

Jacek KOZYRA¹
Zbigniew SIWEK²

ZASADY PROJEKTOWANIA OŚWIETLENIA DRÓG

W artykule przedstawiono ogólne zasady projektowania oświetlenia dróg. Zaprezentowano podstawowe kryteria i parametry oświetlenia uwzględniane podczas wykonywania projektów oświetlenia dróg. Zamieszczono również klasy oświetleniowe wymagane dla dróg i infrastruktury drogowej.

THE PRINCIPLES OF ROAD ILLUMINATION DESIGN

This article presents the general principles of road illumination design. The basic criteria and parameters of illumination taken into consideration during the execution of road illumination design are presented. The article also contains illumination classes required for roads and road infrastructure.

1. WSTĘP

Projekty nowoczesnego oświetlenia ulic oraz terenów otwartych nakierowane są na poprawę bezpieczeństwa, racjonalizację zużycia energii elektrycznej oraz szeroko rozumianą ekologię. W tym rozumieniu projektowanie nowoczesnego oświetlenia promuje postęp techniczny i cywilizacyjny. Korzyści z oświetlenia ulicznego to:

- bezpieczeństwo na drodze (ograniczona liczba na drodze),
- bezpieczeństwo osobiste (ograniczenie kradzieży i napadów),
- uczucie przyjemności i komfortu.

Przy oświetlonej ulicy kierowca widzi więcej, łatwiej jest mu określić dystans pomiędzy pojazdami, widzi również poruszających się pieszych i rowerzystów co wpływa znacząco na bezpieczeństwo wszystkich użytkowników drogi. Bezpieczeństwo osobiste wynika z faktu, że dzięki oświetleniu zmniejsza się ilość kradzieży i napadów. Przy dobrym doborze parametrów oświetleniowych jest możliwość odczytania rysów twarzy napastnika i zauważeniu go przez innych. Oświetlenie uliczne może wywoływać uczucie przyjemności i komfortu poprzez zastosowanie różnego rodzaju światła, jego barwy i stopniu oddawania kolorów tworząc w ten sposób jasną przestrzeń dla człowieka. Nowoczesne projektowanie oświetlenia ulicznego to zapewnienie normatywnych parametrów oświetleniowych przy jak

¹ Politechnika Radomska, Wydział Transportu i Elektrotechniki; ul. Malczewskiego 29. Tel: + 48 48 361-77-57,
E-mail: j.kozyra@pr.radom.pl

² PGE Dystrybucja S.A RZE Radom, 26-600 Radom; ul. Średnia 49. Tel: + 48 48 365-71-07,
E-mail: zsiwek@skarzynsko.pgedystrybucja.pl

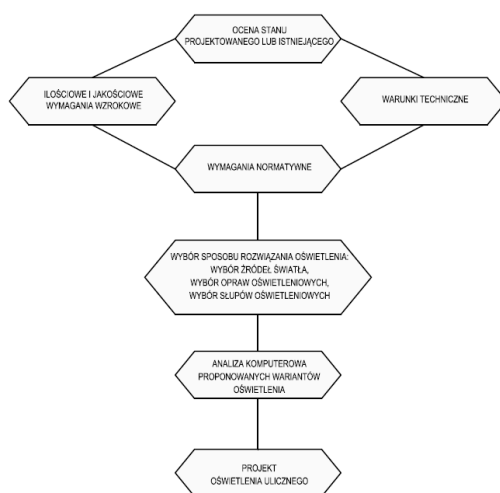
najmniejszych nakładach inwestycyjnych czyli tzw. ekonomiki oświetleniowej.

Przy oświetleniu ulic i terenów otwartych występuje duża ilość opraw i źródeł światła. Przy doborze odpowiednich opraw i energooszczędnych źródeł światła oraz zastosowaniu technik komputerowych jest możliwe połączenie obu dziedzin tak aby uzyskać zakładane rezultaty czyli mieć dobre oświetlenie uliczne przy ograniczonych nakładach inwestycyjnych i kosztów jego eksploatacji.

2. OGÓLNE ZASADY I KRYTERIA WYKONANIA OŚWIETLANIA ULICZNEGO

2.1 Ogólne zasady projektowania

Ogólne zasady i tok postępowania przy projektowaniu oświetlenia ulicznego przedstawia algorytm podany na rys. 1



Rys.1. Algorytm toku postępowania przy projektowaniu oświetlenia drogowego

Jednak aby prawidłowo wykonać projekt oświetlenia ulicy o określonej jej funkcji i typie należy w sposób szczegółowy przeprowadzić analizę sytuacji oświetleniowej, wybrać odpowiednią klasę oświetleniową a następnie zgodnie z normami oświetleniowymi przyjąć wymagania normatywne. Dla odpowiednich wymagań normatywnych ściśle związanych z przeznaczeniem ulicy, należy w następnych krokach dobrać źródła światła, oprawy oświetleniowe słupy oświetleniowe. Wszystkie te elementy powiązać i usytuować na planie zagospodarowania ulicy. Dla tak przyjętych założeń przeprowadzamy wstępną analizę komputerową uzyskanych wyników. Analizę należy przeprowadzić dla n/w wariantów tzn.:

- różnych źródeł światła i o różnych mocach,
- słupów o różnych wysokościach,
- wysięgników o różnych długościach i kątach nachylenia,
- usytuowania latarni oświetleniowych o różnych odstępach między sobą.

Każda z analiz ma na celu uzyskanie wymaganych normami parametrów

oświetleniowych przy jak najmniejszej ilości opraw oświetleniowych i słupów oświetleniowych tzn. przy minimalnych wymaganych nakładach finansowych. W tradycyjnych technikach obliczeniowych, wykorzystujących metody sprawnościowe, zwykle wyznaczano równomierne oświetlenie dla fragmentu ulicy o określonych jej kształtach tj. długości, szerokości i ewentualnych poboczach. Zaprojektowanie nowoczesnego oświetlenia ulicznego powinno wykorzystywać możliwości precyzyjnego oświetlenia miejsc kolizyjnych (węzłów, skrzyżowań, przejść dla pieszych, ograniczeń i przeszkód na drodze) oraz wymagań oświetleniowych.

Przy zastosowaniu nowoczesnych obliczeniowych technik komputerowych jesteśmy w stanie uzyskać efekty oszczędnościowe w zużyciu energii na poziomie od 30 do 50% w stosunku do metod tradycyjnych przy jednocześnie spełnieniu wymagań normatywnych.

Najbardziej popularnymi programami wspomagającymi obliczenia oświetleniowe są: „DIALUX” firmy DIAL GmbH oraz „CALCULUX” firmy Philips Lighting B.V.

2.2 Ważniejsze kryteria i parametry oświetleniowe

Ważnym czynnikiem bezpieczeństwa ruchu jest widoczność przeszkód na drodze. Po zmierzchu oświetlenie sztuczne winno zapewnić widoczność przeszkód, które mogą być niebezpieczne. Kierujący pojazdem powinien mieć wystarczającą widoczność umożliwiającą mu zatrzymanie pojazdu. Aby jednak kierowca mógł dostrzec przeszkodę, musi ona znajdować się na poziomie lub wyżej progu widoczności. Poziomą widoczność VL MKO (Międzynarodowa Komisja Oświetleniowa) zdefiniowała jako stosunek rzeczywistego kontrastu luminancji K przedmiotu do kontrastu luminancji K_{prog} tego przedmiotu czyli:

$$VL = \frac{K}{K_{prog}} \quad (1)$$

gdzie:

$$K = \frac{L_p - L_u}{L_u} \quad (2)$$

L_p – luminancja przeszkody,

L_u – luminancja dróg.

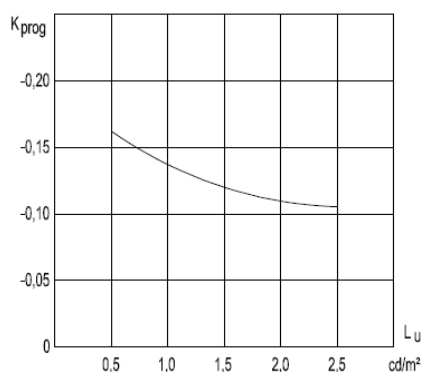
Warunkiem widoczności przeszkody jest, aby:

$$VL \geq 1 \quad (3)$$

Przy projektowaniu oświetlenia ulic ważnych z punktu widzenia dla ruchu samochodowego jest uzyskanie jak największej luminancji jezdni przy możliwie najmniejszej mocy zainstalowanej i nie przekroczeniu poziomu ośnienia. Wymaga to stosowania odpowiednich opraw oświetleniowych.

Przeszkody znajdujące się na jezdni przy tak rozwiązanym oświetleniu postrzegane są jako ciemne sylwetki na tle jaśniejszej nawierzchni ulicy. W tym przypadku tworzą, jak to wynika ze wzoru, kontrast ujemny. Kontrast progowy przeszkody krytycznej, wyznaczony w warunkach laboratoryjnych za pomocą modelu drogi, w zależności od luminancji jezdni L_u przedstawia powyższy rys. 2. Z przebiegu krzywej $K_{prog} = f(L_u)$ wynika, że wartość

kontrastu progowego przeszkody krytycznej zależy od luminancji jezdni. Przy najmniejszych wartościach luminancji jezdni jest ona większa i maleje w miarę zwiększania wartości luminancji jezdni L_u .



Rys. 2. Zależność kontrastu progowego K_{prog} przeszkody krytycznej od luminancji L_u [1]

Kontrast progowy zależy od stopnia olśnienia. Jest najmniejszy, gdy w polu widzenia nie ma źródeł olśnienia i zwiększa się w miarę zwiększania stopnia olśnienia. Przy danej luminancji tła (luminancji jezdni L_u) miarą olśnienia przeszkadzającego jest względny przyrost kontrastu progowego, który wyrażony w procentach nazywa się przyrostem progowym i jest oznaczony jako TI.

$$TI_{[\%]} = \frac{K'_{prog} - K_{prog}}{K_{prog}} \cdot 100 \quad (4)$$

gdzie:

K_{prog} – kontrast progowy bez olśnienia,

K'_{prog} – kontrast progowy z olśnieniem.

Dla zakresu luminancji tła od $0,05 \text{ cd/m}^2$ do 5 cd/m^2 przyrost progowy jest naproksymowany wzorem:

$$TI = 65 \frac{L_v}{L_t^{0,8}} \quad (5)$$

Gdzie:

L_t – luminancja tła

L_v – zastępcza luminancja zamglenia wyrażona wzorem:

$$L_v = 10 \cdot \frac{E_{voka}}{\Theta^2} \quad (6)$$

Gdzie:

E_{voka} – pionowe natężenie oświetlenia spowodowane przez źródło olśnienia w Lux,

Θ – kąt pomiędzy kierunkiem patrzenia i kierunkiem padania światła ze źródeł olśnienia wyrażony w stopniach.

$$E = \frac{I_{\gamma C 1000}}{H^2} \cdot \frac{\Phi_o}{1000} \cdot \cos^3 \gamma \quad (10)$$

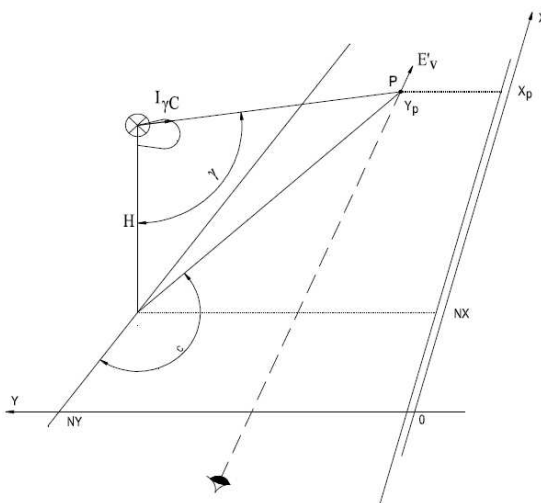
Nawierzchnie drogowe odbijają światło w sposób kierunkowo-rozproszony. Uwzględniając parametry z rys. 2, współczynnik luminancji q , w warunkach obserwacji przez kierowców (kąt obserwacji $\varepsilon=1^\circ$), zależy od materiału nawierzchni (zależność od klasy R i q_o) oraz od kąta padania światła γ i kąta obserwacji β , pomiędzy płaszczyzną padania światła i płaszczyzną obserwacji. Biorąc pod uwagę zależność współczynnika luminancji od tych kątów oraz wzór (2. 12), luminancja jezdni w j -tym punkcie przy oświetleniu jednej i -tej oprawy oświetleniowej wyraża się wzorem:

$$L_{ij} = \frac{I_{(\gamma\gamma C 1000)i}}{H^2} \cdot \frac{\Phi_{oi}}{1000} \cdot (\cos^3 \gamma) \cdot q_{(\beta\beta\gamma)i} = \frac{I_{(\gamma\gamma C 1000)i}}{H^2} \cdot \frac{\Phi_{oi}}{1000} \cdot r_{(\beta\beta\gamma)i} \quad (11)$$

Gdzie:

$r_{\beta\gamma} = q_{\beta\gamma} \cdot \cos^3 \gamma$ jest zredukowanym współczynnikiem luminancji

Przeszkoda znajdująca się w odległości od 60m do 160m od obserwatora (rys. 4) jest postrzegana jako przedmiot płaski, ustawiony normalnie do kierunku obserwacji. Przy założeniu, że szerokość pasa ruchu w stosunku do odległości obserwacji jest mała, do ustalenia luminancji przeszkody przyjmuje się, że kierunek obserwacji przeszkody jest równoległy do osi ulicy.



Rys. 2. Położenie przeszkody P na stacjonarnie oświetlonej ulicy [1]

Luminancja tak postrzeganej przeszkody zależy od składowej pionowej natężenia oświetlenia, skierowanej normalnie do płaszczyzny przeszkody od strony obserwatora. Wartość tego natężenia oświetlenia od i -tej oprawy oświetleniowej określa wzór:

$$E'_{vi} = \frac{I_{(\gamma\gamma C1000)}}{H^2} \cdot \frac{\Phi_{oi}}{1000} \cdot \cos^2 \gamma_i \cdot \sin_i \frac{X_p - NX_i}{\sqrt{(X_p - NX_i)^2 + (Y_p - NY_i)^2}} \quad (12)$$

Natężenie oświetlenia E'_{vi} występuje na przeszkodzie od strony obserwatora, czyli $E'_{vi} > 0$, gdy $X_p > NX_i$. W przypadku $X_p < NX_i$ przeszkoda jest od tyłu oświetlona przez tak umieszczoną oprawę oświetleniową. To natężenie oświetlenia nie wpływa zatem na wartość luminancji przeszkody widzianej przez obserwatora. Wobec tego dla $X_p < NX_i$ wartość E'_{vi} należy przyjmować równą zero. Przy większej liczbie opraw oświetleniowych oświetlających przeszkodę, całkowite natężenie oświetlenia E'_{vi} na przeszkodzie jest równe:

$$E'_v = \sum_i E'_{vi} \quad (13)$$

Do oceny widoczności przeszkód przy stacjonarnym oświetleniu bierze się pod uwagę przeszkodę krytyczną. Pod względem właściwości odbiciowych jako reprezentatywną uważa się przeszkodę odbijającą światło w sposób lambertowski (metoda punktowa obliczania natężenia i luminancji) ze współczynnikiem $\rho=0,2$. Taką przeszkodę nazywa się przeszkodą standardową. Luminancję tej przeszkody określa wzór:

$$L_p = \frac{\rho}{\pi} \cdot E'_v \quad (14)$$

Mając do dyspozycji dane fotometryczne opraw oraz źródeł światła i wczytując je do programu obliczeniowego nie jest konieczne wykonywanie powyższych obliczeń. Aby jednak poznać teorię i zasady wykonywania obliczeń natężenia oświetlenia warto zapoznać się z w/w wzorami [1].

3. WYBÓR KLAS OŚWIETLENIOWYCH

3.1 Klasy oświetleniowe

Podstawowa procedura wyboru klasy oświetleniowej jest dwuetapowa, na podstawie 20 tablic z załącznika raportu technicznego. Wszystkie tablice zawarte są w normie PN-EN 13201-2 Oświetlenie dróg – część 2 „Wymagania oświetleniowe” [3]. Spośród klas oświetleniowych w przytoczonej w/w normie w warunkach polskich ważne są trzy klasy oświetleniowe podstawowe – ME, CE i S oraz dwie klasy dodatkowe – ES i EV. Klasy ME dotyczą oświetlenia dróg z przewidzianą średnią lub wysoką prędkością jazdy na suchej nawierzchni. W polskich warunkach nawierzchnie mokre występują raczej rzadko, zatem klasy MEW nie mają zastosowania. Klasy CE dotyczą oświetlenia stref konfliktowych takich jak: ulice handlowe, skrzyżowania, ronda itp. Klasy S dotyczą oświetlenia ciągów pieszych, ścieżek rowerowych, pasów postojowych, dróg w osiedlach mieszkaniowych itp. Dla tych klas podstawowym parametrem oświetleniowym jest poziome natężenie oświetlenia. Dodatkowe klasy oświetleniowe: ES dotyczą oświetlenia na drogach o klasach oświetleniowych S, na których istotne jest rozpoznawanie twarzy pieszych, EV – dotyczą

oświetlenia w sytuacjach w których muszą być widoczne powierzchnie pionowe, na przykład, samochody w miejscach zjazdów lub wyjazdów na drogi szybkiego ruchu.

Każdej klasie oświetleniowej przyporządkowanych jest szereg wymagań fotometrycznych, które mają zapewnić wygodę widzenia użytkowników dróg na określonej powierzchni ruchu i w ich otoczeniu. Po ustaleniu dla rozpatrywanej strefy ruchu klasy oświetleniowej, w odpowiedniej tablicy normy PN-EN 13201-2 Oświetlenie dróg – część 2 „Wymagania oświetleniowe” znaleźć należy wartości parametrów oświetleniowych, które powinny być utrzymane w całym okresie użytkowania instalacji oświetleniowej. W dalszej części przytoczono tabele z wymogami określonymi w/w normą [2].

Klasy oświetleniowe ME przewidziane są do stosowania na drogach przeznaczonych dla ruchu samochodowego ze średnią lub wysoką prędkością w związku z czym dla w/w klas ważne jest zachowanie parametrów oświetleniowych o podwyższonych wartościach zwłaszcza dla ME1 i ME2. Wymagania i zalecenia oświetleniowe dla tych klas oparte są na kryteriach luminancji.

Tab. 1. Zalecane parametry oświetleniowe dla klas ME [3]

	Luminancja jezdni przy nawierzchni suchej			Przyrost wartości progowej	Stosunek natężenia oświetlenia otoczenia
Klasa	Lśr [cd/m ²] (wartość najniższa, wartość oczekiwana)	U _o (wartość najniższa)	U ₁ (wartość najniższa)	TI [%] ¹⁾ (wartość największa)	SR ²⁾ (wartość najniższa)
ME1	2,0	0,4	0,7	10	0,5
ME2	1,5				
ME3a	1,0				
ME3b				0,6	
ME3c				0,5	
ME4a			0,6		
ME4b	0,5				
ME5	0,5	0,35	0,4	15	
ME6	0,3				
					-

¹⁾ dodatkowy wzrost TI o 5% może być dopuszczony przy zastosowaniu źródeł światła o małej luminancji gabarytowych

²⁾ to kryterium jest tylko do zastosowania, gdy z jezdnią nie graniczy żadna powierzchnia ruchu ze swoimi wymaganiami

¹⁾ dodatkowy wzrost TI o 5% może być dopuszczony przy zastosowaniu źródeł światła o małej luminancji gabarytowej

²⁾ to kryterium jest tylko do zastosowania, gdy z jezdnią nie graniczy żadna powierzchnia ruchu ze swoimi wymaganiami

Klasy oświetleniowe CE jako klasy konfliktowe przewidziane są do stosowania głównie w miejscach kolizyjnych t.j. przy przejściach pieszych, skrzyżowaniach, rondach i obszarach do nich przylegających. Znajdują zastosowanie dla dróg użytkowanych przez nie tylko samochody ale i rowerzystów, pieszych oraz w przejściach podziemnych. Wymagania i zalecenia dla klas oparte są na kryteriach natężenia oświetlenia (Tab.2).

Tab. 2. Zalecane parametry oświetleniowe dla klas CE [3]

Klasa	Poziome natężenie oświetlenia	
	E_{sr} [lx] (wartość najniższa)	U_o (wartość najniższa)
CE0	50	0,4
CE1	30	
CE2	20	
CE3	15	
CE4	10	
CE5	7,5	

Powyższe zalecenia wynikają z odległości widzenia która jest mniejsza niż 60m i należy uwzględnić więcej pozycji obserwacji. Przy doborze klasy oświetleniowej konfliktowej należy uwzględnić klasę drogową t.j. np. dla klasy drogowej ME1, powinno się stosować klasę konfliktową CE0.

Klasy oświetleniowe S i klasy A przewidziane są dla warunków widzenia na drogach dla pieszych, rowerzystów, na pasach postojowych i innych powierzchniach wzdłuż jezdni, jak również na ulicach mieszkaniowych, strefach dla pieszych, parkingach, dziedzińcach szkolnych itd. Dla tych klas wymagania i zalecenia bazują na kryterium natężenia oświetlenia, przy czym dla klas S parametrem jest średnia wartość natężenia oświetlenia na płaszczyźnie poziomej, natomiast dla klas A parametrem jest półsferyczne natężenie oświetlenia. Zalecane parametry oświetleniowe podano w tabeli 3 i 4.

Tab. 3. Zalecane parametry oświetleniowe dla klas S [3]

Klasa	Poziome natężenie oświetlenia	
	E_{sr} [lx] (wartość najniższa)	E_{min} [lx] (wartość najniższa)
S1	15	5
S2	10	3
S3	7,5	1,5
S4	5	1
S5	3	0,6
S6	7,2	0,6
S7	nie wymaga się	nie wymaga się

Tab. 4. Zalecane parametry oświetleniowe dla klas A [3]

Klasa	Półsferyczne natężenie oświetlenia	
	E_{hs} [lx] (wartość najmniejsza, wartość oczekiwana)	U_o (wartość najmniejsza)
A1	5	0,15
A2	3	
A3	2	
A4	1,5	
A5	1	
A6	nie wymaga się	nie wymaga się

4. WNIOSKI

Ważnym elementem nowoczesnego projektu oświetlenia ulicznego jest ekologia i ochrona środowiska. Głównym czynnikiem ochrony środowiska jest oszczędność energii elektrycznej oraz skutki chemicznego zanieczyszczenia środowiska substancjami pochodzącymi z uwalnianych źródeł światła oraz opraw oświetleniowych.

Projekty oświetleniowe winny więc promować źródła światła pozbawione szkodliwych związków chemicznych, a oprawy oświetleniowe winny ograniczać ilość światła rozproszonego i traconej energii elektrycznej która może nawet dochodzić do 30%.

Nieracjonalne gospodarowanie światłem elektrycznym w nocy jest źródłem znacznego wzrostu średniej luminancji nieboskłonu. Powoduje to pogorszenie normalnych warunków dostrzegania słabo oświetlonych, istotnych przeszkód widzianych na tle czarnego nieboskłonu. Światło rozproszone oświetlające nieboskłon utrudnia obserwację nieba, uniemożliwiając obserwatorium astronomicznym jego badanie. Uniknięcie tych skutków to ograniczenie „zanieczyszczeń” światłem zewnętrznym rozproszonym.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Technika Świetlna Poradnik-Informator Tom 2. Praca zbiorowa Komitetu Oświetleniowego Stowarzyszenia Elektryków Polskich Warszawa 1998r.
- [2] Komentarz do raportu technicznego PKN-CEN/TR 13201-1 oraz do normy PN-EN 13201-2. Wydanie I Centralnego Ośrodka Szkolenia i Wydawnictw SEP. Warszawa 2007r.
- [3] PN-EN 13201-2 Oświetlenie dróg – część 2 „Wymagania oświetleniowe”. Warszawa sierpień 2007r.