



PORTFOLIO:

Opracowanie aspektów techniczno – ekonomicznych dotyczących inteligentnych systemów oświetleniowych

Autorzy:

Dr Adam Sędziwy, Artur Basiura, Patryk Imosa

Urząd Marszałkowski Województwa Małopolskiego | Departament Polityki Regionalnej | ul. Wielicka 72 30-552 Kraków
tel.: 12 29 90 675 fax: 12 29 90 726 | www.spin.malopolska.pl | spin@umwm.pl



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Spis treści:

Rozdział I:

Cel naukowy oraz metodologia badań

Rozdział II:

Projekt optymalnego oświetlenia ulicznego

1. Normalizacja oświetlenia dróg – europejska norma EN 13 201 -1, 2, 3, a klasy oświetleniowe dróg
2. Projekt nowoczesnego systemu oświetleniowego oraz wykazanie korzyści z jego wdrożenia - przeprowadzenie odpowiednich obliczeń fotometrycznych (L, Uo, Ul), dokonanie analizy techniczno - ekonomicznej
 - 2.1. Jednostronny system oświetleniowy
 - 2.1.1 Modelowa modernizacja istniejącej infrastruktury
 - 2.1.2 Modelowy projekt od podstaw

Rozdział I:

Cel naukowy oraz metodologia badań

Oświetlenie uliczne, bez wątpienia jest jednym z najistotniejszych elementów kształtujących poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego. Podczas, gdy w dzień natężenie oświetlenia dróg, poza wyjątkowymi sytuacjami jest bardzo wysokie to w nocy warunki widoczności zdecydowanie się pogarszają. W sposób negatywny wpływa to na poziom bezpieczeństwa uczestników ruchu, zarówno tych zmotoryzowanych, jak i pieszych. Sposobem na podniesienie poziomu bezpieczeństwa jest zastosowanie sztucznego oświetlenia. Jego szczególnie intensywny rozwój miał miejsce na przełomie lat 50 i 60 XX wieku. Stosowane wówczas wysokoprężne lampy rtęciowe były jednak lampami bardzo energochłonnymi. Z czasem zastępowane były, obecnymi dzisiaj na większości polskich dróg wysokoprężnymi lampami sodowymi. Rozwój nauki oraz nowoczesnych technologii w dziedzinie oświetlenia doprowadził do wynalezienia opraw oświetleniowych zbudowanych w oparciu o diody elektroluminescencyjne LED (Light Emitting Diodes). Za sprawą dynamicznego rozwoju technologii oświetleniowej – począwszy od zastosowania energooszczędnych systemów LED i zaawansowanych metod sterowania – możliwe staje się projektowanie zgodnych z normami i optymalnych ekonomicznie systemów oświetleniowych.

Wynikiem niniejszej pracy będzie skonstruowanie optymalnego modelu inteligentnego systemu oświetleniowego. Zbudowanie wspomnianego wzorcowego rozwiązania będzie możliwe dzięki zastosowaniu nowoczesnych technologii informatycznych.

W pierwszej części pracy zaprezentowane zostaną standardy zdefiniowane przez Europejski Komitet Normalizacyjny, który wydał zbiór norm EN 13201 – oświetlenie dróg. Norma ta w marcu 2007 roku zastąpiła dotychczas obowiązującą w Polsce normę PN-76/E-02032 Oświetlenie dróg publicznych. Na podstawie danych zawartych w przedmiotowej

normie opracowane zostanie zestawienie klas oświetleniowych dróg, oraz szczegółowo opisane zostaną parametry, mające decydujący wpływ na to do której klasy oświetleniowej dana droga przynależy w danej porze dnia. Istotnym jest fakt, iż dana droga w ciągu doby może należeć do różnych klas oświetleniowych. Klasa oświetleniowa zależy bowiem nie tylko od układu geometrycznego infrastruktury ulicznej, czy też od rodzaju użytkowników ale także od natężenia ruchu, który w ciągu doby jest parametrem zmiennym. Zmiana tego parametru może wpłynąć na zmianę wymogów dotyczących oświetlenia tej samej drogi w innym czasie.

W drugiej części pracy, na podstawie opracowanego w pierwszej jej części zestawienia - wybrane ulice Miasta Krakowa zostaną, na podstawie swoich parametrów, przyporządkowane do odpowiednich klas oświetleniowych. Planuje się zebranie rzeczywistych danych o rozmieszczeniu punktów oświetlenia ulicznego na wskazanym obszarze Miasta Krakowa. Uzupełnieniem danych usytuowania punktów świetlnych w całości infrastruktury komunikacyjnej będą dane dotyczące ich aktualnego poboru energii elektrycznej, a co za tym idzie o generowanych przez nie kosztach. Na podstawie rzeczywistych danych zaprojektowany zostanie modelowy odcinek systemu oświetlenia ulicznego.

Zestawienie ze sobą danych o rozmieszczeniu oraz poborze energii przez punkty oświetleniowe pozwoli, za pomocą wytworzonych narzędzi informatycznych, na opracowanie wzorcowego rozwiązania dla inteligentnego systemu oświetleniowego. Założeniem pierwotnym projektu jest modernizacja, czyli wykorzystanie obecnej infrastruktury energetyczno – oświetleniowej, a nie jej budowa od podstaw. Powoduje to pewne ograniczenia w możliwości rozmieszczenia nowych lamp na ulicy, wysokości na jakiej zostaną one zamontowane, oraz decyzji pod jakim kątem zainstalowana zostanie nowa oprawa oświetleniowa. Zaprezentowany zostanie jednak również wariant projektu zakładający wymianę aktualnej infrastruktury oświetleniowej. Zadaniem projektowym będzie dokonanie obliczeń fotometrycznych, na podstawie których dobrane zostaną najbardziej

optymalne oprawy oświetlenia w technologii LED, oferowane przez wiodących producentów systemów oświetleniowych.

W tej części pracy zaprezentowane zostanie również zestawienie obliczeń fotometrycznych, które będą stanowiły podstawę do określenia najkorzystniejszego wariantu. Zestawienie to będzie miało charakter macierzy wielowymiarowej. Ilość wymiarów macierzy uzależniona będzie od ilości klas dróg oraz ilości opraw oświetleniowych rozważanych do zastosowania na danej ulicy w procesie projektowania. Nadrzędnym celem projektu będzie uzyskanie najbardziej optymalnego rozwiązania zarówno, jeśli chodzi o poziom zużycia energii elektrycznej jak i o zapewnienie maksymalnego poziomu bezpieczeństwa wszystkim użytkownikom danej drogi.

Druga część pracy, stanowiąca podstawowy jej element dostarczy dane o ilości zużywanej energii przez zaproponowane oprawy oświetleniowe, w zależności od klasy oświetleniowej drogi. Kolejnym krokiem do określenia najbardziej optymalnego rozwiązania systemu oświetlenia będzie eksperckie określenie wag dla danej klasy oświetleniowej drogi. Ustalone wagi pozwolą na precyzyjne określenie zużycia energii elektrycznej danego rozwiązania oraz wybór najodpowiedniejszego. Ostateczna decyzja odnośnie rozwiązania, które powinno zostać wdrożone będzie jednak zależała nie tylko od ustalonego w pierwszej kolejności spełnienia wymogów oświetleniowych przez daną oprawę, czy też określonego w dalszej kolejności zużycia przez nią energii.

Na wybór optymalnego rozwiązania w sposób znaczący wpłyną również koszty wdrożenia danego rozwiązania. Może się bowiem okazać, iż rozwiązania dające teoretycznie największe oszczędności na zużyciu energii, w stosunku do obecnie stosowanych wysokoprężnych lamp sodowych będzie nieopłacalne ze względu na koszty jego wdrożenia. W tej części pracy zestawione zostaną w formie macierzy wielowymiarowej koszty zastosowania poszczególnych rozwiązań oraz oszczędności jakie dzięki ich zastosowaniu możliwe będą do wypracowania. Policzone zostaną podstawowe wskaźniki ekonomiczne, bez analizy których nie będzie możliwe podjęcie w pełni racjonalnej decyzji.

Rozdział II

Projekt optymalnego oświetlenia ulicznego

2.1 Normalizacja oświetlenia dróg – europejska norma EN 13 201

Drogi są jednym z najistotniejszych miejsc, gdzie wykorzystywana jest technika sztucznego oświetlenia zewnętrznego. Zastosowanie odpowiedniego sprzętu oświetleniowego, czyli dobór opraw oświetleniowych o najlepszych źródłach światła, o wysokiej sprawności oraz o modelowym rozsyłe promieni światła to nie tylko zapewnienie użytkownikom wygody i komfortu przemieszczania się w porach zmierzchu ale przede wszystkim zapewnieniem im większego bezpieczeństwa. Optymalny system oświetlenia ulicznego powinien zapewniać maksymalną rozpoznawalność wszelkich przeszkód, na jakie można napotkać na drogach. Bezwzględnie należy pamiętać, iż użytkownicy dróg w nocy to nie tylko prowadzący pojazdy silnikowe, czy prowadzący pojazdy wolno jeżdżące, to także tzw. niechronieni użytkownicy, poruszający się na rowerach lub przemieszczający się pieszo.

Ostatnia dekada to okres coraz większej świadomości potrzeby odpowiedniego oświetlenia dróg publicznych – z jednej strony, z drugiej świadomość konieczności ograniczania wysokiego, a co gorsze wciąż rosnącego poziomu zużycia energii. Zestawienie ze sobą dwóch wspomnianych czynników wymusiło dynamiczny rozwój nauki i nowoczesnych technologii w zakresie techniki oświetleniowej. Równolegle z rozwojem nauki i technologii w tym obszarze rozwinęła się normalizacja mająca na celu ujednoczenie zasad oświetlenia dróg publicznych we wszystkich krajach należących do Unii Europejskiej.

Europejski Komitet Normalizacyjny (CEN) opracował zbiór norm EN 13 201 – Oświetlenie dróg. Normy te szczegółowo opisują jakie należy zastosować oświetlenie na danym typie drogi w zależności od spełnienia szeregu kryteriów. Polska w momencie przystąpienia do struktur Unii Europejskiej zobowiązała się do stosowania przepisów

zawartych w tym dokumencie. Kluczowym argumentem za stosowaniem zapisów norm opracowanych przez CEN jest koncepcja efektywności energetycznej. Kraje Unii opracowały wspólny program oszczędności energetycznych. Jednym z punktów mających się przyczynić do osiągnięcia celu jest projektowanie i wdrażanie optymalnych systemów oświetlenia ulicznego. Optymalny system oświetleniowy oznacza system zaprojektowany z uwzględnieniem aspektów środowiskowych czyli skonstruowany, między innymi w oparciu o normy EN 13 201.

Zbiór norm EN 13 201 – Oświetlenie dróg składa się z 4 zasadniczych części:

1. CEN/TR 13 201-1 – Oświetlenie dróg – część 1: Wybór klas oświetleniowych.

Mając na względzie, iż poprawnie zaprojektowany system oświetlenia ulicznego to taki system, który zapewnia bezpieczeństwo oraz wygodę w przemieszczaniu się wszystkim użytkownikom dróg, projektant nie może pominąć żadnej z grupy użytkowników. Obszar jaki musi zostać oświetlony to jezdnia, chodniki, ścieżki rowerowe, skrzyżowania, a niekiedy wszystkie te elementy jednocześnie - w miejscach przecinania się ich nawzajem. Projektant systemu oświetlenia nie może również zapomnieć o kosztach instalacji zaprojektowanego systemu. W osiągnięciu celu jakim jest zaprojektowanie optymalnego rozwiązania pomóc ma omawiana norma. W jej pierwszej części szczegółowo i obszernie opisana została procedura doboru odpowiedniej klasy oświetleniowej do danej sytuacji geometryczno - przestrzennej.

2. CEN/TR 13 201-2 – Oświetlenie dróg – część 2: Wymagania oświetleniowe.

Ta część normy ma za zadanie odpowiedzieć na pytania dotyczące danej klasy oświetleniowej. Wymagania te zależeć będą od geometrii oraz usytuowania przestrzennego danej sytuacji drogowej.

3. CEN/TR 13 201-2 – Oświetlenie dróg – część 3: Obliczenia oświetleniowe.

Na podstawie wskazówek zawartych w tej części normy projektant dokonuje odpowiednich obliczeń fotometrycznych wskazujących na parametry bryły fotometrycznej oprawy oświetleniowej zastosowanej w projekcie.

4. CEN/TR 13 201-2 – Oświetlenie dróg – część 4: Metody pomiarów parametrów oświetlenia.

Ostatnia część normy nie służy zasadniczo do projektowania systemu oświetlenia ulicznego. Zawarte w niej wskazówki dotyczą kontrolowania już funkcjonujących systemów oświetleniowych.

Procedura określenia klas oświetlenia ulicznego

Ze względu na fakt, iż wymagania oświetleniowe dróg różnią się od siebie w zależności od geometrii przestrzennej rozważanej do oświetlenia powierzchni, od natężenia ruchu w poszczególnych okresach jak i od wielu innych czynników, pierwszym z zadań projektującego system oświetleniowy jest ustalenie jaką klasę oświetleniową powinien na danym obszarze zastosować. Procedura ta składa się z kilku etapów.

1. Zdefiniowanie obszaru ruchu publicznego do oświetlenia

Etap ten poprawnie przeprowadzić pomoże zaprezentowany w sposób graficzny na Schemacie 1 graf. Prezentuje on 12 wyodrębnionych sytuacji drogowych. Są to sytuacje oznaczane symbolami A1, A1, A3, B1, B2, C1, D1, D2, D3, D4, E1, E2. Wybór odpowiedniej sytuacji oświetleniowej ustala się w czterech krokach.

Pierwszym krokiem jaki należy wykonać jest zdefiniowanie prędkości z jaką po danej drodze poruszają się średnio jej główni użytkownicy. Zgodnie z zapisami normy wyodrębnione zostały cztery podgrupy w tym zakresie: powyżej 60 km/h, pomiędzy 30, a 60 km/h, pomiędzy 5, a 30 km/h oraz poniżej 5 km/h – średnia prędkość z jaką przemieszcza się pieszy.

Drugim krokiem jest sprecyzowanie kto jest głównym użytkownikiem rozważanej do oświetlenia powierzchni. Wyróżnić tutaj można pojazdy silnikowe z wyłączeniem pojazdów poruszających się z małymi prędkościami, wolno poruszające się pojazdy, rowerzystów, pieszych.

W trzeciej kolejności należy wskazać jacy są inni, dopuszczeni na danym obszarze użytkownicy. Wyboru i wskazania należy dokonać spośród użytkowników wymienionych powyżej.

Czwartym krokiem jest wyszczególnienie czy są użytkownicy, którzy zostali wykluczeni z możliwości korzystania z danego obszaru drogi publicznej.

Przejście przez 4 wyżej opisane kroki pozwoli projektantowi ustalić z jaką sytuacją oświetleniową ma styczność.

2. Szczegółowe zdefiniowanie obszaru do oświetlenia – ustalenie parametrów drogi w trzech głównych kategoriach:

➤ Obszar – geometria drogowa,

Czy występuje separator pomiędzy jezdniami – *TAK / NIE*

Jaki występuje rodzaj skrzyżowań – *wielopoziomowe / jednopoziomowe*

Odległość pomiędzy skrzyżowaniami wielopoziomowymi – $> 3 \text{ km} / \leq 3 \text{ km}$

Gęstość skrzyżowań jednopoziomowych – $< 3 \text{ szt./km} / \geq 3 \text{ szt./km}$

Przecięcia się kierunków lub rodzajów ruchu – *TAK / NIE*

Infrastruktura geometryczna spowalniająca ruch – *TAK / NIE*

➤ Specyfika ruchu drogowego

Jakie jest średnie dobowe natężenie ruchu pojazdów – $< 4 \text{ 000 szt./dobę}$

$4 \text{ 000} - 7 \text{ 000 szt./dobę}$

$7 \text{ 000} - 15 \text{ 000 szt./dobę}$

$15 \text{ 000} - 25 \text{ 000 szt./dobę}$

$25 \text{ 000} - 40 \text{ 000 szt./dobę}$

$> 40 \text{ 000 szt./dobę}$

Jakie jest natężenie ruchu rowerowego – *niskie / wysokie*

Jakie jest natężenie ruchu pieszego – *niskie / wysokie*

Jaki jest poziom problemów z nawigacją - *normalny / wysoki*

Czy na danym obszarze występują zaparkowane pojazdy – *TAK / NIE*

Czy jest wymagana możliwość rozpoznawania twarzy – *wymagana / niewymagana*

Jakie jest prawdopodobieństwo zdarzenia kryminalnego – *normalne / wysokie*

➤ Środowisko i czynniki zewnętrzne wpływające na ruch drogowy

Jaka jest złożoność pola widzenia – *normalna / wysoka*

Jaki jest rodzaj oświetlenia pochodzącego z otoczenia – *wiejski / miejski / z centrum miasta*

Jaka jest przeważająca pogoda – *sucha / wilgotna*

3. Ustalenie zakresu klas oświetleniowych dla danej sytuacji oświetleniowej

5. Po określeniu sytuacji oświetleniowej w etapie pierwszym oraz po ustaleniu parametrów szczegółowych w etapie drugim, konieczne jest skorzystanie z tabel zawartych załączniku A do normy „CEN/TR 13 201-1 – Oświetlenie dróg – część 1: Wybór klas oświetleniowych” w celu rozstrzygnięcia który zestaw klas oświetleniowych będzie najodpowiedniejszy dla danej sytuacji drogowej. Rozstrzygnięcie to dokona się na podstawie tabeli oznaczonej liczbą parzystą, odpowiadającej danej sytuacji oświetleniowej.

4. Wybranie klasy oświetleniowej właściwej dla danego obszaru drogowego.

W ostatnim etapie projektant wskazuje konkretną klasę oświetleniową dla danego obszaru drogowego. Należy zwrócić uwagę, iż Norma wyróżnia trzy podstawowe grupy klas oświetleniowych przypisane poszczególnym sytuacjom oświetleniowym zdefiniowanym w pierwszym etapie określania klasy oświetleniowej:

ME – to grupa klas oświetleniowych stosowanych na drogach, na których odbywa się ruch pojazdów silnikowych, a średnia prędkość z jaką się przemieszczają należy do średnich i wysokich. Wymagania oświetleniowe dla tej grupy są dostosowane do potrzeb kierowców poruszających się po drogach takich jak autostrady, drogi szybkiego ruchu, czy też inne, główne ciągi komunikacyjne .

CE – to grupa klas oświetleniowych stosowanych podobnie jak klasy z grupy ME na drogach przeznaczonych głównie dla ruchu pojazdów silnikowych, ale w miejscach tzw. stref konfliktowych. Przez strefę konfliktową rozumieć należy skrzyżowania – przecięcia się zarówno kierunków ruchu tego samego typu uczestników ruchu jak i przecięcia się kierunków ruchu uczestników różnego typu (np. pieszych z pojazdami silnikowymi). Klasy te stosuje się również w miejscach, gdzie pojazdy silnikowe ustawiają się przed skrzyżowaniami, na drogach istotnych – ulicach handlowych. Ponadto klasy te mogą odnosić się również do obszarów ruchu rowerowego i pieszego.

S – to grupa klas oświetleniowych związanych z obszarami ruchu typowo przeznaczonymi dla rowerzystów i pieszych. Stosuje się je również na pasach postojowych dla pojazdów silnikowych, na ulicach osiedlowych czy też obszarach drogowych biegnących wzdłuż dróg szybkiego ruchu, ale pozostających w stosunku do nich w rozdzielaniu.

Ponad trzy podstawowe, wymienione powyżej grupy klas oświetleniowych wymienić należy jeszcze grupy klas:

EV – grupa klas oświetleniowych stanowiąca uzupełnienie dla grupy klas CE. Klasy oświetleniowe z grupy EV stosowane są w miejscach, gdzie muszą być widoczne powierzchnie pionowe. Chodzi tutaj przede wszystkim o obszary skrzyżowań wielopoziomowych.

ES – grupa klas oświetleniowych stanowiąca uzupełnienie dla grupy S. Klasy z grupy ES stosowane są w sytuacjach drogowych takich jak w przypadku klas S, ale w miejscach o podniesionym poziomie ryzyka wystąpienia zdarzenia kryminalnego. Innymi słowy w miejscach gdzie stosowany jest monitoring i niezbędna jest możliwość twarży. Innym przypadkiem na stosowanie klas oświetleniowych z tej grupy jest obszar dróg o większym niż normalnie zagrożeniu wypadkiem.

A – grupa klas oświetleniowych stanowiących alternatywę dla klas grupy S.

MEW – grupa klas oświetleniowych będących odpowiednikiem grupy klas ME, z tym zastrzeżeniem, iż klasy te stosowane są w przypadku obszarów ruchu, w których pogoda wilgotna uznana została za pogodę dominującą.

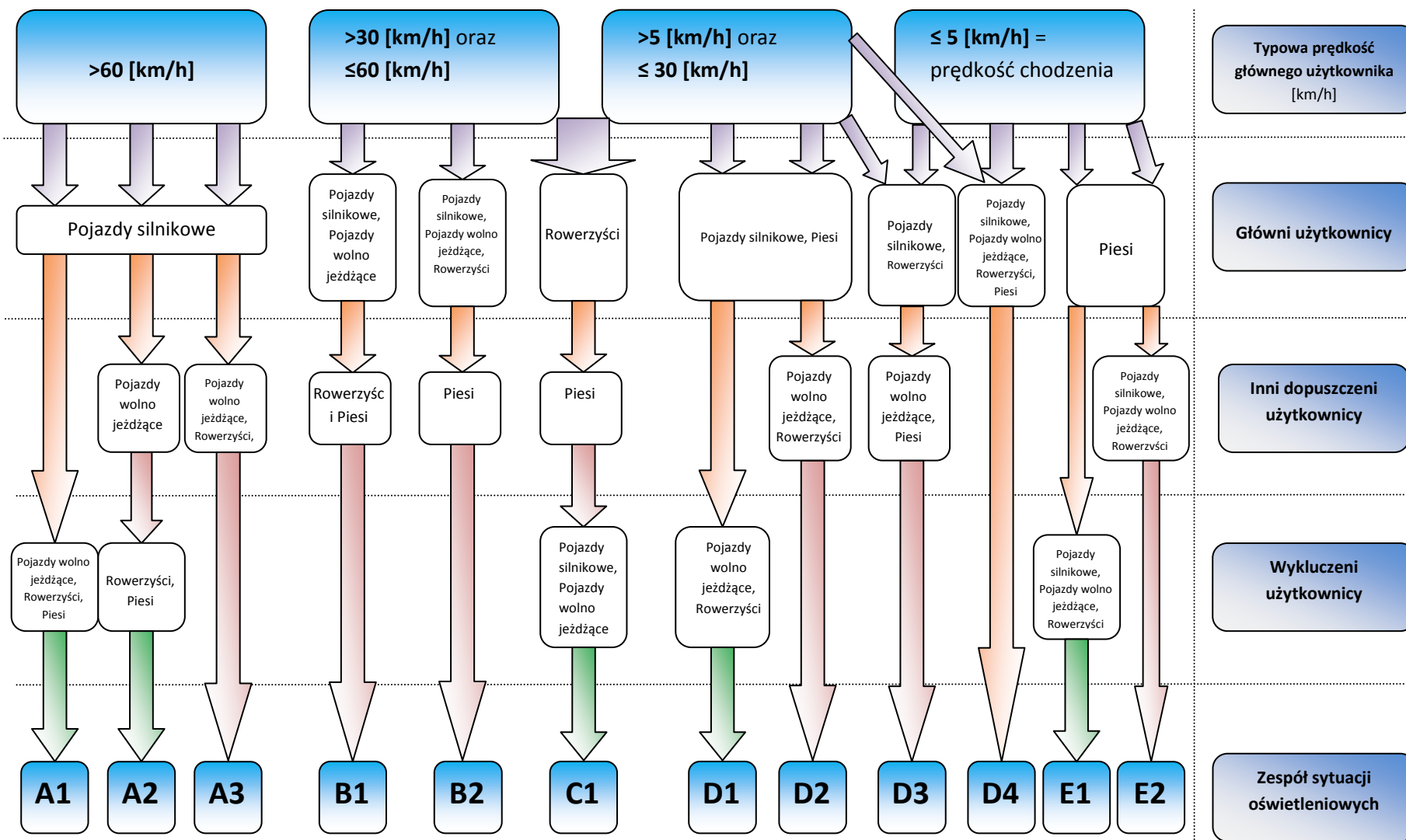
Europejski Komitet Normalizacyjny, w celu ułatwia projektantom poruszania się pomiędzy różnymi grupami klas oświetleniowych zaproponował system porównywania poszczególnych grup. System ten zaprezentowany został w poniższych tabelach.

Tabela 1 Porównywalne grupy klas oświetleniowych ME - MEW - CE - S

Klasy ME	-	ME1	ME2	ME3	ME4	ME5	ME6	-	-
Klasy MEW	-	MEW1	MEW2	MEW3	MEW4	MEW5	-	-	-
Klasy CE	CE0	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	-	-	-
Klasy S	-	-	-	S1	S2	S3	S4	S5	S6

Tabela 2 Alternatywna grupa klas oświetleniowych S - A

Klasa S	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Klasa A		A1	A2	A3	A4	A5



Schemat 1 Zestawienie sytuacji oświetleniowych

Dla każdej sytuacji oświetleniowej norma przewiduje szczegółowe zasady ustalania obszaru koniecznego do oświetlenia. Zdecydowana większość dróg przeznaczonych dla pojazdów silnikowych (dla tzw. ruchu zmotoryzowanego mieści się w sytuacjach oświetleniowych A1, A2, A3, B1 i B2.

Z zaprezentowanego powyżej schematu wynika, iż zbiór sytuacji oświetleniowych A1 to drogi z wydzielonymi użytkowo od innych elementów infrastruktury komunikacyjnej jezdniami. Jezdnie te przeznaczone są tylko i wyłącznie dla pojazdów silnikowych. Sytuacja oświetleniowa opisana jako A2 dopuszcza, a właściwie nie wyklucza z użytkowania drogi pojazdów wolno poruszających się, a sytuacja A3 również rowerzystów.

Jeśli chodzi o wyznaczenie obszaru koniecznego do oświetlenia projektujący system oświetleniowy na drogach, które zakwalifikowano do sytuacji oświetleniowych A kierować powinien się następującymi wskazówkami:

1. W przypadku, gdy przy rozważanej drodze nie ma przyległego pasa awaryjnego, chodników, czy też ścieżek rowerowych jako powierzchnię do oświetlenia rozumieć należy szerokość jezdni liczoną jako odległość pomiędzy jej zewnętrznymi krawędziami.
2. Drogę dwujezdniową traktować należy jako jedną całość. Przez to stwierdzenie rozumieć należy, iż oświetlenie musi być tak zaprojektowane, by oświetlić obie jezdnie wraz z rozdzielającym je separatorem. Należy zaznaczyć, iż norma dopuszcza sytuację, gdy rozdzielający jezdnie separator jest np. szerokim pasem zieleni. Jezdnie takie można wówczas traktować jako dwie niezależne drogi.
3. Gdy do jezdni przylega pas awaryjny lub też pas postojowy przewiduje się dwa alternatywne podejścia do projektu systemu oświetleniowego:
 - a. Potraktowanie zarówno jezdni jak i pasa awaryjnego jako jednej, spójnej całości. Obszarem do oświetlenia jest wówczas szerokość jezdni wraz z szerokością pasa lub pasów awaryjnych, licząc od zewnętrznych krawędzi.
 - b. Potraktowanie jezdni oraz pasa awaryjnego jako dwa niezależne obszary. Obszarem do oświetlenia w przypadku jezdni jest wówczas tylko szerokość pasów ruchu, dla pasa awaryjnego obszarem do oświetlenia jest jego szerokość.

4. Gdy do jezdni przylega chodnik, bądź też ścieżka dla rowerów również dopuszczone są dwa alternatywne podejścia:
- Potraktowanie jako obszar do oświetlenia tylko i wyłącznie jezdni. Szerokością obszaru do oświetlenia będzie wówczas tylko szerokość jezdni liczona pomiędzy dwoma krawężnikami.
 - Potraktowanie jezdni oraz chodnika lub ścieżki dla rowerów jako niezależne obszary do oświetlenia. Obszarem jezdni jest wówczas jej szerokość pomiędzy dwoma krawężnikami. Szerokością chodnika i/lub ścieżki rowerowej jest ich łączna, całkowita szerokość, ewentualnie poszerzona o 2 metry po każdej stronie w przypadku, gdy są one oddalone od jezdni.

Stosując powyższe wytyczne oraz wykorzystując zamieszczone poniżej tabele, projektant jest w stanie precyzyjnie określić jaką klasę oświetleniową powinien przypisać do danej drogi. Do każdej sytuacji oświetleniowej przypisane są dwie tabele. Z pierwszej po ustaleniu dla jakiej infrastruktury drogowej dobierana jest klasa oświetleniowa projektant odczyta jaki jest zalecany zakres określony przez trzy klasy oświetleniowe. Klasy te będą się różniły w zależności od przeważającego typu pogody, występowania separatora pomiędzy jezdniami, ilością skrzyżowań jedno lub wielopoziomowych oraz parametrem zmiennym w czasie – średnim dobowym ruchem głównych użytkowników.

A.1 Lighting situations — set A1

Table A.1 — Recommended range of lighting classes

Main weather type	Separation of carriageways	Type of junctions		Traffic flow vehicles per day									
		Interchanges spacing, distance between bridges km	Intersections density intersections/km	< 15 000			15 000 to 25 000			> 25 000			
				←	o	→	←	o	→	←	o	→	
Dry	Yes	> 3		ME5	ME4a	ME3a	ME4a	ME3a	ME2	ME4a	ME3a	ME2	
		≤ 3		ME4a	ME3a	ME2	ME4a	ME3a	ME2	ME3a	ME2	ME1	
				< 3	ME5	ME4a	ME3a	ME5	ME4a	ME3a	ME4a	ME3a	ME2
				≥ 3	ME4a	ME4a	ME3a	ME4a	ME3a	ME2	ME3a	ME2	ME1
	No	> 3		ME4a	ME3a	ME2	ME3a	ME2	ME1	ME3a	ME2	ME1	
		≤ 3		ME3a	ME2	ME1	ME3a	ME2	ME1	ME2	ME2	ME1	
				< 3	ME4a	ME4a	ME3a	ME4a	ME3a	ME2	ME3a	ME2	ME1
				≥ 3	ME4a	ME3a	ME2	ME3a	ME2	ME1	ME2	ME2	ME1
Wet			Choice as above, but select MEW classes										

Na podstawie drugiej tabeli, przypisanej do danej sytuacji oświetleniowej, projektant po zdefiniowaniu parametrów takich jak występowanie skrzyżowań, złożoność pola widzenia,

trudności z nawigowaniem oraz poziom oświetlenia zewnętrznego określi konkretną klasę oświetleniową. W rozumieniu dosłownym klasę tę spośród trzech ustalonych na podstawie pierwszej tabeli „wskaże” strzałka skierowana w prawo, w lewo lub 0.

A.1 Lighting situations — set A1

Table A.2 — Recommended selection from range

Conflict area	Complexity of visual field	Difficulty of navigational task	Ambient luminance		
			low	medium	high
No	Normal	Normal	←	←	0
		Higher than normal	0	0	→
	High	Normal	←	0	0
		Higher than normal	0	→	→
Yes			→ ^a		

^a For conflict areas, luminance is the recommended design criterion. However, where viewing distances are short and other factors prevent the use of luminance criteria, illuminance may be used. Comparable CE classes to recommended ME classes can be found in Table 3.

Stosując tę samą metodologię jaka została opisana dla sytuacji oświetleniowej A1 dla sytuacji zakwalifikowanych do sytuacji oświetleniowych pod symbolem A2, ale korzystając z tabel dla nich przeznaczonych można wyznaczyć odpowiednią klasie oświetleniową. Tabele dla sytuacji A2 zaprezentowane zostały poniżej.

A.2 Lighting situations — set A2

Table A.3 — Recommended range of lighting classes

Main weather type	Intersection density Intersections/km	Traffic flow vehicles					
		< 7 000			≥ 7 000		
		←	0	→	←	0	→
Dry	< 3	ME5	ME5	ME4a	ME4a	ME3a	ME3a
	≥ 3	ME5	ME4a	ME3a	ME4a	ME3a	ME2
Wet		Choice as above, but select MEW classes.					

A.2 Lighting situations — set A2

Table A.4 — Recommended selection from range

Conflict area	Complexity of visual field	Difficulty of navigational task	Ambient luminance		
			Low	Medium	High
No	Normal	Normal	←	←	0
		Higher than normal	0	0	→
	High	Normal	←	0	0
		Higher than normal	0	→	→
Yes			→ ^a		

^a For conflict areas, luminance is the recommended design criterion. However, where viewing distances are short and other factors prevent the use of luminance criteria, illuminance may be used. Comparable CE classes to recommended ME classes can be found in Table 3.

Dla sytuacji oświetleniowych opisanych jako A3 stworzone zostały niezależne tabele, wskazujące jaka klasa oświetleniowa powinna zostać zastosowana. Tabele zaprezentowano poniżej.

A.3 Lighting situations — set A3

Table A.5 — Recommended range of lighting classes

Main weather type	Separation of carriageways	Intersection density Intersections/km	Traffic flow vehicles											
			< 7 000			≥ 7 000 and < 15 000			≥ 15 000 and < 25 000			≥ 25 000		
			←	o	→	←	o	→	←	o	→	←	o	→
Dry	Yes	< 3	ME5	ME5	ME4a	ME5	ME5	ME4a	ME5	ME4a	ME3b	ME4a	ME3b	ME3b
		≥ 3	ME5	ME4a	ME3b	ME5	ME4a	ME3b	ME4a	ME3b	ME2	ME3b	ME2	ME2
	No	< 3	ME5	ME4a	ME3b	ME5	ME4a	ME3b	ME4a	ME3b	ME2	ME3b	ME2	ME2
		≥ 3	ME4a	ME3b	ME3b	ME4a	ME3b	ME2	ME3b	ME2	ME2	ME3b	ME2	ME1
Wet		Choice as above, but select MEW classes												

A.3 Lighting situations — set A3

Table A.6 — Recommended selection from range

Conflict area	Complexity of visual field	Parked vehicles	Difficulty of navigational task	Ambient luminance		
				Low	Medium	High
No	Normal	Not present	Normal	←	←	o
			Higher than normal	o	o	→
		Present	Normal	←	o	→
			Higher than normal	o	→	→
	High	Not present	Normal	←	o	o
			Higher than normal	o	→	→
		Present	Normal	o	o	→
			Higher than normal	→	→	→
Yes				→ ^a		

^a For conflict areas, luminance is the recommended design criterion. However, where viewing distances are short and other factors prevent the use of luminance criteria, illuminance may be used. Comparable CE classes to recommended ME classes can be found in Table 3.

Zespół sytuacji oświetleniowych B1 i B2 to sytuacje dotyczące oświetlenia na drogach przeważnie pozamiejskich, które jednocześnie uczęszczane mogą być przez pojazdy silnikowe, wolno poruszające się pojazdy jak i rowerzystów i pieszych. Na drogach należących do sytuacji B1 i B2 nie wyklucza się z użytkowania przez którykolwiek rodzaj użytkowników.

Zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie, projektując system oświetleniowy dla sytuacji zakwalifikowanych do B1 lub B2 projektant powinien rozważyć: czy wzdłuż jezdni występują przyległe do niej chodniki lub też ścieżki rowerowe. Jeśli nie występują, obszar

podlegający oświetleniu należy traktować jako szerokość jezdni wyznaczoną pomiędzy krawężnikami. Szerokość przylegającego pasa wzdłuż jezdni traktować należy jako równą szerokości pasa ruchu na danej drodze. Założenie to jest niezbędne do skorelowania odpowiedniego współczynnika SR – surround ratio.

W przypadku, gdy wzdłuż jezdni występują chodniki lub ścieżki rowerowe w kwestii oświetlenia rozpatrywać należy je osobno w stosunku do oświetlenia jezdni. Obszarem jezdni koniecznym do oświetlenia jest obszar wyznaczony szerokością jezdni, mierzoną pomiędzy jej krawężnikami. Obszarem chodników lub ścieżek rowerowych, za które uznane może również zostać pobocze jest cała ich szerokość, ewentualnie poszerzona o 2 metry.

W celu wyznaczenia odpowiedniej klasy oświetleniowej skorzystać należy z zamieszczonych poniżej tabel, w sposób analogiczny do wyznaczania klas w sytuacjach z grup A.

A.4 Lighting situations — set B1

Table A.7 — Recommended range of lighting classes

Main weather type	Geometric measures for traffic calming	Intersection density Intersections/km	Difficulty of navigational task	Traffic flow vehicles					
				< 7 000			≥ 7 000		
				←	o	→	←	o	→
Dry	No	< 3	Normal	ME6	ME5	ME4b	ME5	ME4b	ME3c
			Higher than normal	ME5	ME4b	ME3c	ME5	ME4b	ME3c
		≥ 3	Normal	ME5	ME4b	ME3c	ME4b	ME4b	ME3c
			Higher than normal	ME4b	ME3c	ME2	ME3c	ME3c	ME2
	Yes			Choice as above, but select –1 only at area of traffic calming ^a					
Wet				Choice as above but select MEW classes					

^a When the use of luminance criteria is impractical, illuminance may be used. Comparable CE classes to recommended ME classes can be found in Table 3.

A.4 Lighting situations — set B1

Table A.8 — Recommended selection from range

Conflict area	Complexity of visual field	Parked vehicles	Ambient luminance					
			Low		Medium		High	
			Traffic flow cyclists		Traffic flow cyclists		Traffic flow cyclists	
			Normal	High	Normal	High	Normal	High
No	Normal	Not present	←	o	←	o	o	o
		Present	o	→	o	→	→	→
	High	Not present	o	o	o	o	o	o
		Present	o	o	→	→	→	→
Yes				→ ^a				

^a For conflict areas, luminance is the recommended design criterion. However, where viewing distances are short and other factors prevent the use of luminance criteria, illuminance may be used. Comparable CE classes to recommended ME classes can be found in Table 3.

Tabele powyżej wykorzystać należy dla sytuacji sklasyfikowanych jako B1, natomiast dla sytuacji B2 tabele zamieszczone zostały poniżej.

A.5 Lighting situations — set B2

Table A.9 — Recommended range of lighting classes

Main weather type	Geometric measures for traffic calming	Intersection density Intersections/km	Difficulty of navigational task	Traffic flow vehicles					
				< 7 000			≥ 7 000		
				←	o	→	←	o	→
Dry	No	< 3	Normal	ME5	ME5	ME4b	ME4b	ME4b	ME3c
			Higher than normal	ME4b	ME4b	ME3c	ME4b	ME4b	ME3c
		≥ 3	Normal	ME4b	ME3c	ME2	ME3c	ME3c	ME2
			Higher than normal	ME3c	ME3c	ME2	ME3c	ME3c	ME2
Yes	Choice as above, but select -1 only at area of traffic calming ^a								
Wet	Choice as above but select MEW classes								

^a When the use of luminance criteria is impractical, illuminance may be used. Comparable CE classes to recommended ME classes can be found in Table 3.

A.5 Lighting situations — set B2

Table A.10 — Recommended selection from range

Conflict area	Complexity of visual field	Parked vehicles	Ambient luminance					
			Low		Medium		High	
			Traffic flow cyclists		Traffic flow cyclists		Traffic flow cyclists	
			Normal	High	Normal	High	Normal	High
No	Normal	Not present	←	o	←	o	o	o
		Present	o	→	o	→	→	→
	High	Not present	o	o	o	o	o	o
		Present	o	o	→	→	→	→
Yes	→ ^a							

^a For conflict areas, luminance is the recommended design criterion. However, where viewing distances are short and other factors prevent the use of luminance criteria, illuminance may be used. Comparable CE classes to recommended ME classes can be found in Table 3.

Kolejną grupą sytuacji oświetleniowych jest grupa C1, należą do niej generalnie ścieżki rowerowe, ale mogą to również być chodniki, wykluczone z ruchu w tych miejscach są natomiast wszelkiego typu pojazdy silnikowe. Wytyczne przy uzgadnianiu klasy oświetleniowej dla sytuacji z grupy C1 zbieżne są z wytycznymi dla grup oświetleniowych E1 i E2. Całkowitym obszarem do oświetlenia w tej sytuacji jest zdefiniowana szerokość chodnika lub ścieżki rowerowej. Obszar oświetlenia dla chodnika lub ścieżki rowerowej położonych z dala od jezdni poszerzyć można o 2 metry ponad zmierzone ich szerokości. By wyznaczyć odpowiednią klasę oświetleniową skorzystać należy z odpowiednich tabel – zamieszczonych poniżej.

A.6 Lighting situations — set C1

Table A.11 — Recommended lighting classes

Geometric measures for traffic calming	Crime risk	Facial recognition	Traffic flow cyclists					
			Normal			High		
			←	0	→	←	0	→
No	Normal	Unnecessary	S6	S5	S4	S5	S4	S3
		Necessary	S5	S4	S3	S4	S3	S2
	Higher than normal	S4	S3	S2	S3	S2	S1	
Yes			S3	S2	S1	S3	S2	S1

Alternative A classes of comparable lighting level to recommended S classes can be found in Table 4. Additional ES and EV classes to recommended S classes can be found in Table 5.

A.6 Lighting situations — set C1

Table A.12 Recommended selection from range

Ambient luminance		
Low	Medium	High
←	0	→

W celu wyznaczenia klasy oświetleniowej dla sytuacji z grupy E1 skorzystać należy z tabeli przedstawionej poniżej.

A.9 Lighting situations — set E1

Table A.17 — Recommended lighting classes

Crime risk	Facial recognition	Traffic flow pedestrians					
		Normal			High		
		←	0	→	←	0	→
Normal	Unnecessary	S6	S5	S4 ^a	S5	S4	S3 ^a
	Necessary	S5	S4	S3 ^b	S4	S3	S2 ^b
Higher than normal		S3	S2	S1 ^b	S2	S1	CE2 ^b

^a Alternative A classes of comparable lighting level to recommended S classes can be found in Table 4.
^b Additional ES and EV classes to recommended S and CE classes can be found in Table 5.

A.9 Lighting situations — set E1

Table A.18 — Recommended selection from range

Ambient luminance		
Low	Medium	High
←	0	→

Dla sytuacji z grupy oznaczonej E2 tabelę zaprezentowane zostały poniżej.

A.10 Lighting situations — set E2

Table A.19 — Recommended lighting classes

Crime risk	Facial recognition	Traffic flow pedestrians					
		Normal			High		
		←	0	→	←	0	→
Normal	Unnecessary	S5	S4	S3 ^a	S4	S3	S2 ^a
	Necessary	S3	S2	S1 ^b	S3	S2	S1 ^b
Higher than normal		S2	S1	CE2 ^b	S2	S1	CE2 ^b

^a Alternative A classes of comparable lighting level to recommended S classes can be found in Table 4.
^b Additional ES and EV classes to recommended S and CE classes can be found in Table 5.

A.10 Lighting situations — set E2

Table A.20 — Recommended selection from range

Ambient luminance		
Low	Medium	High
←	0	→

Ostatnią grupą sytuacji oświetleniowych są sytuacje z grupy D1, D2, D3 i D4. Są to sytuacje, które zostały przypisane infrastrukturze komunikacyjnej po której ruch odbywa się bardzo wolno. W ruchu tym mogą brać udział wszyscy możliwi użytkownicy, nikt nie został odgórnie z tej możliwości wykluczony. Przykładem dla zastosowania tych grup sytuacji oświetleniowych mogą być przyjezdniowe strefy parkowania. Wskazania dla projektantów systemów oświetleniowych dla tych sytuacji rekomendują, iż w przypadku gdy do jezdni przylega chodnik, to obszar do oświetlenia ograniczony jest przez fasady otaczających jezdnię budynków, bądź też ogrodzeń odgradzających własność prywatną od publicznej.

Dla przypadku występowania chodnika norma przewiduje dwa, alternatywne podejścia do poprawnego ustalenia obszaru do oświetlenia.

1. Potraktowanie zarówno jezdni jak i chodnika jako jednego wspólnego obszaru. Obszar ten wyznaczony zostanie szerokością jezdni oraz chodnika, a w przypadku występowania pobocza, również jego szerokość zostanie wzięta pod uwagę.
2. Potraktowanie jezdni oraz chodnika jako osobne obszary do oświetlenia. Obszarem jezdni jest wówczas jej szerokość pomiędzy dwoma krawężnikami. Szerokością chodnika i/lub ścieżki rowerowej jest ich łączna, całkowita szerokość, ewentualnie poszerzona o 2 metry.

W celu wyznaczenia odpowiedniej klasy oświetleniowej dla sytuacji D1 lub D2 należy skorzystać z tabel zamieszczonych poniżej.

A.7 Lighting situations — sets D1 and D2

Table A.13 — Recommended lighting classes

Geometric measures for traffic calming	Crime risk	Facial recognition	Difficulty of navigational task	Traffic flow pedestrians					
				Normal			High		
				←	0	→	←	0	→
No	Normal	Unnecessary	Normal	CE5	CE5	CE4	CE5	CE4	CE3
			Higher than normal	CE5	CE4	CE3	CE4	CE3	CE2
		Necessary	Normal	CE4	CE4	CE4	CE4	CE4	CE3
			Higher than normal	CE4	CE4	CE3	CE4	CE3	CE2
	Higher than normal	Normal	CE4	CE4	CE3	CE4	CE3	CE3	
		Higher than normal	CE4	CE3	CE2	CE3	CE2	CE2	
Yes	Choice as above, but select ≤ 4 only at area of traffic calming								

Additional ES and EV classes to recommended CE classes can be found in Table 5

A.7 Lighting situations — sets D1 and D2

Table A.14 Recommended selection from range

Ambient luminance		
Low	Medium	High
←	0	→

W przypadku potrzeby wyznaczenia odpowiedniej klasy oświetleniowej dla sytuacji D3 lub D4 należy skorzystać z tabel zamieszczonych poniżej.

A.8 Lighting situations – sets D3 and D4

Table A.15— Recommended lighting classes

Geometric measures for traffic calming	Parked vehicles	Difficulty of navigational task	Traffic flow pedestrians and cyclists					
			Normal			High		
			←	0	→	←	0	→
No	Not present	Normal	S6	S5	S4	S5	S4	S3
		Higher than normal	S5	S4	S3	S4	S3	S2
	Present	Normal	S5	S4	S3	S4	S3	S2
		Higher than normal	S4	S3	S2	S3	S2	S1
Yes	Choice as above, but select ≤ 4 only at area of traffic calming							

Alternative A classes of comparable lighting level to recommended S classes can be found in Table 4. Additional ES and EV classes to recommended S classes can be found in Table 5.

A.8 Lighting situations – sets D3 and D4

Table A.16 — Recommended selection from range

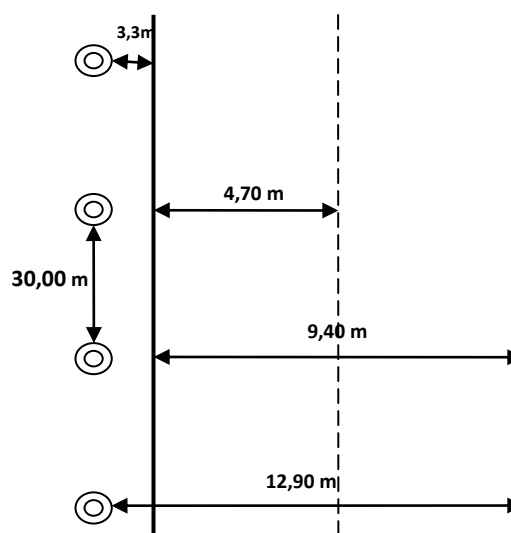
Complexity of visual field	Crime risk	Facial recognition	Ambient luminance		
			Low	Medium	High
Normal	Normal	Unnecessary	←	0	0
		Necessary	←	0	→
	Higher than normal		0	→	→
High	Normal	Unnecessary	0	0	0
		Necessary	0	→	→
	Higher than normal		→	→	→

2. Projekt nowoczesnego systemu oświetleniowego oraz wykazanie korzyści z jego wdrożenia - przeprowadzenie odpowiednich obliczeń fotometrycznych (L, U_o, U_l), dokonanie analizy techniczno - ekonomicznej

2.1. Jednostronny system oświetleniowy

2.1.1 Modelowa modernizacja istniejącej infrastruktury

Pierwszym projektem systemu oświetleniowego przedstawionym w niniejszym opracowaniu będzie projekt modernizacji jednostronnego oświetlenia ulicy jednojezdniowej, dwukierunkowej, po jednym pasie ruchu w każdym kierunku na przykładowym odcinku o długości 1 000 metrów. Na podstawie przeprowadzonej inwentaryzacji aktualnie zainstalowanej infrastruktury oświetleniowej na ulicy Wrocławskiej w Krakowie stwierdzono, iż lampy usytuowane są średnio co 30 metrów, w związku z czym na danym odcinku znajdują się 33 wysokoprężne lampy sodowe o mocy 250 [W] każda. Pomiary słupów oświetleniowych wskazały ich wysokość: 8,60m oraz długość wysięgników, na których zamontowane zostały oprawy: 3,10m. Odległość w jakiej słupy oświetleniowe zostały umieszczone od krawężnika jezdni wynosi 3,30m. Szerokość jezdni wynosi natomiast 9,40 m, co oznacza, iż szerokość 1 pasa ruchu to 4,70m. Zadaniem projektowym będzie zaproponowanie nowoczesnego systemu oświetleniowego, zbudowanego z wykorzystaniem nowoczesnych lamp elektroluminescencyjnych LED. Założeniem pierwotnym jest wykorzystanie obecnych słupów oświetleniowych wraz z wysięgnikami. Oznacza to utrudnienie dla projektanta, nie może on bowiem dowolnie rozstawić punktów świetlnych, musi jednak zaproponować zainstalowanie takich opraw oświetleniowych by spełniały wszystkie założenia normy co do danej klasy oświetleniowej.



Przystępując do projektowania systemu oświetleniowego, czy to od podstaw czy też systemu będącego modernizacją już funkcjonującego oświetlenia pierwszym zadaniem projektanta jest ustalenie klasy oświetleniowej drogi, która ma zostać oświetlona. Zgodnie z procedurą opisaną we wcześniejszej części tego opracowania określenie klasy oświetleniowej drogi składa się z kilku etapów.

1. Zdefiniowanie obszaru ruchu publicznego do oświetlenia

Na podstawie informacji zebranych od organizatora ruchu stwierdzono, iż prędkością z jaką średnio poruszają się główni użytkownicy drogi to przedział od 30 km/h do 60 km/h i są to pojazdy silnikowe oraz pojazdy zdefiniowane jako pojazdy wolno poruszające się (pojazdy ciągnięte przez zwierzęta lub osoby jadące wierzchem, ich prędkość z założenia nie przekracza 40 km/h). Ponadto do ruchu, w ramach badanego odcinka drogi dopuszczeni są rowerzyści (względnie jadący skuterami) oraz piesi. nie zdefiniowano żadnego typu użytkowników wykluczonych. Z opisanych powyżej danych wynika, iż zadany odcinek drogi należy do zespołu sytuacji oświetleniowych zdefiniowanego jako B1.

2. Szczegółowe zdefiniowanie obszaru do oświetlenia - ustalenie głównych parametrów technicznych drogi.

Korzystając z tabel zamieszczonych w pierwszej części normy EN 13 201 i dotyczących sytuacji oświetleniowych B1 określone zostały następujące parametry

- Typ przeważającej pogody zdefiniowany został jako suchy. W strefie klimatycznej, w której znajduje się Polska uznaje się ją bowiem jako główną.
- Zdefiniowano brak środków przestrzenno - geometrycznych stosowanych w celu spowolnienia ruchu
- Gęstość skrzyżowań na tym samym poziomie określona została w ilości mniejszej niż 3 szt. przypadające na dany kilometr
- Dzienna liczba pojazdów przekraczająca dany punkt usytuowany na badanym odcinku drogi wynosi powyżej 7 000 szt. W przypadku drogi jednojezdniowej, dwukierunkowej jest to liczba pojazdów poruszających się w obu kierunkach.

Po zestawieniu ze sobą powyższych danych z tabeli A7 odczytano, iż klasa oświetleniowa badanego odcinka drogi należy do jednej z trzech: ME5, ME4b lub ME3c. W celu precyzyjnego wskazania, która z nich jest odpowiednia dla danej drogi skorzystano z drugiej tabeli zamieszczonej w normie i dotyczącej sytuacji oświetleniowych B1.

Nie zdefiniowano obszarów konfliktowych z innymi rodzajami uczestników ruchu drogowego oraz obszarów krzyżowania się strumieni ruchu pojazdów silnikowych.

- Złożoność obrazu w polu widzenia oceniona została jako normalna, co oznacza iż w polu widzenia użytkownika drogi nie zidentyfikowano ponadprzeciętnej ilości elementów rozpraszających, mylących, niepokojących bądź też irytujących go.
- Zlokalizowano zaparkowane samochody w oświetlanym obszarze
- Poziom oświetlenia zewnętrznego oceniony został jako wysoki, ze względu na znajdujące się w pobliżu bloki mieszkalne oraz reklamy z własnym podświetlaniem
- Poziom natężenia ruchu rowerowego zdefiniowano jako normalny

Strzałka w tabeli A.8 skierowana w prawo wskazuje, iż klasą oświetleniową badanego odcinka drogi jest klasa ME3c.

A.4 Sytuacje oświetleniowe – grupa B1

Tablica A.7 – Zalecany zakres klas oświetlenia

Główny typ pogody	Środki uspokojenia ruchu	Gęstość skrzyżowań jednonożniowych skrzyżowania/km	Trudność kierowania pojazdem	Strumień ruchu pojazdów					
				< 7 000			≥ 7 000		
				←	o	→	←	o	→
Sucho	Nie	< 3	Normalna	ME6	ME5	ME4b	ME5	ME4b	ME3c
			Wyższa niż normalna	ME5	ME4b	ME3c	ME5	ME4b	ME3c
		≥ 3	Normalna	ME5	ME4b	ME3c	ME4b	ME4b	ME3c
			Wyższa niż normalna	ME4b	ME3c	ME2	ME3c	ME3c	ME2
	Tak			Jak wyżej, ale tylko dla powierzchni o uspokojonym ruchu do wyboru „-1” ^a					
Wilgotno				Jak wyżej, ale do wyboru klasy MEW.					
^a Jeśli jako kryterium projektowe nie może być zastosowana luminancja, to może być zastosowane natężenie oświetlenia. Dla zalecanych klas ME porównywalne klasy CE podano w Tabelicy 3.									

A.4 Sytuacje oświetleniowe – grupa B1

Tablica A.8 – Zalecany wybór z zakresu

Strefa konfliktowa	Złożoność pola widzenia	Zaparkowane pojazdy	Luminancja otoczenia					
			Niska		Średnia		Wysoka	
			Strumień ruchu rowerzystów		Strumień ruchu rowerzystów		Strumień ruchu rowerzystów	
			Normalny	Wysoki	Normalny	Wysoki	Normalny	Wysoki
Nie	Normalna	Brak	←	o	←	o	o	o
		Istnieją	o	→	o	→	→	→
	Wysoka	Brak	o	o	o	o	o	o
		Istnieją	o	o	→	→	→	→
Tak			→ ^a					

^a W strefach konfliktowych jako kryterium do projektowania zalecana jest luminancja. Natężenie oświetlenia może być zastosowane jako kryterium, jeśli wskutek małej odległości widzenia albo innych czynników nie ma zastosowania kryterium luminancji. Dla zalecanych klas ME porównywalne klasy CE podano w Tabelicy 3.

Obecnie, na badanym odcinku drogi zainstalowanych jest 33 wysokoprężnych lamp sodowych. Moc każdej to 250W, a ich konstrukcja nie pozwala na zmniejszenie pobieranej mocy. Wskazuje to, iż każda z lamp przez cały okres świecenie pobiera tak samo dużo energii elektrycznej. Zarządca drogi podał, iż każda lampa świeci w ciągu roku przez 4 117 godzin. Wartość ta podzielona przez 365 dni w roku daje średnią wartość 11godzin i 17 minut na dobę. Jedyne sterowanie, jakie obecnie funkcjonujące oświetlenie posiada to ręczne opóźnianie włączania i przyspieszanie wyłączania lamp w letnich porach roku, gdy jasna pora dnia jest dłuższa.

Powyżej przedstawione dane wskazują, iż w ciągu roku jedna lampa pobiera energię elektryczną na poziomie:

$$250 \text{ [W]} \times 4\,111 \text{ [h]} = \mathbf{1\,029,25 \text{ [kWh]}}$$

Oznacza to, że na badanym odcinku drogi zainstalowane 33 sztuki lamp w przeciągu jednego roku konsumują energię elektryczną na poziomie:

$$33 \text{ [szt.]} \times 1\,029,25 \text{ [kWh]} = \mathbf{33\,965,25 \text{ [kWh]}}$$

Wiedząc, iż koszt 1 [kWh] wynosi 0,45 PLN, koszty oświetlania 1 000 metrowego odcinka drogi wynoszą obecnie:

$$33\,965,25 \text{ [kWh]} \times 0,45 \text{ [PLN]} = \mathbf{15\,284,36 \text{ [PLN]}}$$

Powyższe wyliczenia zestawione zostały w tabeli:

Ilość lamp [szt.]	Moc lampy [W]	Czas świecenia w ciągu roku [h]	Zużycie energii elektrycznej dla 1 lampy [kWh]	Całkowite zużycie energii elektrycznej (dla 33 lamp) [kWh]	Koszt energii elektrycznej dla 1 lampy [PLN]	Całkowity koszt zużycia energii elektrycznej (dla 33 lamp) [PLN]
33	250	4 117	1 029,25	33 965,25	463,16	15 284,36

W celu zaprojektowania optymalnego systemu oświetlenia ulicznego dla danego odcinka drogi oraz przy założeniu modernizacji istniejącej infrastruktury, a nie budowy od podstaw dokonano obliczeń fotometrycznych. Obliczenia te dokonane zostały dla 7 022 różniących się od siebie brył fotometryczna, kształtem oraz mocą opraw oświetleniowych różnych producentów.

Ze względu na fakt, iż rozważane do zainstalowania na danym odcinku drogi oprawy muszą spełniać szereg kryteriów zdefiniowanych w normie EN 13 201 - 2 dla wybranej klasy oświetleniowej do dalszych rozważań projektowych zakwalifikowanych zostało 414 różnych opraw oświetleniowych. Tylko one bowiem spełniają wymogi luminacyjne dla klasy oświetleniowej ME3c.

Pierwszym kryterium jest średnia luminacja powierzchni drogi, oznaczana symbolem: \bar{L} wskaźnik ten odzwierciedla ogólny poziom luminacji na powierzchni drogi, odbierany przez użytkownika danej drogi. Wartość wskaźnika luminacji zależy między innymi od mocy zastosowanych opraw, charakterystyki rozsyłu światła przez daną oprawę, lokalizacji oprawy w rozumieniu jej położenia w układzie lampa - droga - kierowca. Norma zakłada, iż dla klasy oświetleniowej ME3c średnia luminacja musi wynosić minimum $1,0 [cd/m^2]$ (kandele na metr kwadratowy).

Drugim kryterium jest równomierność ogólna luminacji, oznaczana symbolem: U_0 Ujmując rzecz matematycznie jest to stosunek maksymalnej występującej na danej drodze luminacji do jej wartości minimalnej. Wyznacza, chociaż nie w sposób ścisły wahania w poziomie luminacji. W uproszczeniu można stwierdzić, iż wskazuje na to jak dobrze powierzchnia drogi służy jako tło między innymi dla pionowych znaków drogowych, użytkowników, a

także innych znajdujących się na danej drodze przedmiotów. Wartość tego wskaźnika wyznaczona przez normę wynosi dla klasy oświetleniowej ME3c minimum 0,4.

Trzecim kryterium jest równomierność wzdłużna luminacji, oznaczana symbolem: U_l . Jest to wskaźnik przedstawiający miarę wyrazistości powtarzającego się na drodze wzoru. Z założenia wzór ten składa się z jasnych i ciemnych pasów. Innymi słowy równomierność wzdłużna luminacji dotyczy warunków widzenia, jakie panują na długich, nieprzerywanych odcinkach drogi. Wartość tego wskaźnika dla klasy oświetleniowej ME3c wynosi minimum 0,5.

Czwartym wskaźnikiem charakteryzującym daną klasę oświetleniową jest przyrost wartości progowej kontrastu czyli olśnienie przeszkadzające, opisywane symbolem: TI, i wyrażane w procentach [%]. Wskaźnik ten jest miarą utraty widoczności przez użytkownika drogi w skutek olśnienia przeszkadzającego. Pokazuje on, iż chociaż sztuczne oświetlenie drogi poprawia bezpieczeństwo i komfort poruszania się po niej to powoduje też olśnienie, które jest olśnieniem przeszkadzającym użytkownikom drogi. Wartość maksymalna tego wskaźnika dla klasy oświetleniowej ME3c wynosi 15%.

Piątym kryterium jest wskaźnik oświetlenie poboczy, oznaczany symbolem SR, od angielskiej jego nazwy Surround Ratio. Wskazuje on, iż ograniczenie zakresu obszaru oświetlanego jedynie do obszaru jezdni jest błędnym podejściem, gdyż nie ukazuje użytkownikom bezpośredniego otoczenia jezdni oraz nie uwidacznia użytkowników znajdujących się w tym obszarze. Wskaźnik ten stosuje się jedynie w tym miejscach, gdzie jezdnia, ścieżka rowerowa, chodnik, bądź też pas postojowy nie graniczy z powierzchnią ruchu o osobno sprecyzowanych wymaganiach oświetleniowych. Dla klasy oświetleniowej ME3c współczynnik ten wynosi minimum 0,5.

Klasa	Luminacja jezdni - nawierzchnia sucha			Olśnienie przeszkadzające	Oświetlenie poboczny
	\bar{L} [cd/m ²] (minimum)	U_0 (minimum)	U_l (minimum)	TI[%] (maksimum)	SR (minimum)
ME3c	1,0	0,4	0,5	15	0,5

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń fotometrycznych dobrany został zestaw 10 najodpowiedniejszych dla danej sytuacji drogowo - oświetleniowej opraw lamp elektroluminescencyjnych LED. W przeprowadzonych obliczeniach dane wejściowe to:

- długość wysięgnika, wynosząca 3,10 m
- odległość usytuowania słupa od krawędzi jezdni, wynosząca 3,30 m
- odległość pomiędzy lampami, wynosząca 30 m
- wysokość słupów, wynosząca 8,60 m
- wskaźnik Lumen flux ratio, wskazujący na wykorzystanie możliwości lampy, wynoszący 1,00
- kąt zamontowania oprawy uznany za parametr zmienny w zakresie od 0' do 20' z krokiem co 5'

Do dalszych obliczeń fotometrycznych i wybrania najodpowiedniejszej oprawy oświetleniowej zakwalifikowano dziesięć następujących opraw oświetleniowych różnych producentów:

Solution Id	Fixture	Lumen Flux Ratio	Lamp Spacing	Pole Height	Overhang	Tilt	L avg	Uo	UI	TI	SR	Power [W/m]	Producer
1	BGP100 T15 1xGRN94-2S_657 DW.Idt	1	30	8,6	-0,2	0	1,04	0,44	0,77	10,62	0,59	2,46	Philips
3	BGP322 T35 1xGRN94-2S_657 DW.Idt	1	30	8,6	-0,2	0	1,01	0,44	0,77	10,56	0,59	2,59	
15	BGP431 T15 1xGRN98-2S_740 DW.Idt	1	30	8,6	-0,2	0	1,03	0,44	0,77	10,61	0,59	2,73	
45	SPL1FE9142_EU.LDT	1	30	8,6	-0,2	10	1,01	0,50	0,66	14,84	0,56	3,03	GE
60	BGP352 T15 1xECO99-2S_740 DW.Idt	1	30	8,6	-0,2	0	1,02	0,44	0,77	10,59	0,59	3,06	Philips
134	BGP323 T50 1xGRN117-2S_740 DW.Idt	1	30	8,6	-0,2	0	1,22	0,44	0,77	10,98	0,59	3,38	
225	AMPERA MIDI Flat Glass Extra Clear 5138 48 LED 700mA CW 337332 EF.Idt	1	30	8,6	-0,2	10	1,20	0,58	0,88	11,68	0,53	3,53	Schreder
693	96262218_(STD).LDT	1	30	8,6	-0,2	15	1,27	0,69	0,78	8,85	0,58	4,47	Thorn
702	96263993_(STD).LDT	1	30	8,6	-0,2	20	1,14	0,71	0,74	8,88	0,62	4,47	
836	AMPERA MIDI Back light Flat Glass Extra Clear 5119 64 LED 700mA CW 336082 EF.Idt	1	30	8,6	-0,2	0	1,05	0,44	0,66	10,11	0,56	4,63	Schreder

Z przedstawionych charakterystyk wynika, iż każda z wybranych opraw spełnia wymagania luminacyjne postawione przez normę systemów oświetlenia ulicznego. Każda z 10 wybranych opraw oświetleniowych poddana zostanie optymalizacji, w celu wyłonienia najodpowiedniejszej ze względu na spełnienie wszystkich wymogów oraz zużycie energetyczne. Optymalizacja będzie polegała na dopasowaniu najodpowiedniejszej oprawy z uwzględnieniem możliwości zainstalowania jej pod najkorzystniejszym kątem, a także możliwością przyciemniania.

W związku z założeniem projektowym, przewidującym zainstalowanie nowych opraw oświetleniowych na dotychczas wykorzystywanych słupach parametrami stałymi pozostają:

- Lamp Spacing - czyli odległość pomiędzy lampami, wynosząca 30,00 m
- Pole Height - czyli wysokość instalacji oprawy oświetleniowej, wynosząca 8,60 m

- Overhang - długość wysięgnika wystająca ponad oświetlaną jezdnią, na którym zawieszona zostanie oprawa oświetleniowa, wynosząca 3,10 m - w związku z umiejscowieniem obecnych słupów oświetleniowych w odległości 3,30 m od krawędzi jezdni do obliczeń fotometrycznych wartość tego przyjęta została na poziomie -0,20 m

Parametrami, które można modyfikować są:

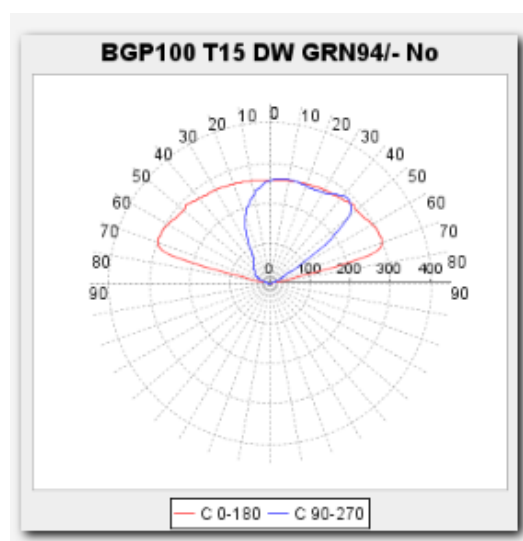
- kąt nachylenia oprawy względem jezdni. Zakres w jakim można go modyfikować uzależniony jest od rodzaju oprawy i zaleceń danego producenta. Dla potrzeb opracowania założona została możliwość regulowania kąta nastawienia oprawy w zakresie od 0' do 20' z krokiem na poziomie 1'. W dalszej części założenie to zostanie zweryfikowane dla konkretnej oprawy.
- wskaźnik lumen flux ratio - czyli możliwość przyciemniania i nieświecenia danej oprawy z pełną mocą. Zakresem tego wskaźnika są wartości z przedziału od 0 - 1, z krokiem co 0,01, czyli 1 punkt procentowy. Wartość wskaźnika wskaże na ile procent dana lampa świeci.

Solution Id	Fixture	Lumen Flux Ratio	Lamp Spacing	Pole Height	Overhang	Tilt	L avg	Uo	UI	II	SR	Power [W/m]	Output Power [W]	Actual Power [W]
1	BGP100 T15 1xGRN94-2S_657 DW.ltd	0,97	30,00	8,60	-0,20	0,00	1,00	0,44	0,77	10,55	0,59	2,39	73,90	71,68
13	BGP322 T35 1xGRN94-2S_657 DW.ltd	1,00	30,00	8,60	-0,20	0,00	1,01	0,44	0,77	10,56	0,59	2,59	77,60	77,60
15	SPL1FE9142_EU.LDT	0,88	30,00	8,60	-0,20	1,00	1,00	0,41	0,67	14,94	0,53	2,67	91,00	80,08
16	BGP431 T15 1xGRN98-2S_740 DW.ltd	0,98	30,00	8,60	-0,20	0,00	1,01	0,44	0,77	10,56	0,59	2,68	82,00	80,36
26	BGP323 T50 1xGRN117-2S_740 DW.ltd	0,82	30,00	8,60	-0,20	0,00	1,00	0,44	0,77	10,55	0,59	2,77	101,40	83,15
34	AMPERA MIDI Flat Glass Extra Clear 5138 48 LED 700mA CW 337332 EF.ltd	0,81	30,00	8,60	-0,20	8,00	1,00	0,55	0,87	12,12	0,50	2,86	106,00	85,86
69	BGP352 T15 1xE9099-2S_740 DW.ltd	0,98	30,00	8,60	-0,20	0,00	1,00	0,44	0,77	10,55	0,59	3,00	91,90	90,06
202	96262218_(STD).LDT	0,72	30,00	8,60	-0,20	11,00	1,01	0,69	0,84	8,66	0,52	3,22	134,00	96,48
203	96263993_(STD).LDT	0,72	30,00	8,60	-0,20	11,00	1,01	0,69	0,84	8,66	0,52	3,22	134,00	96,48
779	AMPERA MIDI Back light Flat Glass Extra Clear 5119 64 LED 700mA CW 336082 EF.ltd	0,96	30,00	8,60	-0,20	0,00	1,01	0,44	0,66	10,03	0,56	4,45	139,00	133,44

Z powyżej przedstawionej tabeli wynika, iż najbardziej optymalną, spełniającą wszystkie kryteria zadane przez normę oprawą oświetleniową w systemie LED jest oprawa, której producentem jest firma Philips.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń fotometrycznych stwierdzono, iż oprawa Philips BGP100 T15 1xGRN94-2S_657, przy założeniu wykorzystania obecnych słupów i wysięgników powinna zostać zainstalowana pod kątem wynoszącym 0°. Jej średnia luminacja wynosi 1,00; luminacja ogólna 0,44; luminacja wzdłużna 0,77; wskaźnik olśnienia przeszkadzającego kształtuje się na poziomie 10,55; a wskaźnik oświetlenia poboczy wynosi 0,59 co oznacza, iż wszystkie z powyższych parametrów spełnią wymagania normy.

Wykres zamieszczony poniżej przedstawia rozkład rozsyłu strumienia świetlnego w przestrzeni, czyli charakteryzuje bryłę fotometryczną oprawy, będącej propozycją najbardziej optymalnego rozwiązania.



Moc wyjściowa wybranej oprawy wynosi 73,90 W. Oznacza to, iż najbardziej optymalną lampą dla danej sytuacji oświetleniowej jest lampa słabsza od obecnie zainstalowanej o 176,1W. Ponadto obliczenia fotometryczne wskazały na możliwość przyciemnienia, czyli nie wykorzystywania pełnej mocy wybranej oprawy. Zgodnie z wyliczeniami możliwe jest zastosowanie 3% przyciemnienia oprawy, czyli ustawienia jej na 97% mocy wyjściowej. W praktyce rzeczywista moc oprawy to 71,68 W.

Photometric Report
PhoCa 1.5 by GRADIS
© 2013 GRADIS All rights reserved
Build on March 8, 2014
Report bugs to sedziwy@agh.edu.pl
Calculation method: CEN 13201:3 compliant
Interpolation method: biquadratic

Calculation Summary

Eh avg [lux]	16,45
L avg [cd/m²]	1,00
Uo	0,44
Ul	0,77
Ug	0,27
SR	0,59
TI [%]	10,55

Road Data

Road type	SINGLE_CARRIAGEWAY
Road width	9,40
Lane Width[m]	4,70
Number of Lanes Per Carriageway	2
Central Reserve [m]	n/a
Reflection Table	rta3.rtb
Q0	0,07
Observer age	23

Luminaire Arrangement and Fixture Profile Data

Luminaire Arrangement	SINGLE_SIDED_RIGHT
Lamp Spacing [m]	30,00
Pole Height [m]	8,60
Overhang [m]	-0,20
Fixture Model	BGP100 T15 DW GRN94/- No
Fixture Profile File	BGP100 T15 1xGRN94-2S_657 DW.ltd
Symmetry	None
Inclination [°]	0,00
Azimuth [°]	0,00
Rotation [°]	0,00
Lumen Flux (w/o dimming) [lm]	9360,00
LOR [%]	90,00
Eff. Lumen Flux (w/o dimming) [lm]	8424,00
Lumen Flux Ratio [%] (=100%-dimming)	0,97
Maintenance Factor	1,00

Zastosowanie powyżej opisanej lampy oznacza, iż w ciągu roku pobierać będzie ona energię elektryczną na poziomie:

$$71,68 \text{ [W]} \times 4 \ 111 \text{ [h]} = \mathbf{295,11 \text{ [kWh]}}$$

Oznacza to, że na badanym odcinku drogi zainstalowane 33 sztuki lamp w przeciągu jednego roku konsumować będą energię elektryczną na poziomie:

$$33 \text{ [szt.]} \times 295,11 \text{ [kWh]} = \mathbf{9 \ 738,63 \text{ [kWh]}}$$

Wiedząc, iż koszt 1 [kWh] wynosi 0,45 PLN, koszty oświetlenia 1 000 metrowego odcinka drogi w ciągu roku, po dokonaniu modernizacji oświetlenia wynosić będzie:

$$9 \ 738,63 \text{ [kWh]} \times 0,45 \text{ [PLN]} = \mathbf{4 \ 382,38 \text{ [PLN]}}$$

Powyższe wyliczenia zestawione zostały w tabeli jako zestawienie zużycia energetycznego przez zmodernizowany system oświetleniowy

Ilość lamp [szt.]	Moc lampy [W]	Czas świecenia w ciągu roku [h]	Zużycie energii elektrycznej dla 1 lampy [kWh]	Całkowite zużycie energii elektrycznej (dla 33 lamp) [kWh]	Koszt energii elektrycznej dla 1 lampy [PLN]	Całkowity koszt zużycia energii elektrycznej (dla 33 lamp) [PLN]
33	71,68	4 117	295,11	9 738,63	132,80	4 382,38

Tabela poniżej zestawia zużycie energetyczne oraz koszty zużytej energii dla tego samego odcinka drogi, ale przed przeprowadzaną modernizacją systemu oświetleniowego.

Ilość lamp [szt.]	Moc lampy [W]	Czas świecenia w ciągu roku [h]	Zużycie energii elektrycznej dla 1 lampy [kWh]	Całkowite zużycie energii elektrycznej (dla 33 lamp) [kWh]	Koszt energii elektrycznej dla 1 lampy [PLN]	Całkowity koszt zużycia energii elektrycznej (dla 33 lamp) [PLN]
33	250	4 117	1 029,25	33 965,25	463,16	15 284,36

W tabeli poniżej wykazano różnicę w zużyciu energii elektrycznej oraz kosztu, jaki to zużycie generuje:

Ilość lamp [szt.]	Moc lampy [W]	Czas świecenia w ciągu roku [h]	Zmiana zużycia energii elektrycznej dla 1 lampy [kWh]	Zmiana całkowitego zużycia energii elektrycznej (dla 33 lamp) [kWh]	Zmiana kosztu energii elektrycznej dla 1 lampy [PLN]	Zmiana całkowitego kosztu zużycia energii elektrycznej (dla 33 lamp) [PLN]
33	250	4 117	-734,14	-24 226,62	-330,36	-10 901,98

Zaproponowana modernizacja systemu oświetleniowego (wymiana obecnie zainstalowanych wysokoprężnych lamp sodowych na elektroluminescencyjne diody LED) pozwoli na zmniejszenie poboru energii elektrycznej, a tym samym na ograniczenie kosztów funkcjonowania oświetlenia ulicznego o **71,33%**.

2.2.1.2 Projekt od podstaw

Dla sytuacji drogowo - oświetleniowej opisanej w podrozdziale 2.2.1.1 przeprowadzone zostaną obliczenia fotometryczne mające na celu zaprojektowanie systemu oświetleniowego od podstaw. Projekt ten przewiduje wymianę opraw oświetleniowych wraz z całą infrastrukturą - wysięgnikami i słupami. Dla projektanta oznacza to możliwość dowolnego, optymalnego usytuowania punktów oświetleniowych.

Projekt od podstaw oznacza uznanie za zmienne wszystkich parametrów, wykorzystywanych w obliczeniach fotometrycznych. Przyjęto, iż:

- Parametr Overhang może przyjmować wartości od -2,00 do + 2,00 metrów, z krokiem co 0,5 metra;
- Parametr Lamp Spacing przyjmie wartość z zakresu od 5,00 do 40,00 metrów, z krokiem co 5,00 metrów;
- Parametr Mounting heigh zawierać się będzie w przedziale od 3,00 do 15,00 metrów z krokiem co 5,00 metrów;
- Parametr Lumen flux ratio standardowo przyjmie wartość z zakresu od 0 do 1,00, z krokiem wynoszącym 0,01;
- Parametr Tilt będzie z zakresu od 0,00' do 20,00' z krokiem co 5 stopni;

Przeprowadzone obliczenia fotometryczne wykazały, iż biorąc pod uwagę tylko 10 opraw oświetleniowych, zakwalifikowanych do obliczeń w pierwszym etapie projektowania uzyskano 27 272 optymalne warianty projektowe.

Spośród wszystkich uzyskanych wyników wybrane i przedstawione w poniższej tabeli zostały najbardziej optymalne oprawy, dla każdego z wiodących producentów.

Solution Id	Fixture	Lumen Flux Ratio	Lamp Spacing	Pole Height	Overhang	Tilt	L avg	Uo	UI	TI	SR	Power [W/m]	Output Power [W]	Actual Power [W]
1	BGP100 T15 1xGRN94-2S_657 DW.ldt	0,76	25,00	8,00	0,00	0,00	1,01	0,44	0,80	10,08	0,52	2,25	73,90	56,16
49	BGP322 T35 1xGRN94-2S_657 DW.ldt	0,62	20,00	8,00	1,00	5,00	1,00	0,56	0,88	7,33	0,50	2,41	77,60	48,11
112	BGP431 T15 1xGRN98-2S_740 DW.ldt	0,76	25,00	8,00	0,00	0,00	1,00	0,44	0,80	10,07	0,52	2,49	82,00	62,32
204	BGP323 T50 1xGRN117-2S_740 DW.ldt	0,51	20,00	8,00	1,00	5,00	1,00	0,56	0,88	7,33	0,50	2,59	101,40	51,71
571	SPL1FE9142_EU.LDT	0,76	25,00	8,00	-0,50	5,00	1,01	0,45	0,59	14,91	0,51	2,77	91,00	69,16
663	BGP352 T15 1xE9099-2S_740 DW.ldt	0,61	20,00	8,00	1,00	5,00	1,00	0,56	0,88	7,33	0,50	2,80	91,90	56,06
849	AMPERA MIDI Flat Glass Extra Clear 5138 48 LED 700mA CW 337332 EF.ldt	0,81	30,00	8,00	-0,50	10,00	1,01	0,52	0,85	14,90	0,51	2,86	106,00	85,86
1390	9626218_(STD).LDT	0,56	25,00	8,00	1,50	10,00	1,01	0,56	0,73	7,56	0,52	3,00	134,00	75,04
1392	96263993_(STD).LDT	0,56	25,00	8,00	1,50	10,00	1,01	0,56	0,73	7,56	0,52	3,00	134,00	75,04
9931	AMPERA MIDI Back light Flat Glass Extra Clear 5119 64 LED 700mA CW 336082 EF.ldt	0,73	25,00	8,00	0,50	0,00	1,01	0,47	0,74	8,93	0,50	4,06	139,00	101,47

Z tabeli wynika, iż najbardziej optymalną oprawą w przypadku projektowania systemu oświetlenia ulicznego od podstaw - podobnie jak w przypadku modernizowania systemu oświetlenia - jest oprawa, której producentem jest Philips.

Zgodnie z obliczeniami fotometrycznymi oprawa: BGP100 T15 1xGRN94-2S_657 DW powinna zostać zainstalowana na słupach o wysokości 8 metrów i oddalonych od siebie o 25 metrów. Kąt nachylenia oprawy powinien wynosić 0 stopni. Moc wyjściowa wybranej oprawy wynosi 73,90 W. Oznacza to, iż najbardziej optymalną lampą dla danej sytuacji oświetleniowej jest lampa słabsza od obecnie zainstalowanej o 176,1W. Ponadto obliczenia fotometryczne wskazały na możliwość przyciemnienia, czyli nie wykorzystywania pełnej mocy wybranej oprawy. Zgodnie z wyliczeniami możliwe jest zastosowanie 24% przyciemnienia oprawy, czyli ustawienia jej na 76% mocy wyjściowej. W praktyce rzeczywista moc oprawy to 56,16 W.

Photometric Report

PhoCa 1.5 by GRADIS

© 2013 GRADIS All rights reserved

Build on March 8, 2014

Report bugs to sedziwy@agh.edu.pl

Calculation method: CEN 13201:3 compliant

Interpolation method: biquadratic

Calculation Summary

Eh avg [lux]	16,41
L avg [cd/m²]	1,00
Uo	0,44
Ul	0,79
Ug	0,26
SR	0,52
TI [%]	10,12

Road Data

Road type	SINGLE_CARRIAGEWAY
Road width	9,40
Lane Width[m]	4,70
Number of Lanes Per Carriageway	2
Central Reserve [m]	n/a
Reflection Table	rta3.rtb
Q0	0,07
Observer age	23

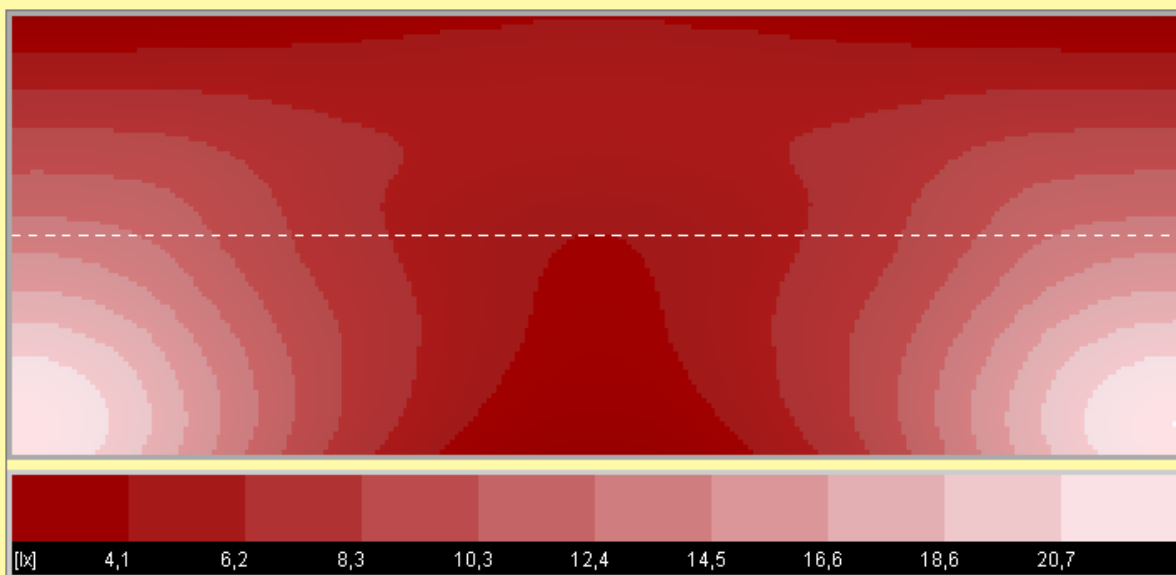
Summary

Min [lux]	11,19
Max [lux]	30,00
Avg [lux]	16,41
Min/Max [%]	37,31
Min/Avg [%]	68,18

Eh [lx]

	1,250 m	3,750 m	6,250 m	8,750 m	11,250 m	13,750 m	16,250 m	18,750 m	21,250 m	23,750 m
8,729 m	11,746	11,919	12,143	12,484	12,871	12,870	12,491	12,148	11,938	11,752
7,386 m	15,170	14,929	14,181	13,812	13,760	13,761	13,816	14,184	14,943	15,177
6,043 m	18,242	17,432	15,385	14,013	13,349	13,348	14,013	15,387	17,450	18,244
4,700 m	21,118	19,111	15,996	13,585	12,378	12,378	13,594	16,002	19,108	21,122
3,357 m	24,559	21,127	16,739	14,052	12,127	12,127	14,050	16,744	21,124	24,562
2,014 m	28,189	23,423	17,633	14,106	11,908	11,906	14,103	17,634	23,429	28,202
0,671 m	29,994	24,475	17,795	13,495	11,192	11,194	13,496	17,796	24,479	29,999

HORIZONTAL ILLUMINANCE Iso Map



Zastosowanie powyżej opisanej lampy oznacza, iż w ciągu roku pobierać będzie ona energię elektryczną na poziomie:

$$56,16 \text{ [W]} \times 4 \ 111 \text{ [h]} = \mathbf{231,21 \text{ [kWh]}}$$

Zgodnie z przeprowadzonymi obliczeniami optymalną odległością pomiędzy lampami jest odcinek wynoszący 25 metrów. W związku z powyższym na odcinku wynoszącym 1 000

metrów ilość koniecznych do zainstalowania punktów oświetleniowych zwiększy się o 7 szt. do 40 lamp. Na badanym odcinku drogi zainstalowane 40 sztuk lamp w przeciągu jednego roku konsumować będzie energię elektryczną na poziomie:

$$40 \text{ [szt.]} \times 231,21 \text{ [kWh]} = \mathbf{9\ 248,40 \text{ [kWh]}}$$

Wiedząc, iż koszt 1 [kWh] wynosi 0,45 PLN, koszty oświetlania 1 000 metrowego odcinka drogi w ciągu roku, po dokonaniu modernizacji oświetlenia wynosić będzie:

$$9\ 248,40 \text{ [kWh]} \times 0,45 \text{ [PLN]} = \mathbf{4\ 161,78 \text{ [PLN]}}$$

Powyższe wyliczenia zestawione zostały w tabeli jako zestawienie zużycia energetycznego przez zmodernizowany system oświetleniowy

Ilość lamp [szt.]	Moc lampy [W]	Czas świecenia w ciągu roku [h]	Zużycie energii elektrycznej dla 1 lampy [kWh]	Całkowite zużycie energii elektrycznej (dla 40 lamp) [kWh]	Koszt energii elektrycznej dla 1 lampy [PLN]	Całkowity koszt zużycia energii elektrycznej (dla 40 lamp) [PLN]
40	56,16	4 117	231,21	9 248,40	104,04	4 161,78

Tabela poniżej zestawia zużycie energetyczne oraz koszty zużytej energii dla tego samego odcinka drogi, ale przed przeprowadzonym przeprojektowaniem systemu oświetleniowego.

Ilość lamp [szt.]	Moc lampy [W]	Czas świecenia w ciągu roku [h]	Zużycie energii elektrycznej dla 1 lampy [kWh]	Całkowite zużycie energii elektrycznej (dla 33 lamp) [kWh]	Koszt energii elektrycznej dla 1 lampy [PLN]	Całkowity koszt zużycia energii elektrycznej (dla 33 lamp) [PLN]
33	250	4 117	1 029,25	33 965,25	463,16	15 284,36

W tabeli poniżej wykazano różnicę w ilości zainstalowanych lamp zużyciu energii elektrycznej oraz kosztu, jaki to zużycie generuje:

Zmiana ilość lamp [szt.]	Zmiana mocy lampy [W]	Czas świecenia w ciągu roku [h]	Zmiana zużycia energii elektrycznej dla 1 lampy [kWh]	Zmiana całkowitego zużycia energii elektrycznej (dla 33 lamp) [kWh]	Zmiana kosztu energii elektrycznej dla 1 lampy [PLN]	Zmiana całkowitego kosztu zużycia energii elektrycznej (dla 33 lamp) [PLN]
+7	- 193,84	4 117	- 798,04	-24 716,85	-359,12	-11 122,58

Zaproponowana modernizacja systemu oświetleniowego (wymiana obecnie zainstalowanych wysokoprężnych lamp sodowych na elektroluminescencyjne diody LED) pozwoli na zmniejszenie poboru energii elektrycznej, a tym samym na ograniczenie kosztów funkcjonowania oświetlenia ulicznego o **77,54%**.

Okazuje się, że projektując oświetlenie od podstaw, z założeniem praktycznie dowolnego rozmieszczenia punktów świetlnych uzysk energetyczny jaki można uzyskać wynosi aż 77,54%. W rzeczywistości należałoby jednak dokonać obliczeń czy koszty związane z zakupem dodatkowych lamp nie będą zbyt wysokie w stosunku do korzyści jakie dałby ich zastosowanie. Każdorazowo sytuację należy rozpatrywać indywidualnie, by mieć pewność co do wyboru najbardziej optymalnego rozwiązania. Nie mniej jednak projekt optymalizacji systemu oświetlenia opracowany w ramach niniejszej pracy wskazuje na niebotyczne korzyści z przeprowadzenia optymalizacji systemu oświetleniowego, co w sposób realny przełożyć się może na:

- poprawę jakości oświetlenia przestrzeni publicznych
- zdecydowane obniżenie kosztów oświetlania przestrzeni publicznych