywicy (u góry) i powłoka fosforowa (na dole)*



Rysunek 12 *Schemat działania fosoru zamieniającego światło niebieskie na białe*

Innym rodzajem LED są organiczne diody LED (OLED), w których do emisji światła zamiast półprzewodników wykorzystuje się warstw substancji organicznych. Pomimo obszernego zastosowania OLED (np. w płaskich telewizorach), technologia ta wciąż się rozwija i jeszcze nie znalazła zastosowania w oświetleniu ulicznym.

Ponieważ strumień świetlny emitowany z pojedynczej diody LED jest dość niski w porównaniu do wymaganego na odpowiednim poziomie natężenia oświetlenia ulicznego, na jednej płytce montowanych jest kilka chipów z dodatkowymi podzespołami. Z tego powodu należy wyróżnić kilka istotnych pojęć. Pojęcia zdefiniowane zostały w Rozporządzeniach Komisji (UE) nr 874/2012 i 1194/2012:

- „dioda elektroluminescencyjna (dioda LED)" oznacza źródło światła, w którego skład wchodzi element półprzewodni¬kowy zawierający złącza p-n. Złącze emituje promieniowanie świetlne w stanie pobudzenia;
- „panel LED" oznacza zestaw mający co najmniej jeden element LED. Zestaw może zawierać element optyczny i interfejsy termiczne, mechaniczne i elektryczne;
- „moduł LED" oznacza zestaw bez trzonka obejmujący co najmniej jeden pakiet LED na płytce obwodów drukowanych. Zestaw może posiadać elementy elektryczne, optyczne, mechaniczne i termiczne oraz osprzęt sterujący;
- „lampa LED" oznacza lampę zawierającą co najmniej jeden moduł LED. Lampa może posiadać trzonek;

Rozróżnienie to jest zgodne z podziałem na produkty LED powszechnie stosowane [RL], z wyłączeniem poziomu 2 (tabela 8).

Tabela 10 *Poziom zintegrowania*

Poziom zintegrowania	Opis
Poziom 0	Chip LED
Poziom 1	Zabudowany LED włącznie z osprzętem elektrycznym, mechanicznymi połączeniami i zabezpieczeniami, urządzeniem rozpraszającym ciepło i podstawowymi elementami optycznymi.
Poziom 2	Różne diody LED zamontowane na płytce drukowanej.
Poziom 3	Moduł LED zawierający radiator, zasilacz. Czasami może zawierać również urządzenie optyczne. Moduł LED pełni funkcję lampy.
Poziom 4	Oprawa składa się z modułu LED (poziom 3) oraz obudowy i optyki wtórnej
Poziom 5	Oświetlenie LED wraz z funkcjami sterowania

Temperatura pracy chipa LED jest istotnym aspektem wpływającym na skuteczność i żywotność. Dane wydajności chipów LED są określane dla temperatury 25° C. Jednak temperatura w normalnych warunkach pracy może osiągnąć 60 - 90° C, powodując przy tym spadek poziomu strumienia świetlnego nawet o 40%. Jednakże niebieskie diody LED są mniej narażone na działanie wyższych temperatur roboczych (przy temperaturze chipa 80° C spadek strumienia o 5 do 20%).

Żywotność źródeł światła LED może przekraczać 100 000 h (określona dla L_{80}, patrz rozdział 2.1.4), ale w dużym stopniu zależy od rzeczywistej temperatury pracy i sprawności oddawania ciepła przez oprawę, zapewniając dobre chłodzenie.

W przeciwieństwie do innych technologii oświetleniowych moduły LED montowane się w oprawach na stałe i nie ma możliwości ich wymiany. Może to stanowić wyzwanie dla długoterminowej strategii napraw i wymian. Kilku producentów branżowych zaangażowało się w opracowaniu otwartej normy zwanej Zhaga w celu zapewnienia interoperacyjności i możliwości wymiany modułów LED, opraw oświetleniowych oferowanych przez różnych dostawców. Jednak produkty certyfikowane przez Zhaga (źródła LED, moduły i oprawy) nadal stanowią niewielki udział całego rynku.

Diody LED nie mogą pracować z napięciem sieciowym (AC). Dlatego niezbędny jest zasilacz ("driver"), którego głównym zadaniem jest zapewnienie napięcia stałego. W zależności od jakości zasilacza straty mocy mogą się wahać od 10% do 30% nominalnej mocy źródła światła. Zasilacze o złej jakości mogą osiągać straty do 50% i mogą zmniejszyć żywotność źródła światła [RL]. Ważna drugorzędną funkcją zasilacza jest możliwość ściemniania światła, co omówiono w rozdziale 3.3.4.

3.1.1.3 Oprawy

Oprawa jest kompletnym urządzeniem składającym się z obudowy oraz wszystkich części wymaganych do montażu i funkcjonowania, włącznie z elementami święcącymi, elementami sterującymi, okablowaniem i tak dalej. Źródła światła LED są zazwyczaj montowane w specjalnie zaprojektowanych płaskich oprawach, które optymalnie wykorzystują swoje właściwości optyczne. Inne rodzaje źródeł LED to generalnie zamienniki klasycznych źródeł przeznaczone do typowych opraw kloszowych. Oprawy tego typu zazwyczaj nie wykorzystują zoptymalizowanych systemów optycznych i systemów rozpraszania ciepła dostępnych w dedykowanych oprawach wykorzystujących technologię LED. Niemniej jednak, stosowanie źródeł światła LED jako zamiennik w klasycznych oprawach może być właściwa tam, gdzie nie jest możliwe wykonywanie kompleksowej modernizacji systemu oświetleniowego.

Oprawa płaska

Oprawa typu High Mast

Oprawa typu Cobra

Oprawa typu Shoebox

Oprawa kloszowa

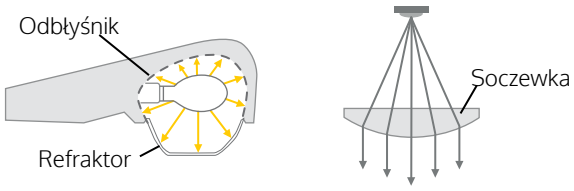
Rysunek 13 *Rodzaje opraw oświetleniowych*

Stosowana przez producentów norma PN-EN 60598-2-3 zawiera ogólne wymagania dotyczące opraw oświetleniowych ulicznych ich zabezpieczeń antykorozyjnych. Oprawy powinny być odporne na korozję lub być odpowiednio zabezpieczone. Oprawy wyposażone są w elementy optyczne, takie jak odbłyśniki, refraktory i soczewki, które pozwalają na odpowiednią dystrybucję światła oraz ograniczają zanieczyszczenia światłem.

Odbłyśniki to urządzenie służące do zmiany rozkładu przestrzennego strumienia świetlnego źródła, głównie przez wykorzystanie zjawiska odbicia światła. Odbłyśniki odbijają światło w sposób kierunkowy (tzw. zwierciadła) oraz w sposób rozproszony. Dodatkowo wspomagają one zmniejszanie zanieczyszczenia światła (patrz rozdział 2.1.1.2 i 2.1.1.6).

Refraktory oraz soczewki pryzmatyczne przekierowują światło z lampy i odbłyśnika. Dodatkowo zapewniają ochronę przed uszkodzeniem. Najczęściej są stosowane w oprawach płaskich.

Soczewki to podstawowe elementy kształtujące bryłę fotometryczną oprawy i są bezpośrednio zamontowane na diodach LED. W przypadku klasycznych opraw wraz ze źródłami wyładowczymi, soczewki mogą być wymienialnym komponentem. Wspierają one przekierowanie światła, zmniejszają odblask i chronią przed wnikaniem zanieczyszczeń (patrz rozdział 2.1.2.1).



Rysunek 14 *Odbłyśnik, refraktor oraz soczewka w oświetleniu ulicznym*

W nowoczesnych oprawach LED zaawansowany typ soczewki może być montowany na każdej indywidualnej diodzie LED, co umożliwia zmianę rozkładu światła poprzez włączanie lub ściemnianie diod LED. Pozwala to na większą elastyczność w dopasowaniu rozkładu światła do rozstawu opraw, szerokości drogi, właściwości odbicia powierzchni nawierzchni i zmieniających się warunków pogodowych [RL].

W raporcie technicznym CIE 115: 2010 przedstawiono klasy intensywności oświetlenia dla opraw, które określają maksymalne wielkości dla różnych kątów emisji światła. Klasyfikacja obejmuje poziomy od G1 do G6, co stanowi coraz bardziej rygorystyczne kryteria dla większych kątów rozsyłu światła (a tym samym zmniejszenie zanieczyszczenia światła i odblasku), [CIE]

Elementy oprawy powinny być modułowe, aby umożliwić wymianę w przypadku awarii za pomocą identycznego lub kompatybilnego komponentu, tak aby uniknąć wymiany całej oprawy. W przypadku opraw LED szczególnie ważne jest odprowadzenie ciepła do otoczenia. Na odprowadzenie ciepła do otoczenia wpływają następujące cechy oprawy:

- Wielkość oprawy: im większa objętość, tym mniejsza temperatura wewnątrz oprawy.
- Właściwości przewodzenia ciepła materiałów radiatorów w obudowie oprawy, które określają, jak szybko ciepło przenosi się do otaczającego powietrza: Większość metali zapewnia odpowiednią charakterystykę rozpraszania ciepła, podczas gdy tworzywa sztuczne są izolatorami termicznymi, a zatem ogólnie nie nadają się do opraw LED.
- Płetwy chłodzące: mogą być również wykorzystywane do poprawy przenikania ciepła do otoczenia, ponieważ zwiększają powierzchnię.

Oprawy LED są klasyfikowane na podstawie maksymalnej temperatury otoczenia "Ta", pod którą można je bezpiecznie użytkować. Jeśli w karcie produktu nie podano wartości Ta, to oprawy są one przeznaczone do pracy w maksymalnej temperaturze otoczenia wynoszącej 25° C.

Znak zgodności i jakości dla opraw oświetlenia ulicznego

CE

Każdy produkt wprowadzony do obrotu w Unii Europejskiej musi być zgodny ze wszystkimi odpowiednimi dyrektywami UE. Za pomocą znaku CE firma prawnie potwierdza zgodność produktu z odpowiednimi przepisami. Od 1997 r. na wszystkich produktach sprzedawanych w Europie i regulowanych za pomocą dyrektyw musi być umieszczony znak CE.

Znak CE (Communautés Européennes, European Community) nie jest znakiem kontrolnym, takim jak jest ENEC lub inne krajowe znaki jakości. Należy podkreślić, że symbol CE nie jest wydawany przez instytut badawczy (strona trzecia), ale przez samego producenta.

Organy monitorujące rynek uznają, że produkty posiadające oznakowanie CE nadają się do sprzedaży. Zgodność jest sprawdzana wyłącznie przez organy nadzoru rynku w ramach kontroli. W przypadku opraw

oświetlenia ulicznego znak zgodności CE obejmuje następujące przepisy

- Dyrektywa 2014/35 / UE w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do udostępniania na rynku sprzętu elektrycznego przewidzianego do stosowania w określonych granicach napięcia (dyrektywa niskonapięciowa).
- Dyrektywa 2014/30 / UE w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do kompatybilności elektromagnetycznej (wersja przekształcona).

ENEC

Znak ENEC (European Norms Electrical Certification) to europejski znak bezpieczeństwa z jednolitymi warunkami testowymi w całej Europie. W umowie ENEC opisano procedurę przyznawania i stosowania powszechnie uznawanego znaku w odniesieniu do niektórych urządzeń elektrycznych zgodnych z normami europejskimi. Obecnie 20 krajów podpisało umowę: Austria, Belgia, Czechy, Dania, Finlandia, Francja, Niemcy, Grecja, Węgry, Włochy, Luksemburg, Holandia, Norwegia, Polska, Portugalia, Słowenia, Hiszpania, Szwecja, Szwajcaria, Wielka Brytania.

Symbol ENEC potwierdza, że produkt spełnia odpowiednie wymagania Unii Europejskiej. Znak ENEC może być przyznany przez krajową jednostkę certyfikującą będącą stroną umowy ENEC.

Wspólne warunki badania są określone w serii norm EN 60598. Aby zagwarantować jakość produktu znakiem ENEC, producenci muszą również posiadać system zapewnienia jakości.

Produkt oznaczony znakiem ENEC z innego kraju europejskiego jest traktowany tak, jakby był certyfikowany przez krajowy organ kontrolny w swoim kraju. Upraszcza to swobodny przepływ towarów w europejskiej strefie gospodarczej, w tym w Szwajcarii – i coraz częściej na rynku wschodnioeuropejskim.

3.1.2 Konstrukcje wsporcze

Konstrukcje wsporcze dla urządzeń drogowych muszą odpowiadać normie PN-EN 12767 (Bierne bezpieczeństwo konstrukcji wsporczych dla urządzeń drogowych), która określa wymagania wykonawcze i zdefiniowano poziomy biernego bezpieczeństwa zmierzające do zredukowania urazu pasażerów pojazdu przy uderzeniu w konstrukcję wsporczą urządzenia drogowego.

Zgodnie z tą normą, konstrukcje wsporcze urządzeń drogowych są podzielone na trzy różne kategorie bezpieczeństwa pasywnego:

- **Wysokie pochłanianie energii (HE)**
- **Niskie pochłanianie energii (LE)**
- **Brak pochłaniania energii (NE)**

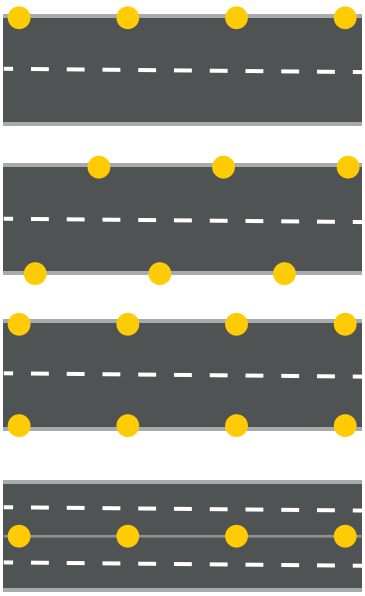
Konstrukcje wsporcze pochłaniające energię znacząco spowolniają pojazdy podczas kolizji oraz zmniejszają ryzyko kolizji wtórnych. Z kolei konstrukcje niepochłaniające energii pozwalają, aby pojazd kontynuował jazdę z jedynie niewielkim zmniejszeniem prędkości, co wprawdzie zmniejsza ryzyko dla pasażerów podczas kolizji, ale zwiększa ryzyko kolizji wtórnych - w tym z innymi uczestnikami ruchu. Typ bariery ochronnej dla określonego odcinka drogi może zostać wybrany przez odpowiedzialne służby w oparciu o ich własną ocenę lokalnych potrzeb. Przykładowo, bariery HE mogą zostać zainstalowane na obszarach miejskich w celu zmniejszenia ryzyka kolizji wtórnych z innymi uczestnikami ruchu.

Dla konstrukcji wsporczych określone zostały cztery poziomy bezpieczeństwa pasażerów, przy czym poziom 4 reprezentuje bardzo bezpieczne konstrukcje, które zapewniają wysoki poziom bezpieczeństwa pasażera, a zderzenie z nimi powoduje niewielkie szkody. Poziomy bezpieczeństwa określone są przy pomocy testów uderzeniowych (crash-testy), wykorzystujących lekkie samochody osobowe poruszające się z prędkością 35, 50, 70 i 100 km/h. Dane testowe służą do określenia wskaźnika intensywności przyspieszenia (ASI) i wskaźnika teoretycznej prędkości głowy w czasie zderzenia (THIV). Za ich pomocą określane jest ryzyko użytkownika pojazdu samochodowego [TRB].

Przewidywany czas użytkowania słupów oświetleniowych wynosi kilka dekad. Są one wykonywane z ocynkowanej stali, co zabezpiecza je przed korozją wywołaną rdzą. Słupy ze stali nierdzewnej są stosowane tylko w reprezentatywnych obszarach. Instalacje elektryczne lub inne są serwisowane i wymieniane znacznie częściej niż sam maszt. Wpływy środowiskowe, takie jak słońce, zwykły deszcz i wiatr są raczej niegroźne dla poszczególnych elementów. Jednak gwałtowne burze, śnieg, a nawet zasłony lodowe mogą stanowić zagrożenie dla słupów.

Rozmieszczenie słupów i ich wysokość są decyzjami technicznymi, które opierają się na: geometrii drogi, charakterystyce systemu, warunkach gruntowych drogi, fizycznych właściwościach słupa, wymogach środowiskowych, przestrzeni dostępnej do utrzymania, dostępnym budżecie, wrażeniach estetycznych i celach

oświetleniowych. Poniżej przedstawiono najczęstsze rozwiązania.



Rysunek 15 *Rozmieszczenie oświetlenia*

Wybrane rozmieszczenie (układ) oświetlenia determinuje minimalną wysokość montażu oprawy jako czynnik rzeczywistej szerokości drogi (mierzony od poziomego położenia oprawy do drugiej stronie drogi).

- W **układach jednostronnych** rzeczywista szerokość drogi może być równa wysokości montażu oprawy. Ponadto, w przeciwieństwie do innych układów, luminancja nawierzchni nie będzie jednakowa na obu pasach.
- W **układzie rozłożonym** rzeczywista szerokość drogi może wynosić 1,5 razy więcej niż wysokość montażowa oprawy. Jednolita luminancja wzdłużna jest na ogół niska i tworzy alternatywny wzór jasnych i ciemnych łat. Jednak w czasie mokrej pogody pokrywa całą drogę lepiej niż układ jednostronny.
- W **układach naprzeciw siebie** rzeczywista szerokość drogi może wynosić od 2 do 2,5 razy wysokości montażowej oprawy. Jeśli układ jest stosowany w przypadku podwójnej jezdni z pasem rozdzielczym w co najmniej jednej trzeciej jezdni lub jeśli pas rozdzielczy jezdni zawiera inne znaczące przeszkody wzrokowe (takie jak drzewa lub ekrany), skuteczniej jest zastosować dwa układy jednostronne.
- W **układach centralnych** oprawy są zawieszone na przewodach rozciągniętych poprzecznie do drogi, zazwyczaj między budynkami. Rzeczywista szerokość drogi może być nawet dwukrotnie większa od wysokości montażowej oprawy.
- W **układach podwójnych** – gdzie dwie oprawy są zainstalowane w środkowym pasie rozdzielczym jezdni – rzeczywista szerokość drogi może być równa wysokości montażu opraw. Pod warunkiem, że rozdzielający pas jezdni nie jest zbyt szeroki, obie oprawy mogą przyczynić się do luminancji nawierzchni dróg na jednym pasie, co czyni to rozwiązanie ogólnie bardziej wydajnym niż z układami przeciwstawnymi. Jednakże, układy naprzeciw siebie mogą zapewnić nieco lepsze oświetlenie w złych warunkach pogodowych (deszcz).

Decyzja o dokładnym położeniu słupa i wysokości montażu opraw oświetleniowych jest częścią procesu projektowania, do którego najczęściej wykorzystywane jest specjalistyczne oprogramowanie. Celem jest nie tylko utrzymanie minimalnej luminancji, ale także minimalnej jednolitości luminancji, która zależy od rozkładu intensywności świecenia opraw w instalacji oświetlenia drogowego. Należy zauważyć, że chociaż wiele produktów LED zostało zaprojektowanych jako zamiennik istniejących opraw (w ten sposób wykorzystuje się istniejące słupy), to często nie wykorzystuje się w pełni nowoczesnych wzorów opraw LED, które są zdolne do bardziej równomiernych rozkładów intensywności świecenia niż porównywalne oprawy HPS lub MH [LRT4].

3.1.3 Systemy elektryczne

Oporność przewodów i kabli danego obwodu oświetlenia dróg spowoduje spadek napięcia, co prowadzi do niewydolności działania. Aby zapewnić utrzymanie minimalnego poziomu napięcia wszystkich opraw w danym obwodzie, spadek napięcia między punktem zasilania a najdalszymi oprawami nie powinien przekraczać 3%.

Szafa oświetleniowa powinna mieć szczelną obudowę zaplombowaną uszczelką do mocowanie wkładek [IIEC].

3.2 Systemy sterowanie oświetlenia ulicznego

Aktywne sterowanie systemów oświetlenia dróg pozwala na znaczne oszczędności energii, ale należy porównać i rozważyć potencjalne oszczędności kosztów energii z dodatkową złożonością systemu i dodatkowymi kosztami. W oparciu o typ zarządzania istnieją trzy rodzaje systemów sterowania oświetleniem: sterowanie autonomiczne, sterowanie scentralizowane i sterowanie dynamiczne.

3.2.1 Sterowanie autonomiczne

Dzięki autonomicznemu sterowaniu oświetlenia ulicznego oprawy są wstępnie zaprogramowane (zwykle przez producenta) i mają ustalone okresy pracy. Jest to najprostsze i najtańsze rozwiązanie, ponieważ nie wymaga dalszej kontroli i systemów sieciowych. Ponieważ programowanie jest zazwyczaj ograniczone, często nie ma możliwości zmian sterowania systemem w weekendy i święta. Ponadto wewnętrzne liczniki czasu mogą być niedokładne, a uaktualnienie systemu wymaga zmian w każdym słupie lampy. Alternatywnie, czujniki mogą mierzyć natężenie oświetlenia otoczenia na każdym słupie i zdecydować czy włączać lampy. To jednak generuje dodatkowe wydatki.

3.2.2 Sterowanie scentralizowane

W scentralizowanym sterowaniu oświetleniem ulicznym centralny system wysyła sygnał sterujący do wszystkich opraw w grupie (zazwyczaj jest to sygnał przesyłany przez przewód zasilający). Ta konfiguracja jest stosunkowo prosta i tania w użyciu, ale pozwala na pewną elastyczność w dostosowywaniu oświetlenia do zmieniających się potrzeb. Na przykład centralny czujnik zmierzchu mógłby ustalić kiedy włączać wszystkie światła danej grupy, co (w przeciwieństwie do zarządzania wyłącznie czasowego) umożliwia dostosowanie do lokalnych warunków pogodowych. Czujniki takie powinny być regularnie czyszczone w celu zapewnienia ich sprawnego działania [BFE]. Inne opcje obejmują przyciemnianie na podstawie czasu, które redukuje lub wyłącza światło niektórych lamp w konkretnym czasie i obszarach (np. późno w nocy, gdy natężenie ruchu jest niewielkie). Chociaż redukcja kosztów energii i zanieczyszczeń światłem (patrz rodział 2.1.1.6) może być znaczna, może to powodować zwiększone ryzyko dla uczestników ruchu, jeśli ich zdolność do omijania przeszkód uległa pogorszeniu [CEE]. Dlatego szczególne zastosowania muszą być starannie ocenione.

Ponadto przepływ informacji odbywa się tylko w jednym kierunku. Podczas gdy centralny węzeł może określić stan grupy lamp, nie otrzymuje on informacji o ich indywidualnym statusie lub innych lokalnych warunkach.

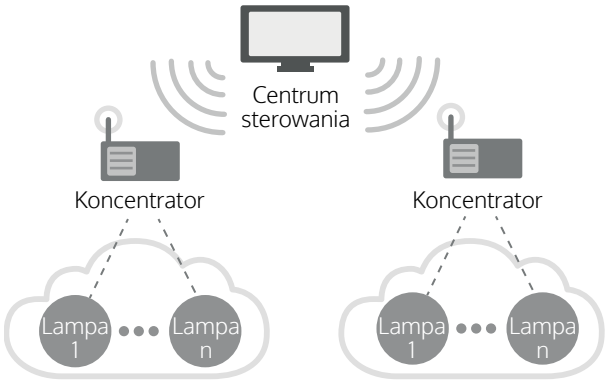
Zarówno scentralizowane, jak i dynamiczne systemy sterowania, wymagają wdrożenia systemów ICT (Information and Communications Technology) o różnym stopniu złożoności. Chociaż zapewniają dodatkowe możliwości oszczędzania energii, wymagają także dodatkowych zasobów i wiedzy w celu ich wdrożenia i utrzymania. Zwiększona złożonoś zwiększa ryzyko awarii systemu [HCS]. W związku z tym zarówno zamawiający, jak i projektanci, powinni rozważyć, czy po wdrożeniu systemu jest dostępna wiedza i wsparcie, nawet w stosunkowo krótkim czasie.

3.2.3 Kontrola dynamiczna

Dzięki dynamicznemu zarządzaniu oświetleniem drogowym możliwy jest największy zakres kontroli. Nie tylko światła mogą być kontrolowane (w grupach lub indywidualnie), ale również centralny serwer kontrolny może zbierać informacje o ich stanie w zależności od zainstalowanych opcji (np. awarie, zużycie energii, temperatura pracy lub otoczenia, światło otoczenia, natężenie ruchu, obecność pieszych). Zmiany w oprogramowaniu można również wykonać na centralnym serwerze kontrolnym zamiast wymagać zmian w sprzęcie fizycznym.

Jak jednak podkreślono powyżej, dodatkowa elastyczność przynosi znaczną złożoność i tym samym zwiększa koszty. Oprogramowanie sterujące musi być wdrożone i utrzymywane, a operatorzy lokalni odpowiedzialni za system muszą być przeszkoleni w zakresie jego użytkowania. Ponadto zwiększona złożoność zwiększa ryzyko awarii oprogramowania. Lampy powinny być instalowane w systemach fail-safe, które gwarantują podstawowe bezpieczeństwo ruchu nocnego, nawet jeśli nie otrzymają żadnych błędów lub błędnych poleceń z systemu sterowania [BFE].

Najnowocześniejsze inteligentne systemy zarządzania są na ogół sterowane przez centralnego dyspozytora, które często jest serwerem prowadzonym w urzędach władz lokalnych. Ten serwer łączy dużą liczbę lamp i wysyła komendy, które określają stan poszczególnych elementów. Polecenia nie są odbierane bezpośrednio przez systemy sterowania lampą, ale najpierw przechodzą przez koncentratory, które następnie przekazują wiadomości do sieci lokalnych, składających się z ograniczonej liczby świateł i siłowników sterujących [PE].

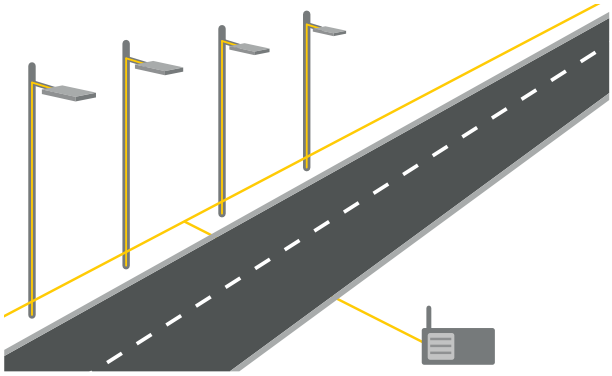


Rysunek 16 *Architektura systemu sterowania oświetlenia ulicznego [PLACEHOLDER]*

Do podjęcia decyzji o wyborze architektury systemu sterowania wymagane są dwie koncepcje technologiczne – technologia komunikacji (w jaki sposób informacja jest przekazywana) i protokół komunikacyjny (jak informacja jest kodowana).

Istnieją dwie warstwy komunikacji w systemie oświetlenia drogowego, które muszą być mostkowane technologią komunikacyjną: centrum dowodzenia do koncentratorów i koncentratory do indywidualnych lamp. Mogą one przesyłać informacje za pośrednictwem kabla lub jako sygnały bezprzewodowe. Obie warstwy mają konsekwencje dla dostępnych protokołów komunikacyjnych.

Komunikacja między centralą dowodzenia a koncentratorami zazwyczaj wykorzystuje standardowe protokoły komunikacyjne Ethernet, które są dobrze ugruntowaną technologią [PE]. Chociaż kable Ethernet są teoretycznie możliwe do wykorzystania między koncentratorami a lampami, to wymagałoby to dodatkowego okablowania i tym samym dodatkowych kosztów. Zamiast tego, lokalne sieci okablowania do zasilania w energię elektryczną oświetlenie uliczne, zazwyczaj używają komunikacji elektroenergetycznej (PLC), która moduluje sygnały swojej linii energetycznej w celu wymiany informacji.



Rysunek 17 *Komunikacja za pośrednictwem linii energetycznej*

Bezprzewodowa komunikacja pomiędzy centralną dyspozytornię a koncentratorami wymaga, aby stosunkowo duże odległości można było mostkować za pośrednictwem bezprzewodowych sygnałów. Odpowiednie protokoły obejmują Wi-Fi (802.11), GPRS (General Packet Radio Services) lub WiMax.

Sygnały bezprzewodowe między koncentratorami a poszczególnymi lampami mogą być wdrożone jako siatka, co ma tę zaletę, że brak zasięgu widzenia nie zerwie połączenia między poszczególnymi węzłami. W razie potrzeby siła sygnału może zostać wzmocniona przez wzmacniacze. Odpowiednie protokoły dla tej warstwy obejmują:

- **DALI (Digital Addressable Lighting Interface)**: Norma przyjęta przez IEC, która została opracowana do sterowania obwodami balastowymi używanymi do monitorowania urządzeń oświetleniowych. Za jej pomocą można kontrolować maksymalnie 64 węzły.
- **ZigBee**, tania, o niskiej przepustowości i niskiej szybkości transmisji danych alternatywa dla sieci bezprzewodowych. Ma jednak pewne niedociągnięcia pod względem opóźnień w pakietach i może powodować spowolnienie w wydajności sieci.
- **6LoWPAN (IPv6 w Low power Wireless Personal Area Networks)**. Niniejsza norma nie definiuje określonego protokołu routingu dla określonego systemu. Pozwala to na większą elastyczność, ale wymaga dodatkowego wysiłku określającego protokoły stosowane w konkretnej instalacji [SEN].

Rysunek 18 *Sterowanie za pośrednictwem trybu Wireless*

3.3 Strategie sterowania oświetlenia ulicznego

W ciągu ostatnich lat opracowano różne strategie na różnych poziomach złożoności w zakresie kontroli oświetlenia drogowego, z których każdy ma swoje zalety i wady. Niektóre mogą nawet zostać połączone w celu uzyskania bardziej złożonych strategii.

3.3.1 Zegary astronomiczne

Zegary astronomiczne dają dokładną informację o godzinach wschodu słońca i zachodu słońca w danym położeniu geograficznym. Można je też obliczyć z wyprzedzeniem, z bardzo wysokim poziomem dokładności, dla długich przedziałów czasowych. Jednak strategie kontroli oświetlenia oparte na astronomicznych zegarach mogą nie uwzględniać specyficznych aspektów geograficznych, takich jak wysokie wzgórza czy góry zasłaniające słońce o świcie lub o zmierzchu. Ponadto astronomiczne zegary mogą nie uwzględniać potrzeby zmiany oświetlenia w czasie trudnych warunków pogodowych (takich jak np. burze), kiedy to może być wymagane sztuczne oświetlenie nawet w godzinach dziennych.

Zegary astronomiczne mogą ustanowić prosty system włączania / wyłączania oświetlenia, który określa czas aktywacji oświetlenia wieczorem i jego dezaktywację rano. Alternatywnie zegary te mogą być używane w pewnych okresach w nocy, w których spodziewany jest mniejszy ruch, w czasie których oświetlenie pozostaje aktywne, ale przy niższej intensywności działania.

Jedną z głównych zalet astronomicznych zegarów jest to, że nie wymagają do prawidłowego działania żadnych złożonych systemów ICT.

3.3.2 Czujniki światła dziennego

W przeciwieństwie do zegarów astronomicznych, czujniki światła dziennego używają fotoczujników do wykrywania światła dziennego i dostosowują sztuczne oświetlenie, w zależności od tego czy poziomy światła dziennego zmniejsza się lub zwiększa się poza określone wartości progowe. To podejście działa szczególnie dobrze przy ściemnianiu (patrz poniżej) i może być dostosowywane do przedłużonych okresów zmroku, jak również niepogody. Fotoczujniki wymagają regularnego czyszczenia w celu zapewnienia ich prawidłowego działania. Ponadto należy rozważyć, czy pojedynczy fotoczujnik będzie kontrolować oświetlenie dla dużego obszaru lub czy każda grupa lamp lub nawet każda lampa ma swój własny czujnik. Pierwsza opcja zmniejsza złożoność systemu, ale nie może odzwierciedlać wszystkich warunków (takich jak zacienione obszary lub mniejsze systemy pogodowe) i stanowi jeden punkt awarii systemu. Druga opcja umożliwia większą elastyczność, ale wymaga również zakupu dużej liczby dodatkowych czujników i wymaga większej konserwacji w celu utrzymania czystości czujników.

Fotoczujniki mogą być osadzone w większej infrastrukturze teleinformatycznej, która w zależności od konfiguracji może umożliwić monitorowanie natężenia oświetlenia w czasie rzeczywistym. W ten sposób można szybko zidentyfikować i zająć się problemami z niedostatecznym oświetleniem.

3.3.3 Detekcja ruchu

Na wielu drogach ruch jest niski, zwłaszcza późno w nocy. Zatem obniżenie poziomu oświetlenia zgodnie z wymogami określonymi w normie PN-EN 13201 daje potencjalnie duże oszczędności energii. Aby zagwarantować, że uczestnicy ruchu mogą bezpiecznie poruszać się po drogach, można zainstalować systemy wykrywania ruchu, które w razie potrzeby zwiększają poziom oświetlenia. Najczęstszą technologią wykrywania ruchu - zarówno pojazdów silnikowych, rowerzystów, jak i pieszych - są czujniki ruchu. Rodzaje detektorów ruchu obejmują:

Ultradźwiękowe detektory ruchu wykrywają przesuwanie się fal dźwiękowych odbijających się od poruszającego się obiektu. Ten typ czujnika nie wymaga linii widzenia. Jest tani, może wykrywać obiekty niezależnie od materiałów, jest mało wrażliwy na przepływy powietrza do 10 m/s (36 km/h). Czujniki te mają jednak niski zasięg detekcji, a na ich pomiar może mieć wpływ wilgoć i wysokie temperatury.

Mikrofalowe detektory ruchu wykrywają przesunięcia mikrofali odbijających się od poruszającego się obiektu, podobnie jak pistoletowe radarowe mierniki prędkości. Są one w stanie wykryć nawet niewielki ruch i nie są wrażliwe na temperaturę otoczenia obiektów. Są jednak kosztowne i mogą powodować fałszywe wykrycie spowodowane ruchami poza określoną strefą.

Detektory ruchu na podczerwień wykrywają ciepło obiektu lub osoby w odniesieniu do otoczenia. Są to czujniki czysto pasywne, a więc nie emitują dźwięku lub promieniowania w celu zebrania informacji. Mogą jednak powodować fałszywe wykrycie z powodu gorącego powietrza, deszczu lub gorących przedmiotów.

Przetwarzanie obrazu wideo wykorzystuje kamery wideo jako inteligentne czujniki, identyfikując ruchome obiekty za pomocą algorytmów. Mogą monitorować większy obszar niż inny system detekcji i wykrywać nie tylko ruch, ale także obecność obiektów. Mają one także małe prawdopodobieństwo uzyskania fałszywych odpowiedzi. Trzeba jednak wziąć pod uwagę, że algorytmy przetwarzania danych są dosyć złożone, co powoduje

zarówno dodatkowy koszt oprogramowania, jak i zużycie energii elektrycznej w związku z ich wymaganiami odnośnie mocy obliczeniowej. Ponadto są one uzależnione od światła, choć w pewnym stopniu może to być kompensowane przez filtry podczerwieni.

Systemy detekcji ruchu można również łączyć w taki sposób, że wady jednego typu są kompensowane przez możliwości innego.

Jeżeli zdarzy się tak, że czujniki wychwycą dodatkowe oświetlenie, to system powinien zapewnić, że spełnione są standardowe wymagania dotyczące odpowiedniej klasy oświetlenia drogowego (patrz rozdział 2.2.1). Oznacza to, że czujnik ruchu dołączony do konkretnego słupa oświetleniowego zasadniczo nie powinien być używany tylko do włączania danej lampy, ale także do włączania sąsiadujących lamp (jednej lub więcej), aby uczestnicy ruchu nie byli narażeni na olśnienie z powodu szybko zmieniających się warunków oświetleniowych.

Wszelkie systemy detekcji ruchu, które mają obejmować więcej niż tylko obszary dla pieszych, wymagają integracji w większym systemie informatycznym. Ma to jednak dodatkową zaletę polegającą na udostępnianiu danych o ruchu, które mogą być użyteczne dla kontrolerów ruchu, planistów miejskich, służb ratowniczych i innych agencji.

3.3.4 Przyciemnianie

W zależności od warunków ruchu, pogody i otoczenia, używanie lampy w pełnej mocy przez całą noc może nie być konieczne. Dzięki połączeniu zegara astronomicznego, czujnika światła dziennego oraz systemów wykrywania ruchu z przyciemnianiem, można osiągnąć olbrzymie oszczędności energii - w niektórych projektach osiągnięto nawet 85% oszczędności. Ponadto, stopniowe zwiększanie i zmniejszanie oświetlenia zmniejsza dyskomfort olśnienia dla okolicznych mieszkańców. Szczególnie polecane do strategii opartych na ściemnianiu są diody LED, ponieważ mogą być płynnie wygładzane bez żadnych komplikacji technicznych. Inne technologie stosowane w oświetleniu ulicznym mogą nie współpracować ze ściemniaczami, gdyż w momencie ściemniania powodują drastyczne przesunięcia kolorów (wysokociśnieniowe lampy rtęciowe i metalohalogenkowe) lub istnieją ograniczenia poziomu ściemniania.

3.3.5 Uwagi

Zarówno dynamiczne sterowanie oświetlenia ulicznego, jak i zaawansowane systemy, takie jak czujniki światła dziennego i wykrywania ruchu, szybko zmieniają się w dziedzinie technologii, a zatem wymagają szczególnego zwrócenia uwagi na istnienie potencjalnych barier i ograniczeń ich skutecznego wdrożenia.

Krajowe i lokalne przepisy ustawowe, wykonawcze i normy dotyczące oświetlenia dróg często nie uwzględniają najnowszych osiągnięć technologicznych. Należy zatem uważać, aby proponowane systemy sterowania oświetleniem spełniały wszystkie wymogi prawne. Dodatkowym problemem jest odpowiedzialność: jeśli system nie funkcjonuje prawidłowo z powodu wad technicznych, musi być jasno określone, która strona jest odpowiedzialna za awarie.

Ponieważ wdrożenie dynamicznej kontroli oświetlenia drogowego może doprowadzić do powstania systemu o znacznej złożoności, oferent odpowiedzialny za jego wdrożenie powinien również odpowiadać za wsparcie i utrzymanie, co prawdopodobnie będzie wymagało przedłużonych umów o świadczenie usług. Jest to szczególnie ważne, jeśli wdrożone rozwiązanie obejmuje systemy i komponenty pochodzące od wielu oferentów, które wymagają integracji i aktualizacji okazjonalnej. Jako kryterium wyboru oferenta zaleca się udokumentowanie prawidłowej realizacji projektów z dynamicznymi systemami oświetlenia dróg.

Oprawy oświetleniowe powinny być zaprogramowane ze "stanem domyślnym", do którego można powrócić w przypadku, gdy nie otrzymają żadnych sygnałów sterujących lub są one błędne. Stan domyślny powinien reprezentować podstawową kontrolę oświetlenia opartą na czasie spełniającą normy prawne bez żadnych dynamicznych funkcji. Ponadto, w przypadku całkowitej awarii systemu, wyznaczeni operatorzy powinni być w stanie częściowo lub całkowicie zautomatyzować oświetlenie bez konieczności interwencji ekspertów zewnętrznych.

4. Zamówienia publiczne systemów oświetleniowych

4.1 Wprowadzenie

Poniższy rozdział poświęcony jest zakupowi energooszczędnego wysokiej jakości oświetlenia ulicznego. Kompletna tabela zestawów zalecanych kryteriów udzielania zamówień PremiumLight-Pro jest również zamieszczona w dodatku do niniejszego poradnika.

Zalecany zestaw wymagań PremiumLight-Pro obejmuje podstawowe kryteria wyboru oferenta (zwane kryteriami wyboru w następnych sekcjach), wymogi techniczne, które są obowiązkowe dla wszystkich oferentów i kryteria udzielenia zamówienia. W przypadku kryteriów udzielania zamówień proponuje się podejście punktowe. Ponadto zazwyczaj wymagane do przetargów są ogólne wymagania techniczne i kwestie umowne. Poniższa tabela 9 przedstawia zestawienie specyfikacji i wymagań.

Tabela 11 *Minimalne wymagania PremiumLight-Pro i kryteria oceny*

A) Ogólna specyfikacja techniczna	
Plan / układ systemu drogowego	Zamawiający dostarcza plan ulic i dróg, dla których zostanie wdrożony system oświetlenia ulicznego lub określa typy ulic, dla których są nabywane punkty świetlne (oprawy i słupy). W odniesieniu do wszystkich części / odcinków systemu oświetlenia ulicznego uwzględnia się wymogi określone w normie PN-EN 13201.
Funkcje sterowania oświetleniem	Opcjonalne sterowanie oświetlenia są oceniane dla każdego projektu, w miarę potrzeby określane są wymagania.
Pomiar zużycia energii	W każdym przetargu sprawdzana jest właściwa funkcjonalność pomiaru.

B) Kryteria wyboru		
	Wymóg obowiązkowy	Kryterium oceny
Wiedza i doświadczenie zespołu projektantów oraz zespołu instalacyjnego	✓	
Zdolność oferenta do dostarczenia zamówienia w określonych ramach czasowych	✓	
Zgodność z normami ISO i PN-EN	✓	

C) Wymagania techniczne i kryteria oceny		
Kryteria energetyczne – dla całego systemu	Wymóg obowiązkowy	Kryterium oceny
Wskaźnik rocznego zużycie energii lub wskaźnik gęstości mocy	(✓)	✓

C) Wymagania techniczne i kryteria oceny		
Współczynnik mocy	✓	✓
Funkcje sterowania oświetleniem: opcjonalnie: zgodnie z ogólną specyfikacją techniczną powyżej		✓
Pomiar zużycia energii: opcjonalnie: zgodnie z ogólną specyfikacją techniczną powyżej		✓
Kryteria energetyczne – dla poszczególnych części systemu (w przypadku projektów obejmujących wymianę części)	Wymóg obowiązkowy	Kryterium oceny
Efektywność energetyczna oprawy	✓	✓
Efektywność energetyczna modułu LED	✓	✓
Efektywność energetyczna zasilacza/sterownika	✓	✓
Kryteria jakości i projektu	Wymóg obowiązkowy	Kryterium oceny
Barwa światła (temperatura barwowa)	✓	
Wskaźnik oddawania barw	✓	
Zgodność koloru i utrzymanie barw	✓	✓
Luminancja i oświetlenie	✓	
Rozkład światła, jednolitość natężenia oświetlenia	✓	✓
Zanieczyszczenie światłem (ULOR)	✓	
Ochrona przed olśnieniem (oślepiające i przykre)	✓	✓
Stopień ochrony przed wnikaniem ciał obcych (IP)	✓	
Stopień ochrony przed uderzeniem (IK)	✓	
Ochrona IEC	✓	
Ochrona przed przepięciem	✓	
Znak zgodności dla wszystkich elementów (ENEC, przepisy krajowe)	✓	
Żywotność	✓	✓
Gwarancja	✓	✓
Dostępność części zamiennych	✓	✓
Łatwość naprawy i recykling	✓	✓
Projekt		✓
Kryteria jakości dla poszczególnych części systemu		
Żywotność oprawy	✓	✓
Żywotność modułu LED	✓	✓
Żywotność sterownika	✓	✓

D) Kryterium kosztu		
Obliczenia TCO (zalecana opcja)		✓
Koszty inwestycyjne (opcja zwrotu)		✓

E) Kwestie kontraktowe		
Oddawanie do użytku systemów oświetleniowych i urządzeń sterujących	✓	
Poprawna instalacja	✓	
Redukcja i odzysk odpadów	✓	

Kryteria efektywności i żywotności sugerowane na poziomie komponentów dla opraw, źródeł światła i sterowników są przeznaczone głównie dla projektów wymiany części i mogą być wykluczone w przypadku projektów, w których wymogi są określone na poziomie całego systemu oświetlenia.

4.2 Specyfikacja ogólna

Tabela A) obejmuje kilka zasadniczych ogólnych wymagań, które należy wziąć pod uwagę podczas początkowego etapu przetargu. Na tym etapie określa się ogólny układ oświetlenia, właściwości systemu sterowania oświetleniem i funkcje pomiaru zużycia energii.

4.2.1 Specyfikacja systemu oświetleniowego

Na wczesnym etapie przygotowawczym w procesie udzielania zamówień, zamawiający określa system dróg, na który zostanie zaprojektowany system oświetlenia. Typy ulic należy określić w oparciu o normy międzynarodowe (EN 13201) lub, jeśli jest to pożądane, w oparciu o przepisy krajowe / lokalne.

4.2.2 Funkcje sterowania oświetleniem i systemy komunikacyjne

Na początkowym etapie procesu należy ponadto ocenić i określić, czy i jakiego rodzaju funkcje kontroli oświetlenia będą brane pod uwagę. Chociaż proste opcje sterowania będą pożądane jako minimalna funkcjonalność większości typów systemów oświetlenia ulicznego, wszechstronne funkcje kontroli inteligentnej mogą być odpowiednie tylko w konkretnych przypadkach. Należy określić adekwatną funkcję kontroli oświetlenia dla określonego typu dróg. Ocena różnych opcji może wymagać wsparcia niezależnych konsultantów. Inteligentne funkcje sterowania muszą również odpowiadać aspektom bezpieczeństwa i jakości. Kilka opcji technicznych opisano w rozdziale 3 niniejszego poradnika. Różne opcje techniczne są oceniane pod kątem kosztów cyklu życia. Ponadto należy spełnić następujące wymogi w zakresie zgodności i komunikacji:

Komunikacja

Wymagania PremiumLight-Pro:

Należy udostępnić system komunikacyjny zdolny do komunikacji z urządzeniem sterowniczym poszczególnych opraw. Komunikacja w sieci elektroenergetycznej (PLC) stanowi minimalny poziom technologii zdolnych do spełnienia tego kryterium, ale mogą być stosowane bardziej zaawansowane systemy komunikacji. Urządzenie sterujące powinno być programowalne i wysyłać powiadomienia w przypadku awarii sprzętu.

Zgodność z funkcją kontroli

Wymagania PremiumLight-Pro:

Oprawy muszą być kompatybilne z funkcjami ściemniania i innymi funkcjami sterującymi (np. włącznik czasowy, czujnik ruchu, czujnik światła dziennego itp.).

Wymaganie opcjonalne:

oprawy posiadają funkcję utrzymywania stałego strumienia w czasie eksploatacji oprawy. Zapewnia to, że oprawa utrzymuje stały strumień światła w ciągu całego życia dostosowując go do rzeczywistej efektywności diod.

Weryfikacja

Oferent dostarcza dokumentację opisującą metodę i interfejs ściemniania.

Jako opcjonalne wymagania, korzystne jest, jeśli systemy ICT wykorzystywane do zarządzania oświetleniem są modyfikowalne, modułowe i otwarte. Modyfikowalność zapewnia, że system sterowania oświetleniem może zostać zmodernizowany lub rozszerzony w razie potrzeby, co pozwala na dodatkowe funkcjonalności, które nie są częścią oryginalnego systemu podczas instalacji. Modułowość wymaga przestrzegania standardów w strukturach systemu teleinformatycznego i interfejsów między blokami konstrukcyjnymi, co pozwala na zmiany w części systemu bez dokonywania przeglądu systemu jako całości. Kryteria przydatne do oceny modyfikowalności i otwartości obejmują:

- Harmonogram uaktualnień / aktualizacji
- Skalowalność systemu
- Granice systemu i wewnętrzne ograniczenia
- Interfejsy modułów i standaryzacja interfejsów oprogramowania
- Interoperacyjność i wymienność modułów
- Dostępność sieci, infrastruktury i danych współużytkowanych z systemem
- Łączność systemu z innymi odpowiednimi systemami, aplikacjami i domenami

4.2.3 Pomiar zużycia energii

Równolegle do specyfikacji elementów sterujących należy ustalić potencjalną potrzebę pomiaru. Opcje i ogólne zalecenia dotyczące pomiaru zostały omówione w rozdziale 3. Ocena instalacji oświetleniowej pod kątem zoptymalizowanego utrzymania i pracy konserwacji oraz odpowiednich kosztów zużycia energii elektrycznej wymaga odpowiedniego pomiaru. Wartości AECI można weryfikować tylko za pomocą pomiarów. Ponadto pomiar umożliwia szybkie wykrycie awarii i potrzebę konserwacji. Pomiar może odbywać się na różnych poziomach w systemie, obejmując również różne poziomy złożoności. Odpowiednie opcje powinny zostać rozpatrzone i porównane.

Wymagania PremiumLight-Pro:
W przypadku, gdy opcje oświetlenia i opcje pomiaru zostały wybrane w zależności od projektu, w zaproszeniu do składania ofert powinna zostać opisana szczególna funkcjonalność. Koszty i korzyści kontroli oświetlenia i pomiaru światła należy uwzględnić w całkowitym obliczeniu LCC / TCO.

Weryfikacja
Oferenci oferują opcje pomiaru i deklarują koszty i korzyści w oparciu o TCO / LCC.

4.3 Kryteria wyboru

Kryteria wyboru określają podstawowe wymagania, które oferent musi spełnić w całości. Kryteria obejmują zazwyczaj doświadczenie, kwalifikacje i certyfikację oferenta.

4.3.1 Wiedza i doświadczenie zespołu projektantów i zespołu instalacyjnego

Projektowanie i instalacja oświetlenia mogą być wykonywane przez różne firmy lub przez jednego oferenta. W obu przypadkach oferenci muszą potwierdzić, że zadania projektowe i instalacyjne zostaną przeprowadzone przez zespół o odpowiedniej wiedzy fachowej.

Wymagania PremiumLight-Pro:
Oferent (lub specjaliści wyszczególnieni w ofercie) z powodzeniem zrealizował w ciągu ostatnich 3 lat co najmniej 5 projektów dotyczących oświetlenia drogowego z wykorzystaniem technologii LED. Projekty referencyjne powinny mieć zakres oraz złożoność porównywalny z zaplanowanym projektem.

Weryfikacja
Oferent określa osoby odpowiedzialne za projekt i dostarcza informacje na temat kwalifikacji zawodowych, wykształcenia, odpowiedniego doświadczenia i związanych z nimi certyfikatów. Ponadto oferent dostarcza listę porównywalnych projektów oświetleniowych, które zostały zrealizowane w ciągu ostatnich trzech lat. W przypadku, gdy część robót ma zostać oddana podwykonawcom, podobne informacje dostarczane są od podwykonawców. Przykładowo, wielkość projektów można określić na podstawie liczby punktów świetlnych.

4.3.2 Zdolność oferenta

Wymagania PremiumLight-Pro:
Oferent przedstawia i potwierdza zdolność do realizacji projektu w określonym przedziale czasowym.

Weryfikacja
Oferent określa zasoby przeznaczone na realizację projektu oraz konkretny harmonogram projektu.

4.3.3 Zgodność z normami EN i ISO

Wymagania PremiumLight-Pro:
Oferent musi spełniać wymagania odpowiednich norm PN-EN i ISO.

Weryfikacja
Oferent deklaruje i potwierdza zgodność z odpowiednimi normami.

4.4 Wymagania techniczne (kryteria obowiązkowe i kryteria oceny)

Wymagania techniczne obejmują wymagania jakościowe i energetyczne, które częściowo określa się jako kryteria obowiązkowe i kryteria oceny.

4.4.1 Kryteria związane z energią

4.4.1.1 Skuteczność oprawy

Poniższe wymagania określają minimalną skuteczność dla opraw LED. Skuteczność świetlna zmienia się w zależności od temperatury barwowej źródła światła. Z tego powodu proponuje się różne wymagania skuteczności dla różnych poziomów temperatury barwowej. W szczególności oprawy o bardzo niskiej temperaturze barwowej (na przykład ≤ 2000 K) charakteryzują się niską skutecznością. Wymagania dotyczące skuteczności oprawy będą aktualizowane co roku, a nowe poziomy zostaną określone jesienią 2018 r. już na rok 2019.

Wymagania PremiumLight-Pro:

Poniższe wymagania dotyczące skuteczności opraw są określone dla roku 2017 i 2018:

- 4000 K: ≥ 120 lm / W
- 2700 - 3000 K: ≥ 105 lm / W
- ≤ 2000 K: ≥ 80 lm / W

Oprawy o bardzo niskiej wartości CCT (ciepłe barwy) powinny być stosowane tylko w obszarach podmiejskich, obszarach o szczególnych aspektach ochrony przyrody, dlatego ich zastosowanie powinno być oparte na odpowiednim uzasadnieniu.

Kryteria PremiumLight-Pro są przeznaczone wyłącznie do oświetlenia LED, dlatego też nie są brane pod uwagę poziomy skuteczności dla innych tradycyjnych technologii.

Weryfikacja

Oferent określa i potwierdza skuteczność poszczególnych komponentów w dokumentacji technicznej oferty. Strumień świetlny i moc deklaruje się zgodnie z odpowiednimi normami.

4.4.1.2 Wskaźnik rocznego zużycia energii i wskaźnik gęstości mocy

Kryteria zużycia energii obejmujące "Roczny wskaźnik zużycia energii" (AECI) i "Wskaźnik gęstości energii" (PDI) są głównymi wskaźnikami oceny zużycia i efektywności energetycznej systemu oświetlenia (szczegółowe informacje znajdują się na str. 18, rozdział 2).

Jeśli zużycie energii i efektywność oceniane są na poziomie systemu, wtedy dodatkowe wymagania na poziomie komponentów często nie są konieczne. Jednakże obliczanie AECI i PDI opiera się na danych dotyczących składników sprzętu, dlatego też sprawdzenie informacji o produkcie jest niezbędne w celu potwierdzenia poprawności obliczeń. AECI obejmuje takie kwestie, jak: ściemnianie, nadmierne oświetlenie lub stały strumień świetlny w czasie życia (CLO) (PN-EN 13201-5: 2016) i w związku z tym w wielu sytuacjach jest głównym, preferowanym wskaźnikiem. Dlatego PremiumLight-Pro zaleca stosowanie – tam, gdzie jest to możliwe – AECI jako głównego kryterium. PDI może być stosowany alternatywnie w przypadkach, gdy nie jest możliwe obliczanie AECI w sposób przejrzysty lub jeśli PDI wydaje się uzasadnione z innego powodu. Zwykle nie jest konieczne określanie równocześnie PDI i AECI.

Wymagania PremiumLight-Pro:

W każdym przypadku, gdy jest to konieczne, jako główny wskaźnik energetyczny na poziomie systemu wymagany jest AECI wyliczany w przejrzysty sposób:

Roczne zużycie energii AECI nie może być wyższe niż określono poniższym wzorem:

AECI [kWh/(m²·y)] < 0.8 x 161/RW[m] x 0.004 x Em [lx]

W przypadkach, w których AECI nie jest odpowiednio dostępny i nie można obliczyć go w przejrzysty sposób, może zostać użyty PDI:

Wartość gęstości mocy PDI nie powinna być większa niż określono poniższym wzorem:

PDI [mW/(lx.m²)] < 1.1 x 161/RW[m]

Droga z [RW] to całkowita szerokość drogi, w tym drogi awaryjne, chodniki i ścieżki rowerowe. RW mieści się w zakresie od 5 m do 10 m. Formuła stosowana w PDI wykorzystuje uproszczone podejście, dopasowane do obecnego projektu dotyczącego ekologicznych zamówień publicznych i zostało opracowane przez JRC Sevilla (podejście oparte na klasie drogowej M3 jako odniesienie prowadzi do współczynnika 161/RW). Oprócz szerokości dróg, ważne może być ustawienie oprawy i profil drogi. Przykładowo, wiele badań dowodzi, że centralny układ punktów świetlnych (usytuowane w pasie rozdzielającym jezdnie) lub odpowiednio długie wysięgniki mogą być korzystne. Analiza indywidualnych przypadków jest istotna w celu dostosowania ogólnych zasad dotyczących konkretnej sytuacji.

Obliczanie rocznego zużycia energii opiera się na założeniu 4000 godzin pracy rocznie. Minimalna średnia utrzymywana wartość natężenia oświetlenia [Em] jest określona zgodnie z definicją klasy drogi w normie PN-EN 13201-2: 2016. W przypadku klas dróg, w których zamiast natężenia oświetlenia (Em) użyto luminancji ($\bar{L}$m), można użyć wzoru konwersji z normy PN-EN 13201-5: 2016 (Em = $\bar{L}$m/0,07). W przypadku oświetlenia drogowego, w którym wykorzystuje się półsferyczne natężenie oświetlenia (Ehs), wzór konwersji zgodny ze standardem wynosi Em = Ehs/0.65.

Czynniki wprowadzone do wzorów służą do wyliczenia przewymiarowania lub ściemniania układu oświetleniowego. Ze względu na spadek strumienia świetlnego w cyklu życia źródła światła, systemy wymagają przewymiarowania powyżej poziomu obliczeniowego. W przypadku systemów ze ściemnieniaczami, ściemnianie może być początkowo stosowane w celu zmniejszenia strumienia świetlnego i zrekompensowania przewymiarowania. Więcej informacji na temat ściemniania znajduje się w rozdziale 3.

Weryfikacja
Oferent oblicza i podaje wartości AECI lub, jeśli jest to uzasadnione, alternatywnie wartości PDI, obliczone w przejrzysty sposób (zgodnie z normą PN-EN 13201-5: 2016). Wyższe wartości AECI lub PDI w porównaniu do poziomów wskazanych powyżej, mogą być dopuszczalne w przypadku konkretnych ograniczeń, jednak zawsze są uzasadnione. Oferent dostarcza dane fotometryczne opraw w wersji elektronicznej i parametry składowe wymagane do obliczenia AECI i PDI. Ponadto należy dostarczyć specyfikację techniczną źródła światła (deklaracje opierają się na najnowocześniejszych metodach pomiaru, w tym na zharmonizowanych normach europejskich). W przypadkach, w których stosowane jest ściemnianie, założenia są określone zgodnie z normą PN-EN 13201-5:2016. Więcej informacji na temat wskaźników efektywności energetycznej zawiera rozdział 2.

4.4.1.3 Współczynnik mocy

Znaczenie współczynnika mocy dla ogólnej wydajności energetycznej systemów oświetleniowych zostało opisane w rozdziale 2. W przypadku PremiumLight-Pro zaleca się stosowanie dwóch różnych wymagań dotyczących współczynnika mocy przy pełnym obciążeniu i w sytuacji przyciemnionej przy obciążeniu 50%.

Wymagania PremiumLight-Pro:
Współczynnik mocy przy pełnym obciążeniu: cos ϕ ≥0.9

Dla układów ściemnialnych: Współczynnik mocy przy 50% obciążeniu: cos ϕ phi ≥ 0.8

Weryfikacja
Oferent określa i potwierdza współczynnik mocy w dokumentacji technicznej oferty. Współczynnik mocy należy zgłaszać zgodnie z odpowiednim prawodawstwem dotyczącym ekoprojektu i w zgodzie z odpowiednimi normami.

4.4.2 Kryteria jakości i projektowanie

4.4.2.1 Barwa światła, oddawanie barw i zgodność kolorów

Temperatura barwowa (barwa światła)
Przy wyborze barwy światła (temperatury barwowej) należy wziąć pod uwagę typ drogi dla określonego obszaru zastosowania. Kolor światła dla oświetlenia ulicznego wymaga różnej temperatury barwowej w różnych miejscach zastosowania (najczęściej od 3000K do 4000K). Badania wykazały, że białe światło ułatwia percepcję ludzkiego oka lepiej niż światło żółtawe. Białe światło wydaje się jaśniejsze niż żółtawo-białe. Więcej szczegółów na temat temperatury barwowej zawiera rozdział 2.

Ze względu na różne potrzeby nie można określić wymagań standardowych dla jasnego koloru, ale wybór temperatury barw zależy od obszaru zastosowania i różnych preferencji. Dlatego PremiumLight-Pro zawiera tylko ogólne zalecenia.

Wymagania PremiumLight-Pro:
- Temperatura barwowa w obszarach zamieszkania i głównych ciągach dla pieszych powinna wynosić około 3000K.
- Temperatura barwowa dla głównych dróg, autostrad i terenów o ruchu mieszanym powinna wynosić około 4000K.

Wskaźnik oddawania barw
Oprócz temperatury barwowej, bardzo istotne dla percepcji obiektów i różnych kolorów jest wskaźnik oddawania barw. Jeśli chodzi o oddawanie barw, nie można określić żadnych ścisłych wymagań, można podać jedynie zalecenia.

Wymagania PremiumLight-Pro:

- Dla autostrad i głównych dróg wskaźnik oddawania barw (CRI) powinien być lepszy niż Ra 70 (Ra≥70)
- W przypadku dróg o złożonej strukturze, w tym ruchu mieszanego, rowerzystów i pieszych oddawanie barw powinno być lepsze niż Ra 80 (Ra≥80)

Zgodność kolorów i utrzymanie barw

Zgodność kolorów określa odchylenie światła od standardowego koloru światła (punkt specyficzny w układzie współrzędnych kolorów). Utrzymanie barw opisuje odchylenie koloru w czasie. Obydwa odchylenia są określone tak zwanymi elipsami MacAdamsa (szczegóły patrz rozdział 2)..

Wymagania PremiumLight-Pro:

- Zgodność kolorystyczna źródła światła lub oprawy w momencie uruchomienia systemu powinna wynosić co najwyżej pięć z pięciu kroków elipsy MacAdamsa
- Zgodność kolorystyczna źródła światła lub oprawy w okresie eksploatacji oprawy powinna wynosić 6 kroków elipsy MacAdamsa

Weryfikacja

Oferent określa i potwierdza parametry w dokumentacji technicznej oferty. Parametry są zadeklarowane zgodnie z odpowiednimi normami i prawodawstwem.

4.4.2.2 Luminancja i natężenie oświetlenia

Poziom luminancji i natężenia oświetlenia powinien być określony zgodnie z potrzebami dla konkretnych typów dróg i powinien spełniać wymogi określone w normie PN-EN 13201.

Wymagania PremiumLight-Pro:

- Natężenie oświetlenia należy określić zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 13201
- Luminancja powinna być określona zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 13201

4.4.2.3 Zanieczyszczenie światłem

Zanieczyszczenie światłem definiuje się jako emisję światła, która nie obsługuje określonego zadania oświetleniowego, ale rozjaśnia obszary, w których oświetlenie jest niepożądane (np. nocne niebo, domy itp. patrz strona x). Jak wyjaśniono w rozdziale 2, w miarę możliwości należy unikać zanieczyszczenia światłem poprzez odpowiednie zaprojektowanie oświetlenia. Niepożądane oświetlenie otoczenia zmniejsza efektywność oświetlenia i może mieć negatywne skutki zarówno dla ludzi, jak i zwierząt.

Najważniejszym wskaźnikiem zanieczyszczenia światłem jest współczynnik udziału światła wysyłanego ku górze (ULOR), czyli współczynnik określający ilość światła emitowanego ponad płaszczyznę poziomą oprawy.

Wymagania PremiumLight-Pro:

- Współczynnik udziału światła wysyłanego ku górze ULOR oprawy powinien wynosić 0% dla wszystkich klas dróg i dla wszystkich sytuacji oświetleniowych, pod warunkiem, że żadne inne wartości nie są wyraźnie pożądane.

W ten sposób unika się niepotrzebnego oświetlenia nieba i otoczenia. Technologia LED w ogóle pozwala na bardziej precyzyjny rozsył światła, a tym samym zmniejsza zanieczyszczenie światłem. Wymagania dotyczące ULOR zostały określone w przewodniku technicznym CIE 126:1997.

W przypadku tradycyjnych opraw wyposażonych w źródła wyładowcze HID z kloszem przeprowadzono wymianę pomiędzy soczewkami typu refrakcyjnego a szkłem płaskim. Obecnie w przypadku systemów oświetlenia LED zaleca się stosowanie wyłącznie szyb zespolonych, które umożliwiają bardziej precyzyjny i efektywny rozsył światła. Jednostki z płaskim szkłem mają zazwyczaj mniej światła skierowanego w górę, lepszą kontrolę światła wnikającego w okna domów mieszkalnych i mniejsze odblaski pod dużym kątem.

Weryfikacja

Oferent dostarcza dane fotometryczne w wersji elektronicznej, który musi zawierać informacje dotyczące wskaźnika udziału światła wysyłanego ku górze.

4.4.2.4 Ochrona przed olśnieniem

Olśnienie jest ważnym parametrem jakościowym dla oświetlenia drogowego, ponieważ ma bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo i komfort. Zarówno w przypadku olśnienia oślepiającego, jak i przykre (powodującego dyskomfort), dostępna jest standardowa klasyfikacja różnych poziomów olśnienia (definicje patrz rozdział 2). Dla obu rodzajów olśnień zdefiniowano 6-klasową skalę (G1-G6 dla olśnień uniemożliwiających widzenie, D1-D6 dla olśnień powodujących dyskomfort).

Wymagania PremiumLight-Pro:

- W przypadku **olśnień oślepiających (uniemożliwiających widzenie)** zaleca się używanie produktów o klasie co najmniej G4 lub wyższej. Ogólnie należy stosować systemy z płaską osłoną.
- Jeśli chodzi o **olśnienia przykre (powodujące dyskomfort)**, zaleca się używanie produktów o klasie D6

dla dróg lokalnych i obszarów mieszkalnych. Dla ciągów pieszych zalecane jest użycie klasy D5.
•

Podobne poziomy odblaskowe są zalecane przez niektóre wytyczne krajowe i międzynarodowe (np. duńskie wytyczne dotyczące oświetlenia dróg).

Weryfikacja
Klasa olśnienia powinna zostać określona przez oferenta.

4.4.2.5 Wymagania dotyczące ochrony dla opraw

Ochrona przed wnikaniem
Jakość i wydajność światła zależy od ilości brudu i wody dostających się do oprawy. Tak więc oprawa powinna zapewniać wystarczającą ochronę przed wnikaniem, określoną w tzw. klasyfikacji IP (zgodnie z CIE 154:2003). IP ma również znaczenie dla współczynnika konserwacji oprawy. Rozporządzenie w sprawie ekoprojektu EC/245/2009 wskazywało IP65 jako wzorzec dla klas drogowych ME1 do ME6 i MEW1 do MEW6. (IP65: brak wchłaniania pyłu, pełna ochrona przed dotykiem i wodą obejmująca wszystkie typowe warunki pogodowe).

Wymagania PremiumLight-Pro:
- Dla ochrony przed wnikaniem należy stosować IP 65 dla wszystkich klas dróg.

Ochrona przed uderzeniami
Różne typy klasyfikacji skutków uderzeń są zazwyczaj stosowane w różnych typach dróg i sytuacjach. Na przykład, w Danii, stosuje się klasy ochrony przed uderzeniami IK06 i IK10 [VEJ].

Wymagania PremiumLight-Pro:
- Oprawa powinna mieć współczynnik ochrony przed uderzeniem większy niż IK07.

Weryfikacja
Wszystkie wymagania na poziomie oprawy są potwierdzane odpowiednimi informacjami o produkcie i odpowiednimi deklaracjami zgodnie z unijnymi normami i normami oferenta.

Zabezpieczenie elektryczne (IEC)
Zabezpieczenie elektryczne zapewnia wystarczającą izolację części w przypadku awarii.

Wymagania PremiumLight-Pro:
- Wszystkie oprawy mają zabezpieczenie elektryczne klasy II.

Dzięki temu, w przypadku awarii istnieją dwie warstwy izolacji, które w przypadku awarii zapewniają ochronę części będących pod napięciem. Klasa II jest dość powszechna i zalecana do instalacji oświetleniowych [np. WB i VEJ].

Ochrona przed przepięciem (IEC)
Ochrona przepięciowa zapewnia ochronę przed wysokim napięciem.

Wymagania PremiumLight-Pro:
- Instalacja powinna posiadać zabezpieczenie przeciwprzepięciowe 10kV

Takie zabezpieczenie zapewnia ochronę lamp przed wszystkimi, najbardziej skrajnymi przejściowymi przepięciami. Powszechnie stosowane jest zabezpieczenie przeciwprzepięciowe >4kV [SES]. Zaproponowany poziom jest bardziej przewidywalny.

Weryfikacja
Poziom napięcia i ochrona przed przepięciami muszą zostać zadeklarowane przez oferenta.

4.4.3 Oznaczenie zgodności

Znaki zgodności zapewniają, że komponenty systemu oświetleniowego spełniają podstawowe normy dla produktów elektrycznych. Oznakowanie CE jest obowiązkowe w odniesieniu do wszelkich produktów sprzedawanych w UE, a zatem nie ma potrzeby wymieniania go jako szczególny wymóg.

Wymagania PremiumLight-Pro:
Wszystkie elementy systemu oświetleniowego powinny zawierać następujące znaki zgodności:
- ENEC (Europejskie Normy Elektromechaniczne)

Weryfikacja
Oferent dostarcza deklarację zgodności dla wszystkich komponentów.

4.4.3.1 Trwałość, gwarancja i możliwość naprawy

Czas życia oprawy i modułu LED
Minimalna żywotność oprawy jest określona jako wymaganie L_xB_y (patrz rozdział 2). W przypadku Premium-Light-Pro przyjmuje się, że czas życia jest deklarowany jako wartość $L_{80}B_{10}$.

Wymagania PremiumLight-Pro:

- Oprawa powinna mieć szacowany czas życia na poziomie co najmniej $L_{80}B_{10}$ = 100.000h.

PremiumLight-Pro obejmuje tylko kryteria dotyczące technologii LED. Zatem odpowiednie wymagania dotyczące trwałości, np. dla lamp wyładowczych wysokociśnieniowych, nie są brane pod uwagę. Przykładowo, wytyczne opracowane przez topstreetlight.ch trwałość oprawy LED wynoszącą co najmniej 100 000 h. [SES]

Weryfikacja

Oferent dostarcza specyfikacje techniczne oprawy (oparte na najnowocześniejszych metodach pomiaru, w tym, jeśli to możliwe na zharmonizowanych normach europejskich).

Czas życia urządzeń sterujących

Urządzenia sterujące i odpowiednie sterowniki są częstym źródłem awarii, a zatem znacząco wpływają na potrzebę konserwacji i napraw. Wysokiej jakości osprzęt sterujący zapewnia trwałość 100 000 godzin, podczas gdy produkty o niskiej jakości mogą osiągnąć tylko 30 000 godzin lub mniej.

Wymagania PremiumLight-Pro:

Wskaźnik awaryjności urządzenia sterującego musi być niższy niż 0,1% na 1.000 godzin, a prawdopodobieństwo wystąpienia awarii po 100 000 godzinach musi być niższe niż 10%.

Weryfikacja

Oferent przedstawia specyfikację techniczną urządzeń sterujących (w oparciu o uznane, najnowocześniejsze metody pomiarowe, w tym, o ile są dostępne, zharmonizowane normy europejskie)

Gwarancja

Gwarancja na system oświetleniowy, odpowiednie komponenty systemu, a także możliwość naprawy, to podstawowe cechy wspierające oczekiwaną trwałość instalacji oświetleniowej. Długa żywotność może uzasadniać wyższą inwestycję początkową w celu uzyskania wydajniejszych, wysokiej jakości systemów oświetlenia drogowego.

Ogólna naprawa i konserwacja powinny być możliwe przy użyciu standardowych narzędzi.

Wymagania PremiumLight-Pro:

Okres gwarancji i/lub umowy serwisowej obejmuje co najmniej dziesięć lat i zawiera:

a Wymianę wadliwych źródeł światła (w tym zmniejszenie lumenów poniżej określonych poziomów), sprzętu sterowniczego i/lub oprawy bez ponoszenia kosztów.

b Całkowitą wymianę partii opraw w przypadku, gdy więcej niż 10% jednostek w partii jest uszkodzonych.

Gwarancja powinna wykluczać następujące przypadki:

a Oprawy uszkodzone z powodu wandalizmu, wypadków, wyładowań atmosferycznych lub burzy

b Lampy i oprawy pracujące w nietypowych warunkach (np. używane przy niewłaściwym napięciu sieci)

Możliwość naprawy i dostępność części zamiennych

Wymagania PremiumLight-Pro:

- Dostępność części zamiennych jest gwarantowana przez okres dziesięciu lat. Jeśli chodzi o możliwość naprawy to źródło światła (lampa lub moduł LED) i urządzenia pomocnicze muszą być łatwo dostępne i wymienne na miejscu (tj. na wysokości montażu oprawy). Naprawa powinna być wykonana przy użyciu standardowych narzędzi.

Niektóre projekty wymagają jeszcze dłuższej dostępności części zamiennych, na przykład 15 lat [Wiedeń WB].

Obecnie istnieje pewna tendencja całkowitej integracji modułów LED z oprawami, a zatem nie można ich zastąpić nowymi modułami. Jednak w świetle obecnych strategii i strategii tzw. obiegu zamkniętego gospodarki, zapewniających długą żywotność produktu, obowiązkowe staje się zastępowalność modułów LED.

Weryfikacja

W ofercie określa się gwarancję lub umowę o świadczenie, wskazując części, które są objęte umowami o świadczenie usług i gwarancją. Należy dostarczyć wykaz części zamiennych wraz z instrukcją i schematem oprawy, ilustrującym dostęp, demontaż i montaż części.

4.4.4 Koszt cyklu życia / TCO

Ekonomiczna opłacalność nowych systemów oświetlenia LED jest najlepiej oceniana za pomocą podejścia opartego na kosztach cyklu życia. Podczas gdy koszty zakupu mogą być wyższe w porównaniu z tradycyjnymi systemami oświetlenia, to koszty całkowite uwzględniające eksploatację i konserwację często są niższe. Koszt cyklu życia lub szacunki TCO pozwalają na realizację rozwiązań bardziej kosztownych w zakresie kosztów początkowych, ale za to bardziej ekonomicznych w całym okresie życia systemu.

Wymagania PremiumLight-Pro:
Oferent oblicza koszt cyklu życia, lub odpowiednio TCO, dla instalacji oświetlenia drogowego, stosując metodę wskazaną przez zamawiającego. Przykładowo można zastosować jedno z następujących podejść:

- Metoda wartości bieżącej określona w raporcie technicznym CIE 115:2010, str. 24 [CIE]
- Metoda średnich kosztów rocznych określona w raporcie technicznym CIE 115:2010, str. 24 [CIE]
- Metoda określona przez Wymagania ID:10677:1 Szwedzkiej Krajowej Agencji Zamówień Publicznych (Uphandlings myndigheten) [UM]

Obliczenia TCO obejmują takie parametry, jak: koszt pracy, koszty energii elektrycznej, cena zakupu, przewidywany czas żywotności opraw, koszty utrzymania (czas czyszczenia oprawy, czas naprawy oprawy na miejscu, częstotliwość czyszczenia opraw itp.).

Weryfikacja
Oferenci dostarczają obliczenia LCC/TCO w oparciu o przyjętą metodę obliczania kosztów, określoną przez zamawiającego.

4.4.5 Kwestie umowne

Istnieje kilka wymogów, które należy uwzględnić w przetargu, ale nie są one wymaganiami technicznymi. Powinny one zostać użyte do oceny przetargowej i należeć do specyfikacji zamówienia.

Prawidłowa instalacja oświetlenia jest podstawowym wymogiem zapewniającym bezpieczne i wydajne działanie. W związku z tym kryteria udzielania zamówień powinny obejmować wymagania dotyczące instalacji oraz informacje i dokumentację w zakresie konserwacji.

4.4.5.1 Poprawna instalacja i kalibracja

Aby zapewnić odpowiedni poziom oświetlenia i jakość oświetlenia zgodnie z odpowiednimi normami, niezbędna jest prawidłowa instalacja systemu oświetleniowego. Poniższe wymagania zapewniają, że zainstalowany system oświetlenia jest zgodny z odpowiednimi specyfikacjami i normami.

Poprawna instalacja

Wymagania PremiumLight-Pro:
Oferent musi

- upewnić się, że wszystkie urządzenia oświetleniowe (w tym lampy, oprawy, sterowanie oświetleniem i systemy pomiarowe) są zainstalowane dokładnie tak, jak określono w projekcie.
- dostarczyć dokumentację wszystkich zainstalowanych urządzeń oświetleniowych, potwierdzającą, że sprzęt jest zgodny z oryginalną specyfikacją.
- przeprowadzić pomiary dla losowo wybranego odcinka drogi, które poświadczą zgodność systemu oświetlenia ze specyfikacjami i odpowiednimi normami. Między innymi PDI i AECI oblicza się na podstawie pomiarów na jeden tydzień zgodnie z PN-EN 13201 (obliczenia z tolerancją +/- 10%).
- zweryfikować kryteria zanieczyszczenia światłem poprzez pomiar kąta wysięgnika dla zestawu losowo wybranych opraw oświetleniowych (maksymalnie +/- 2° tolerancji).

Weryfikacja
Oferent musi dostarczyć wszystkie określone dokumenty i wyniki pomiarów.

Kalibracja

Wymagania PremiumLight-Pro:
Oferent musi zapewnić, że sterowanie systemem oświetlenia działa prawidłowo, a zużycie energii nie jest wyższe niż to zostało określone w projekcie systemu oświetleniowego. W szczególności należy sprawdzić, czy następujące rodzaje funkcji kontrolnych są skalibrowane i działają prawidłowo:

- systemy kontroli wrażliwe na światło dzienne
- kontrola ruchu drogowego
- przełączniki czasowe

Weryfikacja
Wykonawca zobowiązany jest dostosować system zgodnie z wymaganiami i specyfikacjami oraz dostarczyć odpowiednią dokumentację. Ponadto oferent dostarcza wszystkie istotne informacje i dokumentację, które są niezbędne do działania i utrzymania funkcji kontrolnych.

Informacje i dokumentacja dotyczące konserwacji, wymiany i ponownej kalibracji

Wymagania PremiumLight-Pro:
Kompleksowa dokumentacja zapewnia, że operator systemu oświetleniowego jest wyposażony we wszystkie istotne informacje wymagane do sprawnego działania i utrzymania. Oferent musi dostarczyć następujące informacje:

- Instrukcje demontażu opraw
- Instrukcje dotyczące wymiany źródeł światła (rodzaje i procedury)
- Instrukcje dotyczące obsługi i ponownej kalibracji sterowania oświetleniem i regulacji czasów wyłączenia

Weryfikacja
Oferent dostarcza całą stosowną dokumentację oraz instrukcje dla odpowiedzialnego personelu.

4.4.6 Redukcja odpadów i odzyskiwanie materiałów

Redukcja odpadów i odzyskiwanie surowców ma zasadnicze znaczenie dla większości instalacji oświetlenia drogowego, ponieważ większość nowo zainstalowanych systemów zastępuje stare systemy. Zbierane są więc znaczne ilości odpadów, a różne związki można odzyskać.

Wymagania PremiumLight-Pro:
Podczas demontażu i nowej instalacji wszystkie istotne elementy należy oddzielić i odzyskać zgodnie z dyrektywą WEEE (Dyrektywa w sprawie zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego) Unii Europejskiej. [WEE].

Weryfikacja
Oferent powinien zadeklarować, w jaki sposób odpady zostaną rozdzielone, a materiały zostaną odzyskane podczas demontażu starego systemu i instalacji nowego systemu.

4.5 Kryteria oceny PremiumLightPro - waga i wynik

4.5.1 Wprowadzenie

W poprzedniej sekcji określono zarówno obowiązkowe kryteria minimalne, jak i kryteria udzielenia zamówienia. W przypadku kryteriów udzielenia zamówienia, wymienionych również w tabeli 10, stosuje się punktację, która umożliwia klasyfikację ofert. Do obliczenia całkowitego wyniku wymagane jest ważenie różnych rodzajów kryteriów. Poniższa sekcja przedstawia propozycję możliwej koncepcji ważenia.

Tabele 10 i 11 pokazują proponowaną wagę dla kryteriów udzielenia zamówienia. Te dwa podejścia pokazują koncepcje projektów z kalkulacją TCO i bez niej.

W przypadku projektów, w których można zastosować solidne podejście w zakresie TCO, obejmujące główne parametry dotyczące inwestycji, eksploatacji i utrzymania, należy uwzględnić tylko kilka dodatkowych parametrów, w tym aspekty dotyczące jakości, projektu, gwarancji i wycofania z eksploatacji (zob. Tabela 12). Zużycie energii i konserwacja są już pokryte kosztami energii elektrycznej i konserwacji. W związku z tym waga kryteriów TCO jest porównywalnie wysoka.

W przypadkach, w których w TCO nie jest szacowana energia, koszty utrzymania i koszty inwestycji są oceniane osobno.

Ważenie kryteriów jest zwykle dostosowane do lokalnych potrzeb. W związku z tym przedstawioną tutaj wagę należy traktować jako jedną z możliwych opcji.

Tabela 12 *Ważenie kryteriów udzielenia zamówienia dla projektów z TCO*

Kryterium oceny		Waga [%]
Kryteria kosztu oparte na całkowitym koszcie (TCO)		50
TCO	Koszty inwestycji	15
	Koszty energii elektrycznej	20
	Koszty utrzymania	15
Kryteria jakości i projektu		30
Jakość oświetlenia		20
Projekt		10
Gwarancja, projekt recyklingu		20
Gwarancja		10
Dostępność części zamiennych, projekt recyklingu		10
Razem		100

Tabela 13 *Ważenie kryteriów udzielenia zamówienia dla projektów bez TCO*

Kryterium oceny	Waga [%]
Kryterium kosztu	25
Koszty inwestycji	25
Kryteria jakości i projektu	35
Jakość oświetlenia i żywotność	25
Projekt	10
Kryteria energetyczne	20
AECI lub PDI lub efektywność komponentów (w zależności od rodzaju projektu należy używać najbardziej odpowiedniego wskaźnika, niektóre typy projektów umożliwiają użycie PDI lub efektywności poszczególnych komponentów)	20
Kryteria eksploatacji, konserwacji i końca życia	20
Łatwość konserwacji, naprawy	10
Gwarancja, dostępność części zamiennych	10
Razem	100

Bibliografia

BAT – Bats in the Anthropocene: Conservation of Bats in a Changing World (2016). C. Voigt, T. Kingston (Editors). Springer Open

BFE – Energieeffiziente Straßenbeleuchtung mit LED (2016). Energie Schweiz, BFE

BG – Beleuchtungstechnik Grundlagen (2016). Baer, Barfuß, Seifert. HUSS-MEDIEN GmbH, Berlin

BGH – Buying green (2016). A handbook on green public procurement. 3rd edition, Publications Office of the European Union

CIE – CIE 115:2010 Technical Report "Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic", Commission Internationale De L'Eclairage

CSAPH – REPORT OF THE COUNCIL ON SCIENCE AND PUBLIC HEALTH Report 2-A-(2016): "Human and Environmental Effects of Light Emitting Diode (LED) Community Lighting"

European Commission (2015a): Preparatory Study on Light Sources for Ecodesign and/or Energy Labelling Requirements ('Lot 8/9/19'), Final report Task 3: Use of Light Sources

European Commission (2015b): Preparatory Study on Light Sources for Ecodesign and/or Energy Labelling Requirements ('Lot 8/9/19'), Final report Task 4: Technologies

EN 13201-1:2014: Road lighting. Guidelines on selection of lighting classes;

EN 13201-2:2015 – Road lighting – Part 2: Performance requirements;

EN 13201-3:2015 – Road lighting – Part 3: Calculation of performance;

EN 13201-4:2015 – Road lighting – Part 4: Methods of measuring lighting performance;

EN 13201-5:2015: Road lighting – Part 5: Energy performance indicators;

ENG – Engineering: Progress in Understanding Color Maintenance in Solid-State Lighting Systems (2015). Maryam Yazdan Mehra, Willem Dirk van Driela, G. Q. (Kouchi) Zhang, Volume 1, Issue 2, 2015, Pages 170–178

ENIGMA – Requirements Smart Lighting Solutions (2014). Research results. L Tähkämö, L Halonen, E. den Ouden, R Valkenburg

GPP – Revision of the EU Green Public Procurement Criteria for Street Lighting and Traffic Signals (2016); Technical report and criteria proposal (1st draft)

IIEC – International Institute for Energy Conservation (2015): Energy Efficiency Guidelines for Street Lighting in the Pacific; Bankok

LEDm – LED lighting must work with legacy dimming technologies (2011). David Cooper. LEDs magazine

Lau, Sei Ping, Merrett, Geoff V., Weddell, Alex S. and White, Neil M. (2015) A Traffic-Aware Street Lighting Scheme for Smart Cities using Autonomous Networked Sensors. Computers & Electrical Engineering

LTA – Guidelines to the submission of design drawings for public street lighting, cycling track lighting, footpath lighting and zebra crossing flashing beacon lighting system (2015): Land Transport Authority

LRT – An examination of the fundamentals of street lighting for pedestrians and drivers (2004). P Raynham. Lighting Res. Technol. 36, 4 2004 pp. 307316

LRT2 – A smart LED luminaire for energy savings in pedestrian street lighting (2015). E Juntunen, E Tetri, O Tapaninen, S Yrjänä, V Kondratyev, A Sitomaniemi, H Siirtola, EM Sarjanoja, J Aikio, V Heikkinen. Lighting Res. Technol. 2015; Vol. 47: 103–115

LRC4 – Energy and user acceptability benefits of improved illuminance uniformity in parking lot illumination (2016). N Nahendran, JP Freyssinier, Y Zhu. Lighting Res. Technol. 2016; Vol. 48: 789809

OSA – Model predicting discomfort glare caused by LED road lights (2014). Yandan Lin,* Yihong Liu, Yaojie Sun, Xiaoyan Zhu, Jushui Lai, and Ingrid Heynderickx , Optical Society of America 2014 Vol 22, No 14:

PE – The design and implementation of an energy efficient street lighting monitoring and control system (2012). Electrical Review, ISSN 0033-2097, R. 88 NR 11a

POP – "Flicker in Solid-State Lighting: Measurement Techniques, and Proposed Reporting and Application Criteria (2013). Pacific Northwest National Laboratory. Proceedings of CIE Centenary Conference. Poplawski, M. E., and N. M. Miller. Portland OR, USA

RO – Lighting (2014).D.C. Pritchard. Routledge

RL – Street lighting (2015): Fundamentals, Technology, and Application. Wout van Bommel, Springer

SdN – Schutz der Nacht Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft (2013). BfN-Skripten 336, Bundesamt für Naturschutz, M. Held, F. Hölker, B. Jessel (Editors)

SEN – Streetlight Control System Based on Wireless Communication over DALI Protocol (2016). F J Bellido-Outeiriño, F JQuiles-Latorre, C D Moreno-Moreno, PMC

SES – Straßenbeleuchtung (2016). Effiziente Systeme – Empfehlungen für Gemeindebehörden und Beleuchtungsbetreiber. topstreetlight.ch

VEJ – Handbook Street Lighting Construction and Planning (2015). Vejregler, Denmark

WEEE – Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE)

ZHA – Zhaga Interface specification book 1 (2015): overview and common information, Edition 1.7

ZHA5 – Zhaga Interface Specification Book 5 (2014): Socketable LED Light Engine with Separate Electronic Control Gear, Edition 1.2

ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (2016): Leitfanden Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung Begriffe, Definitionen und Messverfahren: Grundlagen für Vergleichbarkeit, Frankfurt am Main

ZVEI2 – Überspannungsfestigkeit in Leuchten der Schutzklasse II für die Straßenbeleuchtung (2014). Informationspapier, Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie

ZVEI3 – Information zum Dimmen von LED-Lichtquellen (2014). ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V., 2014

Spis rysunków

Rysunek 1 – Różne definicje dotyczące parametry oświetlenia **5**

Rysunek 2 – Przyrost wartości progowej jasności **5**

Rysunek 3 – Temperatura barwowa [Zobacz https://academo.org/demos/colour-temperature-relationship/ - dla wartości RGB] **6**

Rysunek 4 – Określenie kryteriów ograniczeń rozsyłu światła **8**

Rysunek 5 – Typy kryteriów iluminacji **12**

Rysunek 6 – Przykładowe zobrazowanie dla obliczeń PDI/AECI **13**

Rysunek 7 – Przykład poboru mocy świetlnej w zależności od czasu: pełna moc pobierana jest wieczorem i wcześnie rano, połowa mocy późną nocą **13**

Rysunek 8 – Pobór mocy świetlnej pracującej z detektorem pojazdów lub ruchu – pełna moc w przypadku wykrycia obecności **13**

Rysunek 9 – Śródmieście **14**

Rysunek 10 – Obszar wiejski **15**

Rysunek 11 – Fosfor zawieszony w żywicy (po lewej) i powłoka fosforowa (po prawej) **19**

Rysunek 12 – Schemat działania fosoru zamieniającego światło niebieskie na białe **19**

Rysunek 13 – Rodzaje opraw oświetleniowych **20**

Rysunek 14 – Odbłyśnik, refraktor oraz soczewka w oświetleniu ulicznym **21**

Rysunek 15 – Rozmieszczenie oświetlenia **23**

Rysunek 16 – Architektura systemu sterowania oświetlenia ulicznego **25**

Rysunek 17 – Komunikacja za pośrednictwem linii energetycznej **25**

Rysunek 18 – Sterowanie za pośrednictwem trybu Wireless **25**

Spis tabel

Tabela 1 – Klasy olśnienia dla olśnień oślepiających (PN-EN 13201-2 i Vejregler2015) **5**

Tabela 2 – Klasyfikacja olśnień przykrych (VEJ 2015) **6**

Tabela 3 – Wskaźnik oddawania barw dla systemów oświetlenia ulicznego [BG] **7**

Tabela 4 – Stopień ochrony obudowy (IP) **8**

Tabela 5 – Skala odporności na uderzenia mechaniczne (IK) **9**

Tabela 6 – Typowe wartości efektywności energetycznej różnych rodzajów lamp ulicznych [BG] **9**

Tabela 7 – Przykład D_P (wyrażone w [W/lx·m^2]) / DE (wyrażone w [kWh/m^2]) wartości dla drogi dwupasmowej dla ruchu zmotoryzowanego **14**

Tabela 8 – Parametry służące do określenia klasy oświetlenia **15**

Tabela 9 – Wybór klasy oświetlenia dla obszaru wiejskiego **16**

Tabela 10 – Poziom zintegrowania **19**

Tabela 11 – Minimalne wymagania PremiumLight-Pro i kryteria oceny **28**

Tabela 12 – Ważenie kryteriów udzielenia zamówienia dla projektów z TCO **38**

Tabela 13 – Ważenie kryteriów udzielenia zamówienia dla projektów bez TCO **38**

Data opracowania: wrzesień 2017

PremiumLight-Pro Konsorcjum:

Austria
Austrian Energy Agency
www.energyagency.at

Czechy
SEVEn, The Energy Efficiency Center
www.svn.cz

Dania
Energy piano

Portugalia
Institute for Systems and Robotics,
University of Coimbra

Wielka Brytania
Energy Saving Trust
www.energysavingtrust.org.uk

Niemcy
co2online gGmbH
www.co2online.de

Włochy
Politecnico Milano
www.energia.polimi.it

Hiszpania
Ecoserveis
www.ecoserveis.net

Polska
FEWE, Polish Foundation for Energy
Efficiency, www.fewe.pl

Opublikowane przez: Österreichische Energieagentur – Austriacka Agencja Energetyczna
Mariahilfer Straße 136, A-1150 Wiedeń, Tel. +43 (1) 586 15 24, Fax +43 (1) 586 15 24 - 340
E-Mail: office@energyagency.at, Strona www: http://www.energyagency.at
Redaktor prowadzący: Peter Traupmann
Dozwolony jest przedruk pojedynczych fragmentów za podaniem źródła.
Wydrukowano na papierze bielonym niechlorowanym.
Austriacka Agencja Energetyczna opracowała treść tego dokumentu z należytą starannością i wedle najlepszej wiedzy. Agencja nie ponosi żadnej odpowiedzialności za aktualność, kompletność i dokładność treści tego dokumentu.

Tłumaczenie i adaptacja:

Fundacja na rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii
ul. Rymera 3/4, 40-048 Katowice, Polska