

**Wydział
Transportu**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

**I Forum Wytycznych i Standardów
– nowe trendy i wyzwania**

Oświetlanie infrastruktury drogowej

dr hab. inż. Piotr Tomczuk, prof. uczelni

**Politechnika
Warszawska**

Kraków 17-18 listopada 2022



Wstęp - główne problemy

- **Brak jednolitych zasad w zakresie przygotowania inwestycji drogowych**, związanych z zagadnieniem oświetlenia dróg.
- Brak formalnych zasad **wyboru i stosowania poszczególnych rozwiązań oświetleniowych** dla wybranych części drogi.
- Brak **zasad modernizacji** istniejących instalacji – np. stosowanych poziomów oświetleniowych i ograniczeń dla części drogi.
- **Konieczność doprecyzowania** zasad i poziomów oświetlania części drogi nawiązujących do zapisów Polskich Norm
- **Błędy** projektowe.
- **Błędy** instalacyjne.
- **Brak zasad** odbioru instalacji.
- **Brak zasad** utrzymania istniejących instalacji.
- Niewłaściwa **konserwacja** instalacji.

Tło prezentacji



Opracowanie zrealizowane na zlecenie Skarbu Państwa – **Ministra Infrastruktury**

WR-D-72

Wytyczne projektowania, realizacji i utrzymania urządzeń do oświetlenia dróg zamiejских i ulic

Wykonawcy:

Politechnika Warszawska, Politechnika Gdańska, Transprojekt Gdański



**Wydział
Transportu**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ
I ŚRODOWISKA



Transprojekt Gdański

Opracowanie finansowane ze środków Funduszu Spójności w ramach programu Operacyjnego Pomoc Techniczna.



**Fundusze
Europejskie**
Pomoc Techniczna



**Rzeczpospolita
Polska**

Unia Europejska
Fundusz Spójności



Autorzy opracowania

Zespół autorski:

Prof. dr hab. inż. Stanisław Gaca, koordynator zamówienia - Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska

dr inż. Marcin Chrzanowicz - Wydział Elektryczny, Politechnika Warszawska

dr hab. inż. Kazimierz Jamroz, prof. uczelni - Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska

dr inż. Tomasz Krukowicz - Wydział Transportu, Politechnika Warszawska

dr inż. Marek Kurkowski - Wydział Elektryczny, Politechnika Częstochowska

mgr inż. Tomasz Mackun - autor prowadzący w zakresie inżynierii drogowej,
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska

mgr inż. Hubert Moczyński - Transprojekt Gdański Sp. z o.o

mgr inż. Michał Sajenko - Transprojekt Gdański Sp. z o.o

dr hab. inż. Piotr Tomczuk, prof. uczelni - autor prowadzący w zakresie oświetlenia - Wydział Transportu, Politechnika Warszawska

mgr inż. Joanna Żółtowska - Transprojekt Gdański Sp. z o.o

Cel opracowania wytycznych

Głównym celem wytycznych jest zapewnienie komfortu, bezpieczeństwa i płynności ruchu, bezpieczeństwa publicznego i właściwych warunków widzenia dla wszystkich uczestników ruchu drogowego przez ujednoczenie zasad projektowania, instalowania, odbioru i utrzymania urządzeń do oświetlenia.

W Polsce zasady oświetlenia dróg **regulują normy oraz raport techniczny** międzynarodowej organizacji oświetleniowej:

- PKN-CEN/TR 13201-1:2016-02 Oświetlenie dróg. Część 1: Wytyczne dotyczące wyboru klas oświetlenia.
- PN-EN 13201-2:2016-03 Oświetlenie dróg. Część 2: Wymagania eksploatacyjne.
- PN-EN 13201-3:2016-03 Oświetlenie dróg. Część 3: Obliczenia parametrów oświetleniowych.
- PN-EN 13201-4:2016-03 Oświetlenie dróg. Część 4: Metody pomiaru efektywności oświetlenia.
- PN-EN 13201-5:2016-03 Oświetlenie dróg. Część 5: Wskaźniki efektywności energetycznej.

Wytyczne stanowią uzupełnienie norm w zakresie oświetlenia dróg zamiejskich i ulic.

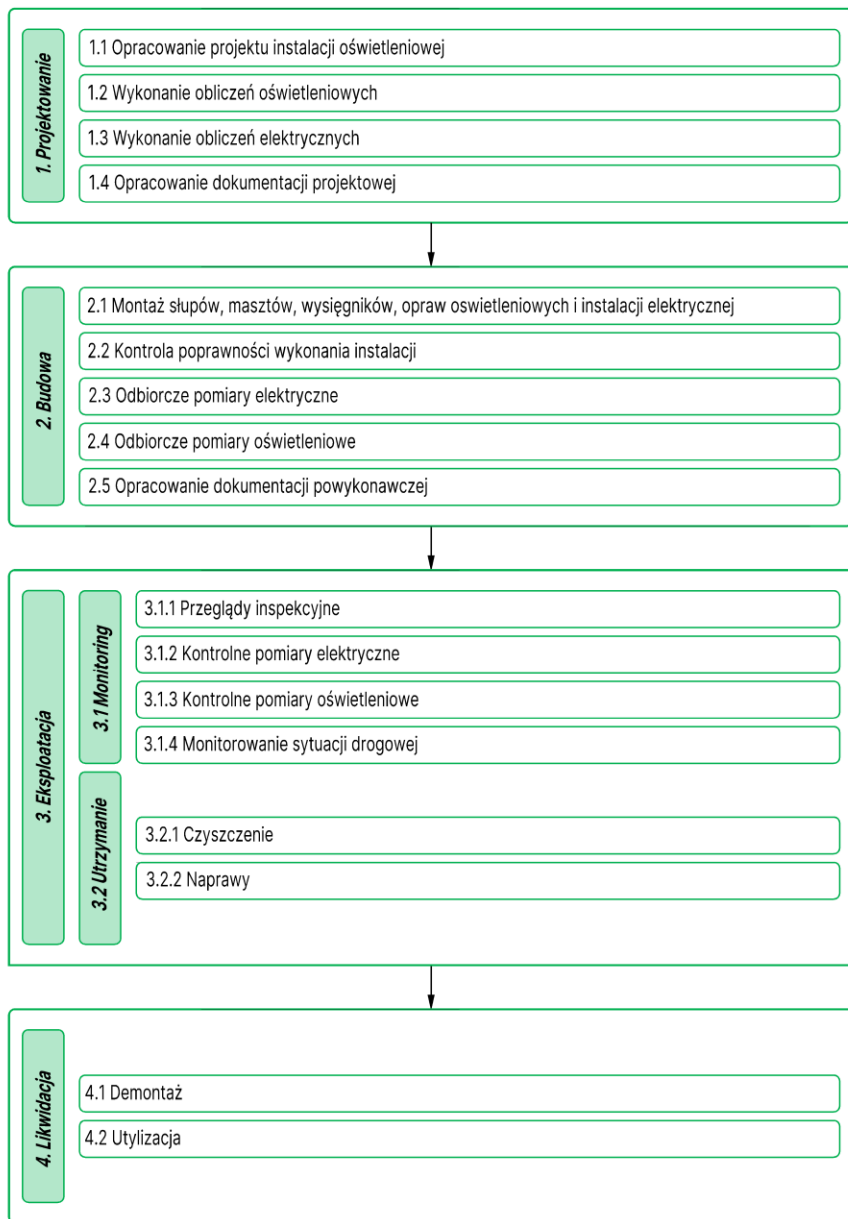
Wymagania ogólne

Urządzenia do oświetlenia powinny spełniać następujące wymagania:

- zapewniać **stały w czasie i przestrzeni poziom oświetlenia drogi** lub jej części dla wszystkich uczestników ruchu drogowego,
- zapewniać odpowiednią **równomierność** oświetlenia drogi,
- zapewniać prawidłowe **prowadzenie wzroku** kierujących pojazdami,
- ograniczać **olśnienia** kierujących pojazdami,
- ograniczać **energochłonność**,
- ograniczać **odziaływanie na środowisko** (lokalne i globalne), rozumiane jako ograniczenie emisji gazów cieplarnianych, zanieczyszczenia światłem oraz negatywnego wpływu na organizmy żywe (florę i faunę),
- ograniczać **koszty budowy, utrzymania i eksploatacji** w cyklu życia,
- **spójności wizualnej** (estetyka, atrakcyjny wizerunek miast, miejscowości i infrastruktury drogowej).



Działania w cyklu życia



Podmioty odpowiedzialne

Droga lub jej część	Zadanie własne		
	Gminy (w granicach administracyjnych)	Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad	Spółki, której powierzono budowę i eksploatację albo wyłącznie eksploatację autostrady
Droga gminna	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Droga powiatowa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Droga wojewódzka	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Droga krajowa niebędąca autostradą i drogą ekspresową, przebiegająca w granicach terenu zabudowy	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Część drogi krajowej niebędącej autostradą płatną, wymagająca odrębnego oświetlenia: - przeznaczona do ruchu pieszych lub rowerów, - stanowiąca dodatkową jezdnię obsługującą ruch z terenów przyległych do pasa drogowego drogi krajowej	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Droga krajowa niebędąca autostradą i drogą ekspresową, przebiegająca poza granicami terenu zabudowy	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Droga krajowa będąca autostradą (w tym płatną)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Droga krajowa będąca drogą ekspresową	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Część drogi krajowej będącej autostradą płatną, wymagająca odrębnego oświetlenia: - przeznaczona do ruchu pieszych lub rowerów, - stanowiąca dodatkową jezdnię obsługującą ruch z terenów przyległych do pasa drogowego drogi krajowej	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Klasy oświetlenia drogowego

Lp.	Klasa oświetlenia	Zastosowanie klasy
Klasy oświetlenia zgodne normami		
1	M	Kierowcy pojazdów silnikowych, trasy komunikacyjne, średnie i wysokie prędkości ruchu.
2	C	Obszary konfliktowe: pojazdy, piesi, rowery; obszary wykazujące zmianę geometrii drogi, obszary o zwiększonym prawdopodobieństwie kolizji.
3	P	Piesi i rowery, drogi dla pieszych, drogi dla pieszych i rowerów, drogi dla rowerów, kierowcy przy niskich prędkościach – ulice osiedlowe, obszary niezależne od jezdni.
4	EV	Klasa dodatkowa: stosowana, gdy musi być zapewniona widoczność powierzchni pionowych.
5	HS	Klasa dodatkowa: piesi, drogi dla pieszych, drogi dla pieszych i rowerów, pasy postojowe, powierzchnie ruchu usytuowane oddzielnie lub wzdłuż jezdni, ulice, parkingi, dziedzińce szkolne – oświetlenie w przestrzeni.
6	SC	Klasy dodatkowe: gdy głównym celem oświetlenia publicznego jest identyfikacja osób, przedmiotów oraz powierzchni drogowych z występującym na nich wyższym niż normalne ryzykiem naruszenia przepisów.
Dodatkowa klasa oświetlenia dla oświetlenia dedykowanego na przejściach dla pieszych i przejazdach dla rowerów		
7	PC	Klasa uzupełniająca: klasa oświetleniowa stosowana do oświetlania przejścia dla pieszych za pomocą rozwiązania, w którym uzyskuje się oświetlenie pionowej sylwetki pieszego poprzez instalację nisko zawieszonych opraw o asymetrycznym rozsyle strumienia świetlnego; oprawy instaluje się przed przejściem dla pieszych oddzielnie do każdego z kierunków ruchu.

Źródła światła - cechy

Matryca LED

Zalety

- bardzo wysoka skuteczność świetlna
- bardzo wysoka trwałość
- bardzo krótki czas rozruchu i natychmiastowa praca z maksymalnym strumieniem
- dostępne różne temperatury barwowe
- wysoki wskaźnik oddawania barwy
- płynna regulacja w pełnym zakresie mocy
- duży zakres: strumienia świetlnego/mocy opraw/brył światłości

Wady

- wysoka luminancja powierzchni świecącej (zbiór małych źródeł o niskim strumieniu świetlnym oraz wysokim poziomie jaskrawości)
- możliwe olśnienie
- wrażliwość na wyładowania elektrostatyczne i przepięcia

Metalohalogenkowe

- stosunkowo wysoka skuteczność świetlna
- wysoki wskaźnik oddawania barwy
- niższy poziom luminancji powierzchni świecącej w stosunku do LED
- wysoka trwałość opraw
- mała utrata strumienia świetlnego w czasie

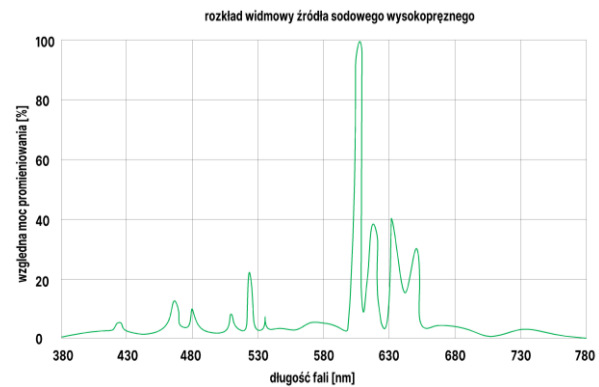
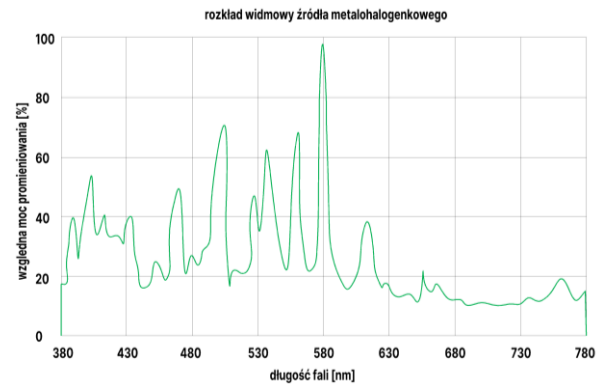
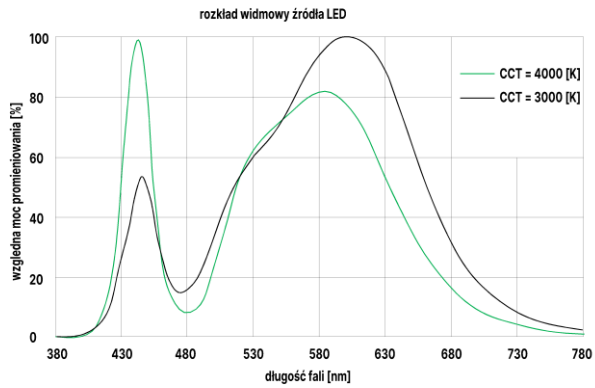
- długi czas ponownego uruchomienia
- problem z bezstopniową regulacją strumienia świetlnego w pełnym zakresie mocy
- wymagany czas na osiągnięcie parametrów znamionowych

Sodowe wysokopięczne

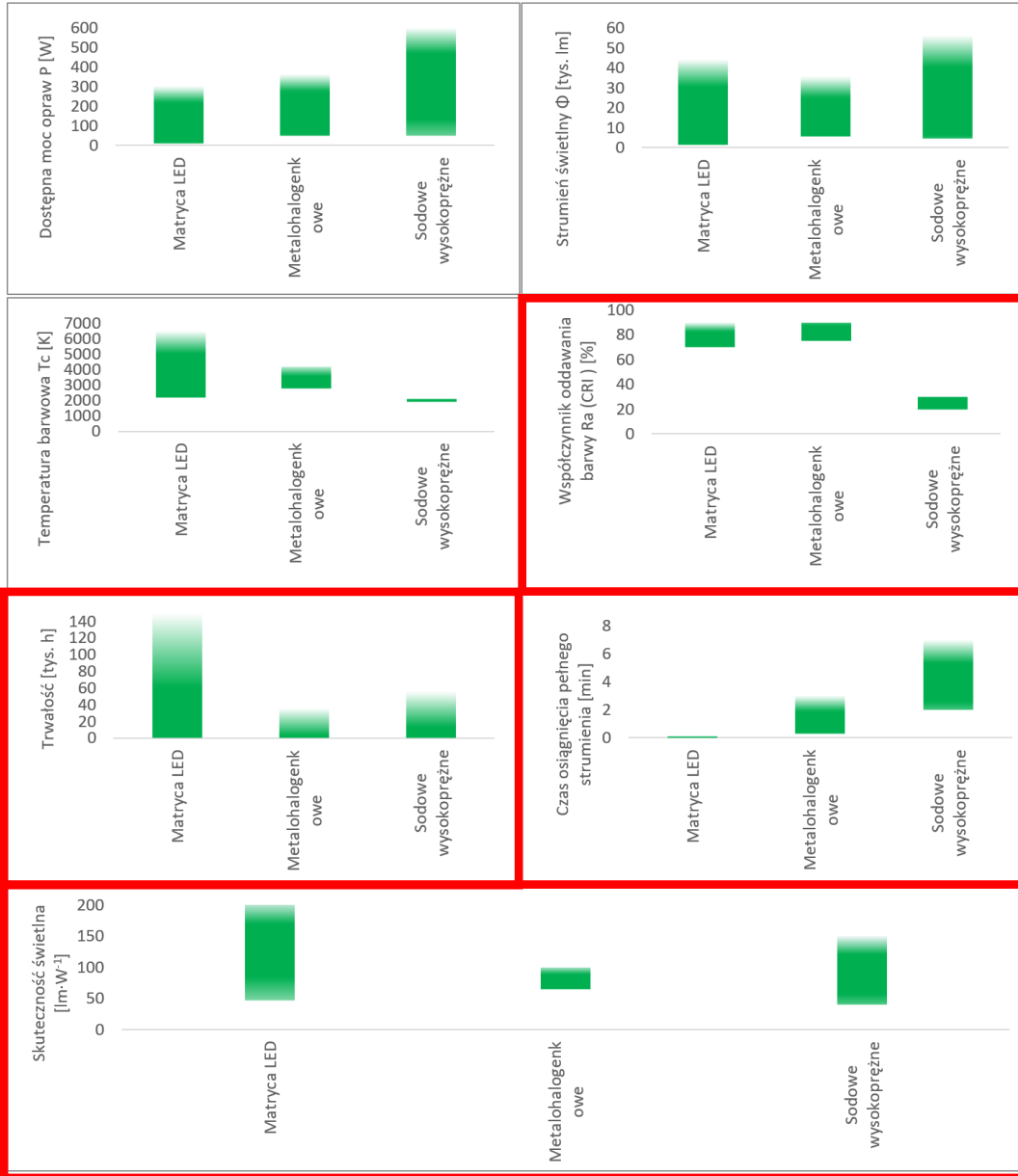
- wysoka skuteczność świetlna
- wysoka trwałość opraw
- mała utrata strumienia świetlnego w czasie
- niższy poziom luminancji powierzchni świecącej w stosunku do LED

- długi czas ponownego uruchomienia
- niski wskaźnik oddawania barwy
- problem z bezstopniową regulacją strumienia świetlnego w pełnym zakresie mocy
- wymagany czas na osiągnięcie parametrów znamionowych

Źródła światła - widma



Źródła światła - parametry



Wymagania obligatoryjne dla opraw

Wymagania obligatoryjne dotyczące parametrów technicznych opraw oświetleniowych

Oprawy ze źródłami wyładowczymi	Oprawy ze źródłami LED
Wraz z oprawami oświetleniowymi dostarcza się deklaracje zgodności CE [2], [3], [4], [5], które uprawniają do oznakowania wyrobu znakiem CE. W deklaracjach należy przywołać dyrektywy, rozporządzenia i normy, wg. których nadano znak CE.	
Źródła wyładowcze muszą być wprowadzone do systemu EPREL, posiadać etykiety energetyczne oraz niezbędną dokumentację.	Oprawy LED muszą być wprowadzone do systemu EPREL, posiadać etykiety energetyczne oraz niezbędną dokumentację (do systemu EPREL: wprowadza się drogowe oprawy oświetleniowe z wbudowanymi niewymiennymi źródłami światła LED; nie wprowadza się opraw bez wbudowanych źródeł światła LED).
Wartość współczynnika zawartości wyższych harmonicznym THDU powinna być zgodna z wymogami normy [43], a wartość współczynnika zawartości wyższych harmonicznym THDI powinna być zgodna z wymogami norm [41] i [42].	
Skuteczność świetlna wyładowczego źródła światła określona w [6].	Skuteczność świetlna całej oprawy LED (nie panelu czy diod LED) na poziomie min. 140 [$\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$] potwierdzona raportem z badań w laboratorium fotometrycznym.
Utrzymanie strumienia świetlnego w czasie: L80B10 (dla 10[%] populacji źródeł wyładowczych strumień świetlny może spaść do 80[%] wartości początkowej) po 100 000 [h] (zgodnie z IES LM-80 - TM - 21), potwierdzone raportem z badań w laboratorium fotometrycznym.	Utrzymanie strumienia świetlnego oprawy LED w czasie: L90B10 po 100 000 [h] (dla 10[%] populacji diod LED strumień świetlny może spaść do 90[%] wartości początkowej) po 100 000 [h] (zgodnie z IES LM-80 - TM - 21), potwierdzone raportem z badań w laboratorium fotometrycznym.
Oprawy powinny być wykonane w I lub II klasie ochronności od porażenia.	
Oprawy powinny mieć zapewnioną ochronę przeciwprzepięciową 10 [kV], zgodnie z normą [34], [35], [38] i [39].	
Wartość znamionowego wskaźnika oddawania barwy na zewnątrz oprawy Ra (CRI) powinna spełniać warunek $Ra \geq 70$.	
Stopień ochrony całej oprawy (komory osprzętu elektrycznego i komory źródła światła) przed wnikaniem pyłu i wody m.in. IP66 zgodnie z normą [37].	
Odporność klosza oprawy na uderzenia mechaniczne min. IK08 wg. normy [32].	

Wymagania fakultatywne dla opraw - 1

Wymagania fakultatywne dotyczące parametrów technicznych opraw oświetleniowych

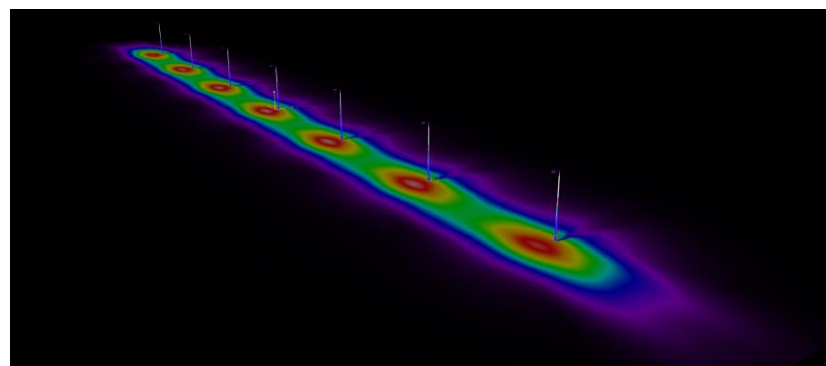
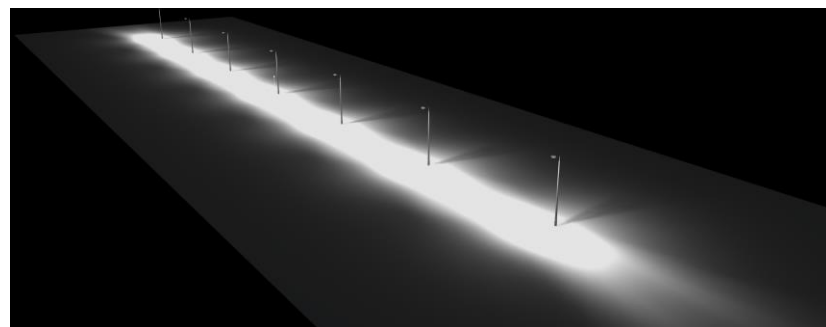
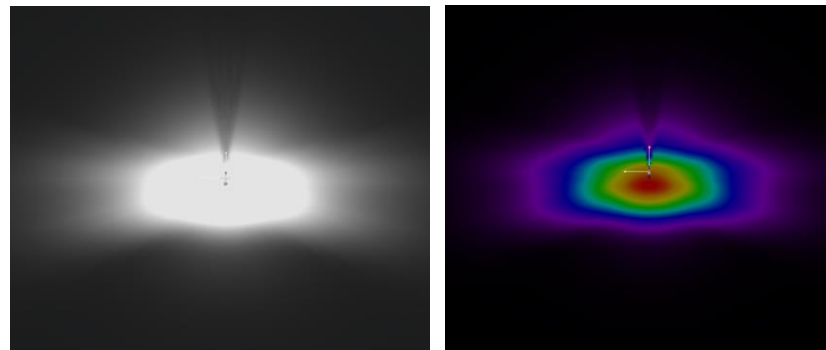
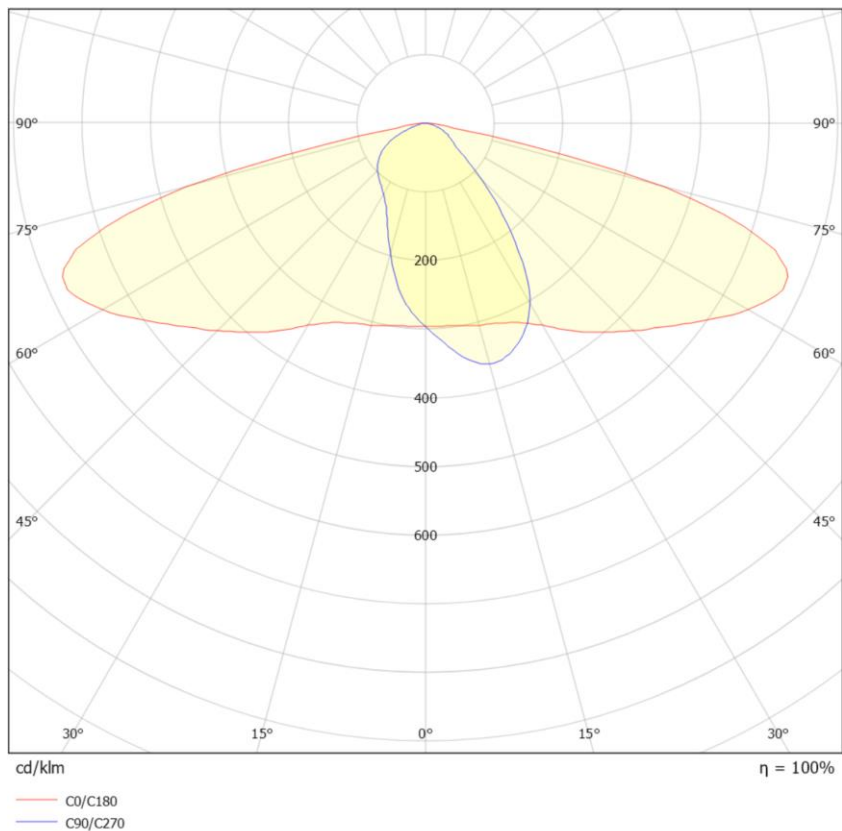
Oprawy ze źródłami wyładowczymi	Oprawy ze źródłami LED
Oprawy powinny posiadać raporty z badań na zgodność z dyrektywami LVD, EMC i RoHS oraz normami zharmonizowanymi. Zaleca się wykonywanie badań w laboratoriach akredytowanych i/lub nadających znak ENEC i ENEC+.	
Zasilacz powinien być wyposażony w zabezpieczenie termiczne zapobiegające przegrzaniu samego zasilacza jak również źródeł światła.	
Układ zasilający powinien być wyposażony w zabezpieczenie przeciwzwarceniowe, przeciążeniowe.	
Chłodzenie układów elektrycznych oprawy powinno być realizowane bez dodatkowych elementów aktywnych, np. typu wentylator.	
Źródła światła montowane w oprawkach. Możliwy demontaż i wymiana poszczególnych źródeł wyładowczych i osprzętu.	Źródła światła wykonane w systemie modułowym. Możliwy demontaż i wymiana poszczególnych źródeł światła LED (modułów LED) i osprzętu bez zastosowania połączeń lutowanych oraz układu zasilającego (nie dopuszcza się do zastosowania rozwiązań: driver on board - DOB).
Oprawy powinny cechować pełną serwisowalność, łatwość obsługi oraz możliwość wymiany poszczególnych elementów składowych bez użycia specjalistycznych narzędzi.	
Temperatura barwowa T_c światła emitowanego na zewnątrz oprawy drogowej przez źródła światła w niej zabudowane powinna mieścić się w przedziale 3000[K]÷4000[K]. Dla opraw dedykowanych do oświetlenia przejść dla pieszych i przejazdów dla rowerów zaleca się stosowanie temperatur barwowych w przedziale 5500[K]÷5700[K]. Dla opraw stosowanych w obszarach zabytkowych ze względu na historyczny charakter miejsc zaleca się stosowanie temperatur barwowych w zakresie 2200[K]÷3000[K].	
Bryły fotometryczne powinny być dostępne w plikach fotometrycznych formatu *.ldt lub *.ies. Pliki zamieszczone na stronie internetowej producenta lub dystrybutora pozwalające wykonać obliczenia fotometryczne w ogólnodostępnych, oświetleniowych programach komputerowych.	
Wartość znamionową emitowanego strumienia świetlnego podaje się w odniesieniu do całej oprawy [lm] (nie dla poszczególnych źródeł światła).	Wartość znamionowa emitowanego strumienia świetlnego podaje się w odniesieniu do całej oprawy [lm] (nie dla poszczególnych modułów LED).
Symetryczna/asymetryczna krzywa światłości oprawy powinna być dostosowana do oświetlanego obiektu/terenu (nie powodować nadmiernego oświetlenia otoczenia). Powyżej kąta 90[°] w górę oprawa nie może wysyłać strumienia świetlnego (0 lm) ku górze (0 cd/m ²). Zaleca się zapewnienie ograniczenia światła emitowanego ponad horyzont (ULOR = 0[%], DLOR=100[%]).	
	Awaria pojedynczego punktu LED nie może prowadzić do awarii całego modułu LED lub całej oprawy oświetleniowej.
Gwarancja - producent/dystrybutor powinien udzielić gwarancji na całą oprawę, w tym na źródło światła, zasilacz, obudowę, na okres min. 3 lat.	Gwarancja - producent/dystrybutor powinien udzielić gwarancji na całą oprawę, w tym na źródło światła LED, zasilacz, obudowę, na okres min. 5 lat.
Zakres temperatur otoczenia pracy oprawy powinien wynosić (-35[°C] ÷ +40[°C]).	

Wymagania fakultatywne dla opraw - 2

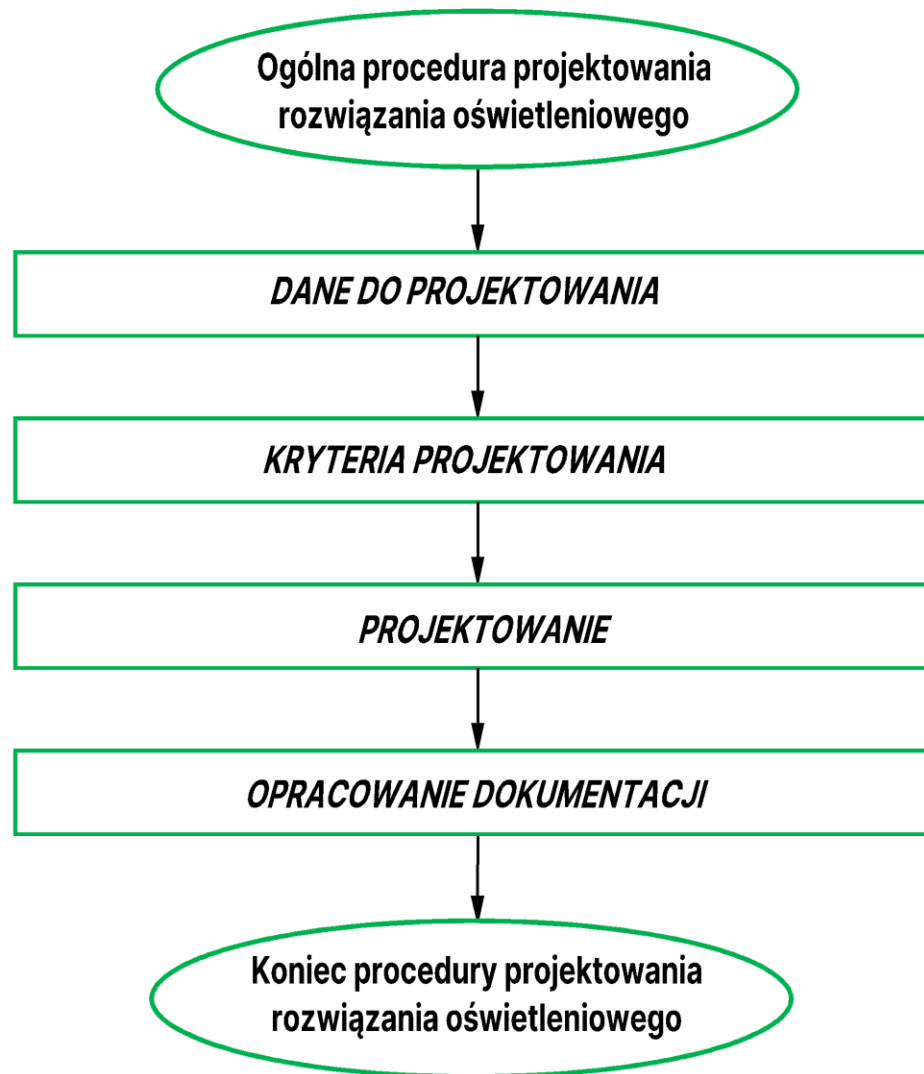
Wymagania fakultatywne dotyczące parametrów technicznych opraw oświetleniowych

Oprawy ze źródłami wyładowczymi	Oprawy ze źródłami LED
Oprawy oświetlenia zewnętrznego powinny cechować się zasadą minimalizacji zużycia energii elektrycznej (możliwość sterowania) przy zapewnieniu normatywnych parametrów oświetlenia oświetlanego obszaru.	
Sterowane realizowane w standardzie 1-10V lub DALI.	Wymaga się, aby oprawy LED były wyposażone w minimum jedno złącze Zhaga-D4i (montowane na górze oprawy). Zalecane jest stosowanie dwóch złącz Zhaga-D4i (jedno na górze a drugie na dole oprawy). Wymaga się, aby oprawy LED były wyposażone w zasilacz w standardzie DALI-2 D4i.
Wartość współczynnika mocy $\cos\phi$ (DF) przy znamionowej mocy całej oprawy [W] powinien zawierać się w przedziale $0,93 \div 1$. Dodatkowo wnioskodawca zobligowany jest do podania wartości współczynnika mocy $\cos\phi$ dla 25[%]; 50[%] mocy znamionowej oprawy.	
Wartość współczynnika $\text{tg}\phi$ przy znamionowej mocy oprawy [W] powinien zawierać się w przedziale $0 \div 0,4$. Dodatkowo wnioskodawca zobligowany jest do podania wartości współczynnika $\text{tg}\phi$ dla 25[%]; 50[%] mocy znamionowej oprawy.	Wartość współczynnika $\text{tg}\phi$ przy znamionowej mocy obwodu oświetleniowego [W] powinien zawierać się w przedziale $0 \div 0,4$ (konieczne stosowanie dławików kompensacyjnych – również dla obwodu oświetleniowego). Dodatkowo wnioskodawca zobligowany jest do podania wartości współczynnika $\text{tg}\phi$ dla 25[%]; 50[%] mocy znamionowej oprawy.
Układ zasilający oprawy powinien zapewniać funkcję płynnej zmiany strumienia świetlnego w zakresie od 100[%] do min. 25[%] wartości nominalnej za pośrednictwem sygnału sterującego – diagnostycznego.	
Zastosowane materiały zewnętrzne oprawy powinny być odporne na promieniowanie UV.	
Wszelkie elementy obudowy oprawy powinny być odporne na korozję.	
Elementy mocujące oprawę (śruby, podkładki) powinny być wykonane ze stali nierdzewnej.	
Oprawy oświetleniowe powinny charakteryzować się dużą trwałością i niezmiennością parametrów w długim przedziale czasu oraz powinny być odporne na niszczące działanie warunków atmosferycznych.	
Oprawa powinna być odporna na odkształcenia spowodowane występującymi warunkami atmosferycznymi.	
Oprawa powinna być wyposażona w uchwyt mocujący zapewniający możliwość regulacji pochylecia oprawy podczas montażu.	
Sposób mocowania oprawy dostosowany do montażu bezpośrednio na słupie i/lub na wysięgniku i/lub do powierzchni płaskiej.	
Zalecane zainstalowanie systemu monitoringu zużycia składowych energii elektrycznej, układów kompensacji mocy biernej i filtrów harmoniczných.	

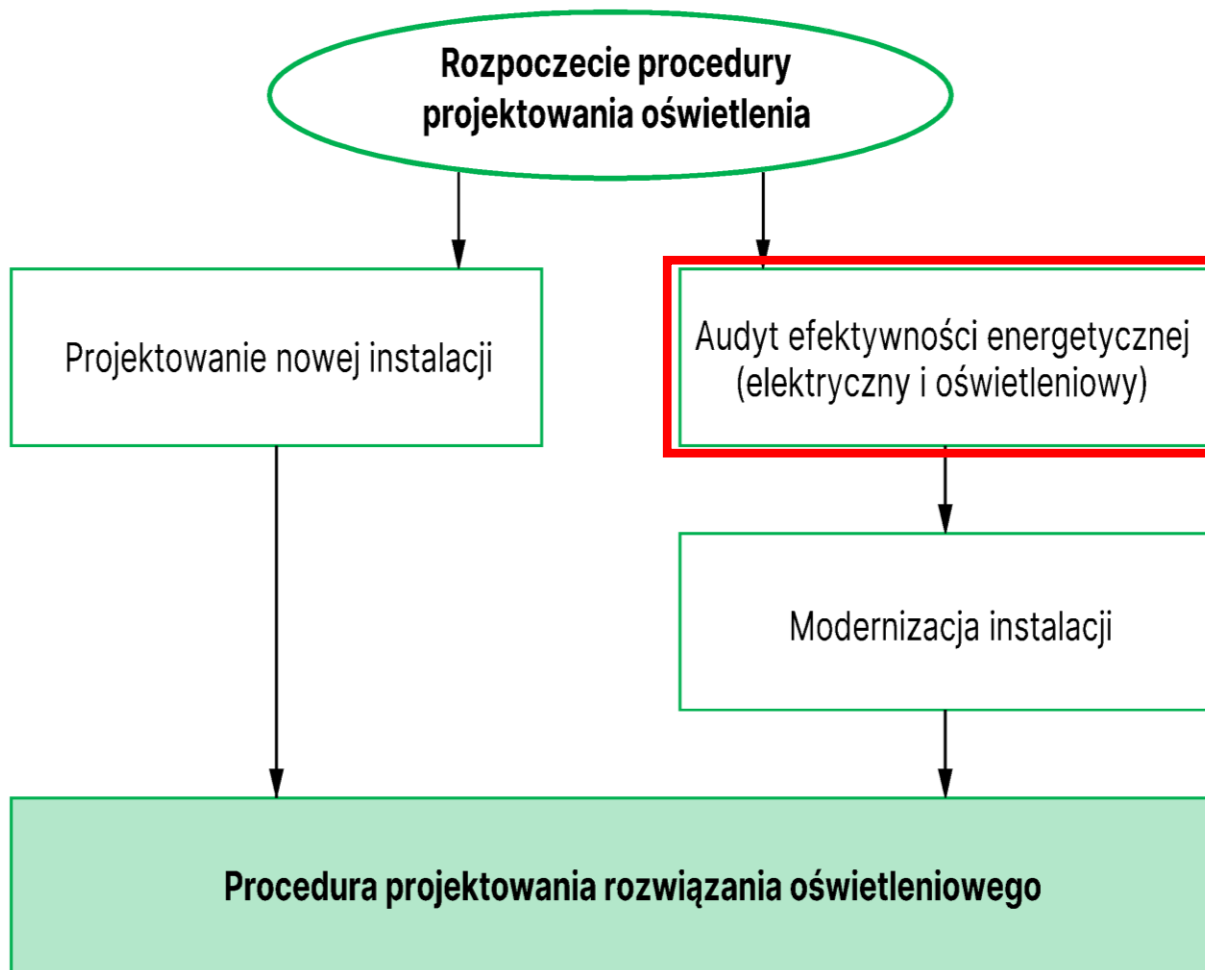
Rozsył światłości typowej oprawy drogowej



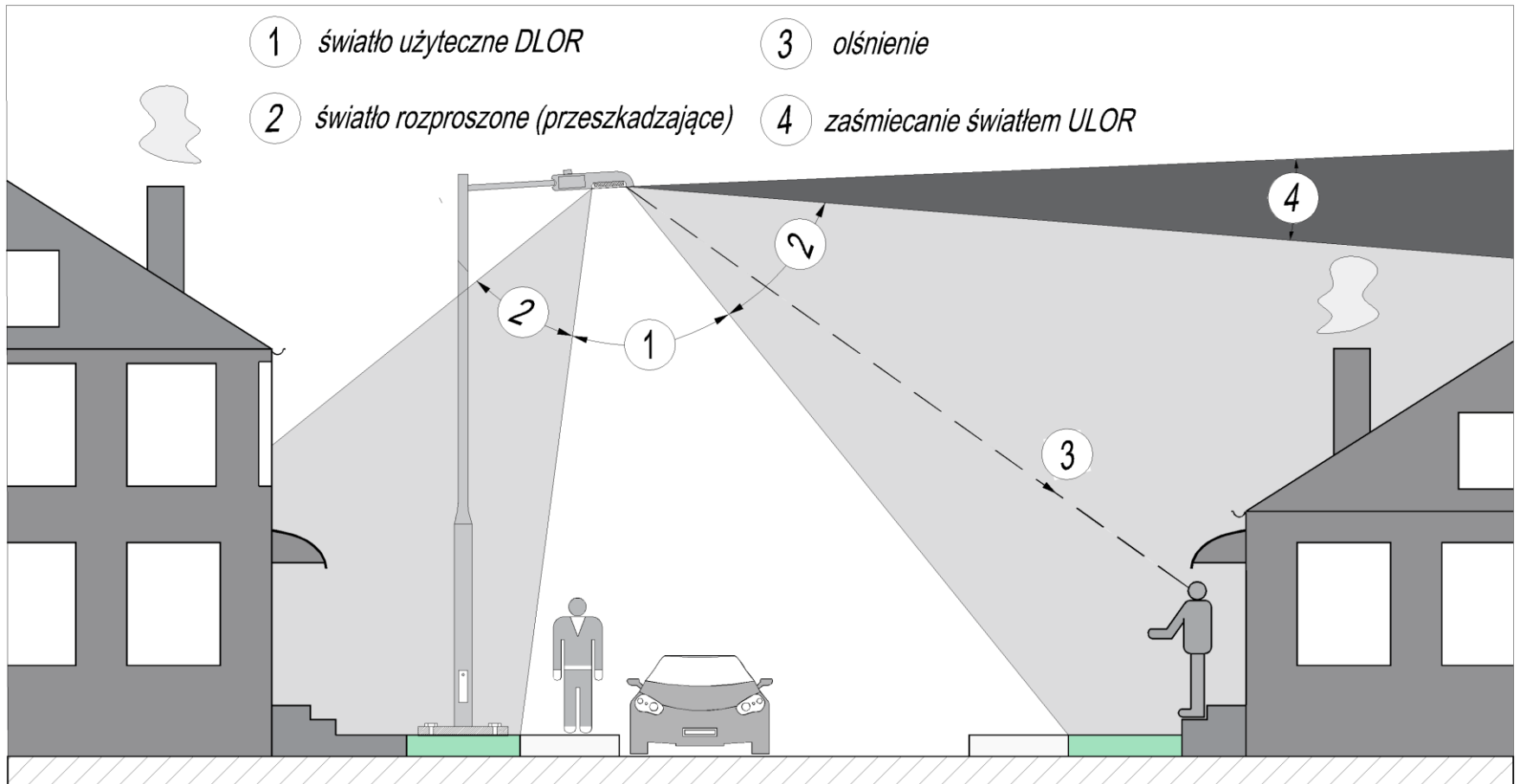
Procedura projektowania oświetlenia



Modernizacja oświetlenia drogowego



Dystrybucja światła



Strefy oświetleniowe

Strefa	Otoczenie	Środowisko oświetleniowe	Przykład
E0	Chronione	Ciemne	UNESCO rezerваты ciemnego nieba, IDA międzynarodowe i krajowe parki ciemnego nieba
E1	Naturalne	Bardzo niska jaskrawość	Obszary ciemne, parki narodowe, obszary naturalne, miejsca objęte ochroną, obszary zabronione prawem (np. lotniska, tereny wojskowe itp.)
E2	Wiejskie	Niska jaskrawość	Obszary o niskiej jaskrawości, tereny wiejskie o relatywnie ciemnym otoczeniu, obszary podmiejskie z ciemnym otoczeniem
E3	Podmiejskie	Średnia jaskrawość	Centra małych miast, jasne obszary podmiejskie
E4	Miejskie	Wysoka jaskrawość	Centra dużych miast i miasta z wysokim poziomem oświetlenia w porze nocnej

Wymagania dla stref oświetleniowych

Strefa środowiskowa	Światło na nieruchomościach		Światłość oprawy oświetleniowej		Światło wypromienione w górę	Współczynnik strumienia świetlnego wypromienionego w górę ^{e)}	Luminancja ^{b)}	
	E_v [lx]		I [cd]		ULOR [%]	UFR [%]	L_b [cd·m ⁻²]	L_s [cd·m ⁻²]
	Przed czasem przyciemniania ^{a)}	Po czasie przyciemniania ^{a)}	Przed czasem przyciemniania	Po czasie przyciemniania	-	-	Fasada budynku	Znaki ^{c)}
E0	0	0	0	0	0	0	< 0,1	< 0,1
E1	2	< 0,1 ^{d)}	2500	0	0	2	< 0,1	50
E2	5	1	7500	500	2,5	5	5	400
E3	10	2	10000	1000	5	8	10	800
E4	25	5	25000	2500	15	12	25	1000

a) Czas przyciemniania – okres (część doby) w którym obowiązują zaostrzone wymagania w zakresie ograniczenia światła przeszkadzającego, regulacje wprowadzone przez zarządcę infrastruktury lub władze lokalne.

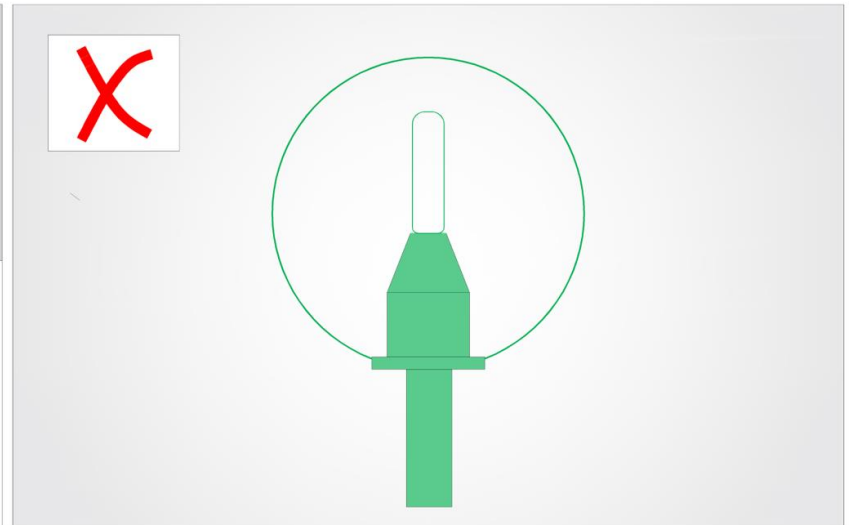
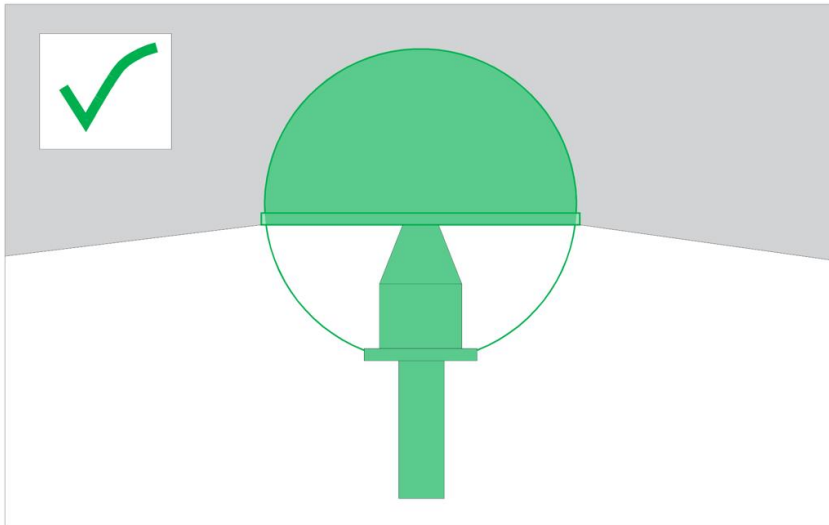
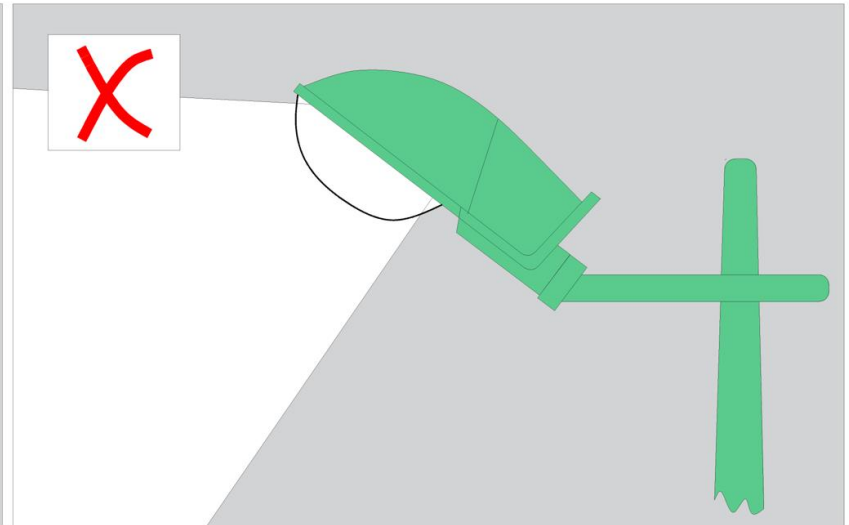
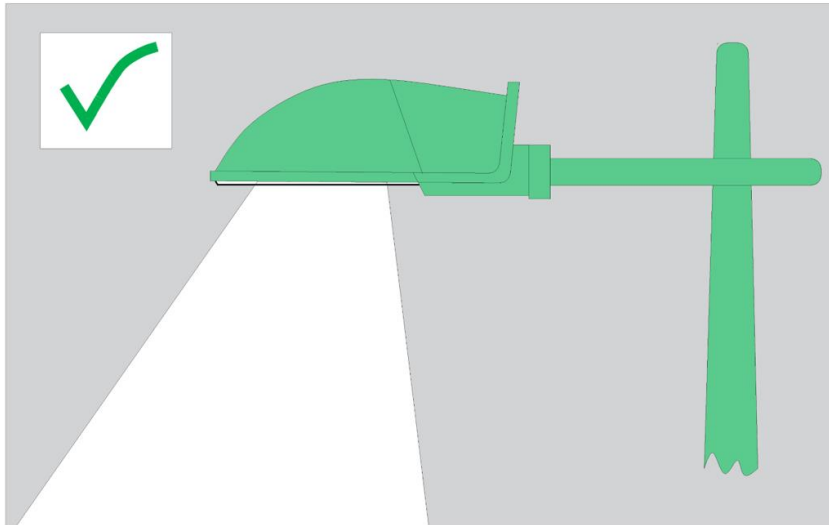
b) Podane wartości są właściwe dla obu okresów, przed i po czasie ściemniania, z wyjątkiem stref 0 i 1 w których po czasie ściemniania luminancja wynosi 0.

c) Podane wartości nie dotyczą znaków drogowych i instalacji kontroli ruchu drogowego, dotyczy np.: znaków reklamowych i szyldów.

d) Jeśli instalacja jest przeznaczona do oświetlenia publicznego (drogowego), to może to być wartość < 1 [lx].

e) Wymaganie dotyczy instalacji oświetlenia drogowego składającej się minimum z 4 opraw oświetleniowych.

Oprawy i ich montaż

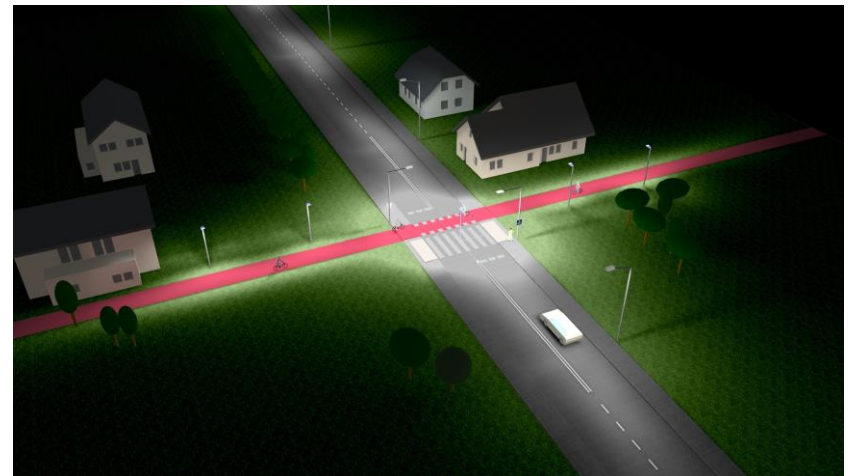


Ocena konieczności oświetlenia drogi

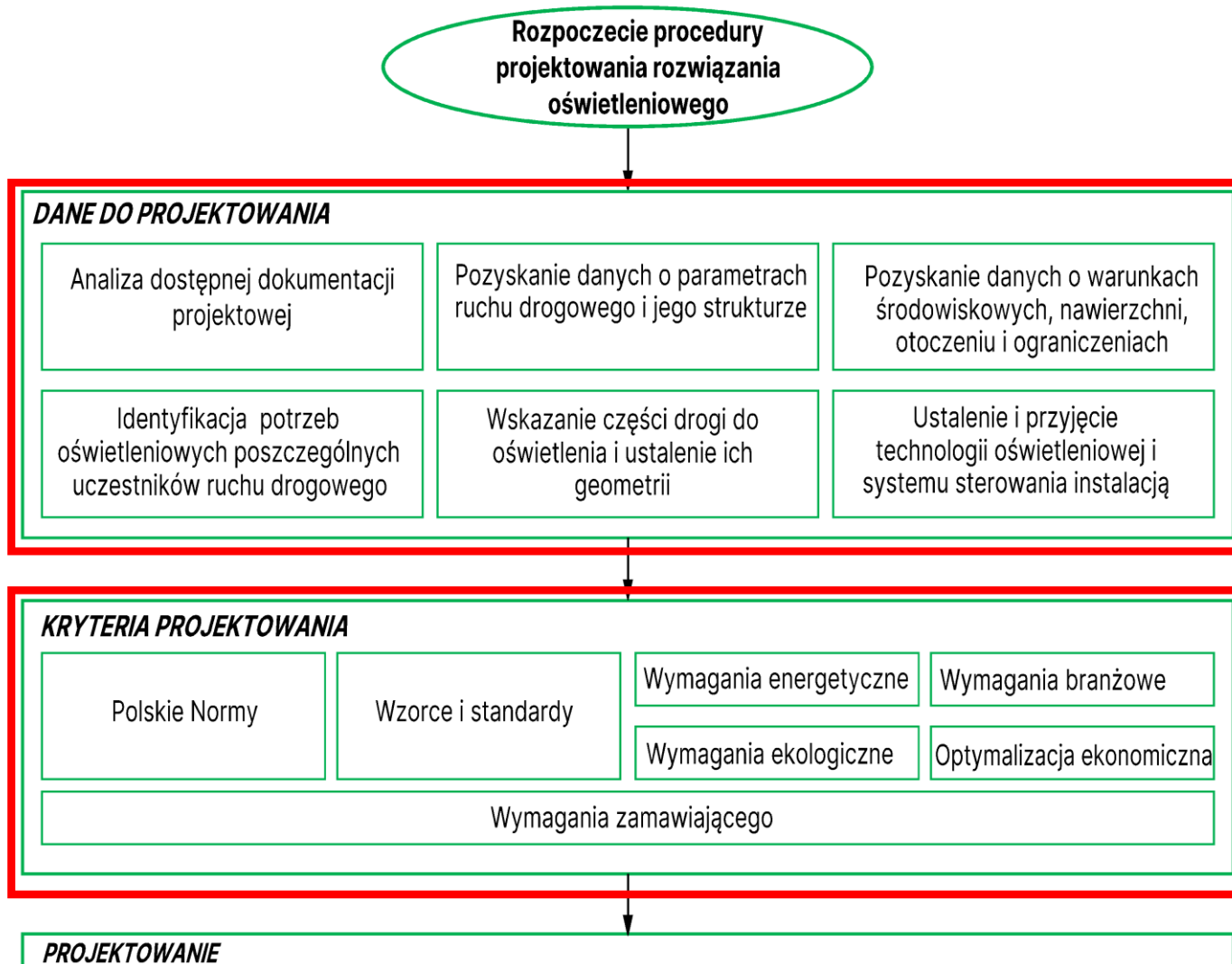
Część drogi	Stosowanie	Podrozdział
Odcinki dróg między skrzyżowaniami lub węzłami		
Droga między odcinkami oświetlonymi, jeżeli długość odcinka nieoświetlonego nie przekracza 500 [m]	●	6.2
Droga z pasami ruchu o zmiennych kierunkach ruchu	●	
Ulica o dwóch jezdniach głównych	●	
Ulica o jednej jezdni głównej z co najmniej czterema pasami ruchu	●	
Ulica, na której występują urządzenia uspokojenia ruchu (progi, wyniesienia, itp.)	●	
Droga na moście lub wiadukcie	○	6.16
Droga w tunelu	○	6.17
Skrzyżowania i węzły		
Skrzyżowanie zwykłe lub skanalizowane z sygnalizacją świetlną	●	6.4
Rondo	●	
Skrzyżowanie zwykłe lub skanalizowane bez sygnalizacji świetlnej	○	
Węzeł drogowy	●	6.3
Infrastruktura przeznaczona do ruchu pieszych lub rowerów		
Droga dla pieszych	○	6.6
Droga dla rowerów, droga dla pieszych i rowerów	○	6.7
Przejście dla pieszych, urządzenia alternatywne	●	6.8
Przejazd dla rowerów	●	6.9
Droga dla pieszych, droga dla pieszych i rowerów lub droga dla rowerów w tunelu albo na moście lub wiadukcie	●	6.7
Droga dla pieszych, droga dla pieszych i rowerów lub droga dla rowerów pod mostem lub wiaduktem	○	6.7
Przystanek transportu zbiorowego i dojście do przystanku	○	6.10
Przejazdy infrastruktury szynowej		
Przejazd kolejowo-drogowy kategorii A i B oraz przejście kategorii E	●	6.12
Przejazd kolejowo-drogowy kategorii C, D oraz przejazd kolejowo-drogowy lub przejście kategorii F	○	6.12
Przejazd tramwajowy	●	6.12
Pozostałe części drogi		
Plac	○	6.11
Parking, zatoka postojowa	○	6.14
Miejsce obsługi podróżnych wraz z wyjazdem i wjazdem	●	6.13
Miejsce poboru opłat	●	6.15
● – obligatoryjnie, ○ – fakultatywnie, z uwagi na BRD lub na podstawie dodatkowych wymagań		

Zasady oświetlenia drogi / części drogi

- Jezdnie na odcinkach poza obszarami skrzyżowań lub węzłów
- Obszar węzła
- Obszar skrzyżowania
- Zjazdy
- Drogi dla pieszych
- Drogi dla rowerów oraz drogi dla pieszych i rowerów
- Przejścia dla pieszych i urządzenia alternatywne
- Przejazdy dla rowerów
- Przystanki transportu zbiorowego
- Place
- Przejazdy tramwajowe i kolejowo-drogowe
- Miejsca obsługi podróżnych
- Parkingi i zatoki postojowe
- Miejsca poboru opłat
- Mosty i wiadukty
- Tunele drogowe
- Strefy przejściowe



Procedura projektowania oświetlenia - 1



Procedura projektowania oświetlenia - 2



Procedura projektowania oświetlenia - dane

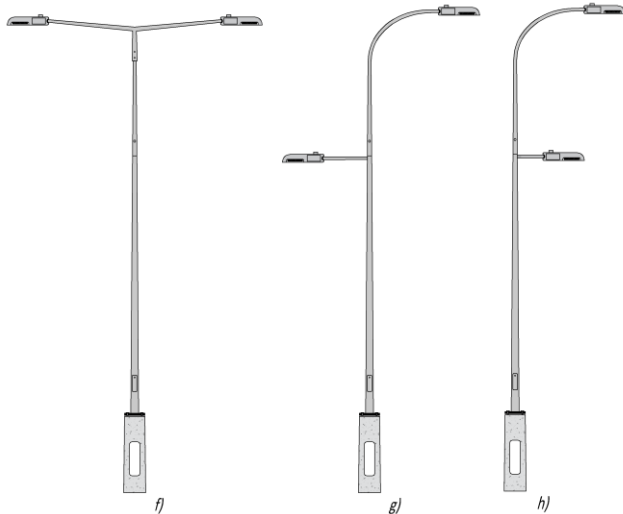
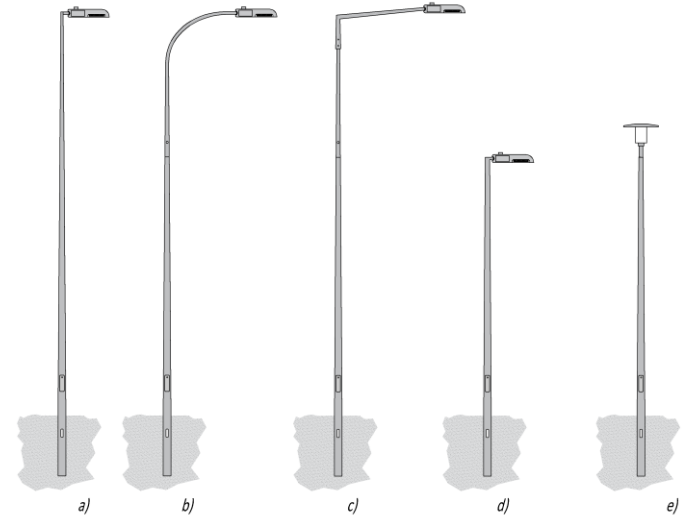
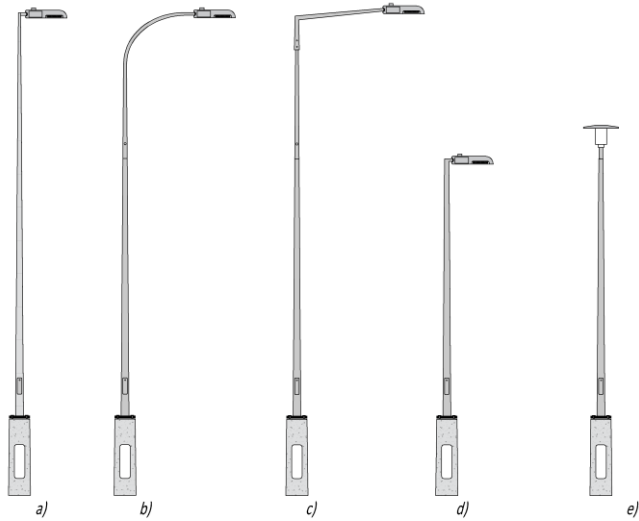
- Projektant poza wymaganymi danymi niezbędnymi do wyboru klasy oświetleniowej wynikającej z norm powinien posiadać informacje o:
 - a) **uczestnikach ruchu drogowego** (kierujących pojazdami, występowanie pieszych, kierujących rowerami, osoby o ograniczonej mobilności, itd.),
 - b) **prędkości do projektowania i prędkości dopuszczalnej,**
 - c) **natężeniu ruchu drogowego,**
 - d) **istniejących klasach oświetleniowych i zastosowanych oprawach,**
 - e) **planach rozbudowy** drogi lub zmiany jej funkcji,
 - f) **zagospodarowaniu** sąsiedztwa drogi,
 - g) **miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego** otoczenia drogi,
 - h) **prognozie ruchu drogowego w horyzoncie cyklu życia instalacji oświetleniowej,**
 - i) konieczności objęcia obszaru drogi **monitoringiem wizyjnym,**
 - j) **wymagań inwestora.**
- W przypadku każdej nowoprojektowanej drogowej instalacji oświetleniowej zaleca się zastosowanie **redukcji klasy oświetleniowej i związanych z tym układów redukcji strumienia świetlnego opraw oświetleniowych.**
- Wybór liczby przedziałów czasowych redukcji strumienia świetlnego (mocy) zależy głównie od rozkładu natężenia ruchu drogowego w porze nocnej i możliwości technicznych realizacji zakładanych poziomów oświetleniowych.

Wybór poziomu klasy M

Parametr	Wariant	Opis		Wartość wagi V_w
		Drogi o dwóch jezdniach głównych	Drogi o jednej jezdni głównej	
Prędkość V <max: V_{dop} , V_{dp} >	Bardzo wysoka	$V > 100$ [km/h]		2
	Wysoka	$70 < V \leq 100$ [km/h]		1
	Umiarkowana	$40 < V \leq 70$ [km/h]		-1
	Niska	$V \leq 40$ [km/h]		-2
Natężenie ruchu	Wysokie	> 65% maksymalnej przepustowości	> 45% maksymalnej przepustowości	1
	Umiarkowane	35-65% maksymalnej przepustowości	15-45% maksymalnej przepustowości	0
	Niskie	< 35% maksymalnej przepustowości	< 15% maksymalnej przepustowości	-1
Rodzaj ruchu	Mieszany z wysokim udziałem ruchu niezmotoryzowanych			2
	Mieszany			1
	Tylko zmotoryzowany			0
Rozdzielenie jezdni	Nie			1
	Tak			0
Gęstość skrzyżowań/ węzłów		liczba/km	liczba/km	
	Duża	> 3	< 3	1
	Normalna	≤ 3	≥ 3	0
Zaparkowane pojazdy	Istnieją			1
	Brak			0
Luminancja otoczenia	Wysoka	Witryny sklepowe, reklamy, dworce, obiekty sportowe, magazyny		1
	Umiarkowana	Normalne warunki		0
	Niska	-		-1
Trudność kierowania pojazdem	Bardzo trudno			2
	Trudno			1
	Łatwo			0
				Suma wartości wag V_{ws}

$$M = 6 - V_{ws}$$

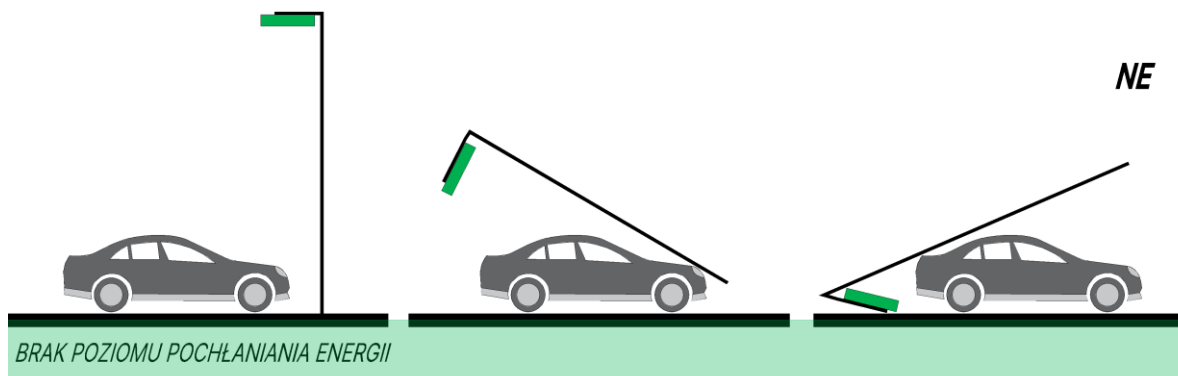
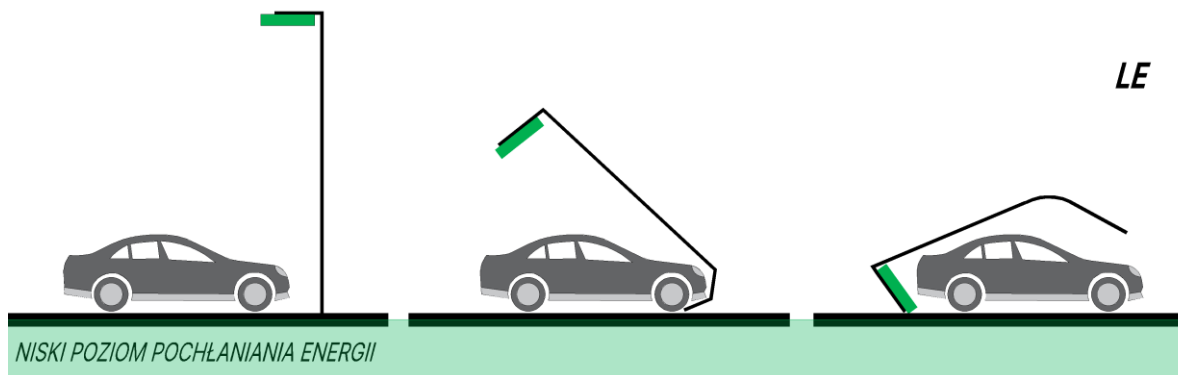
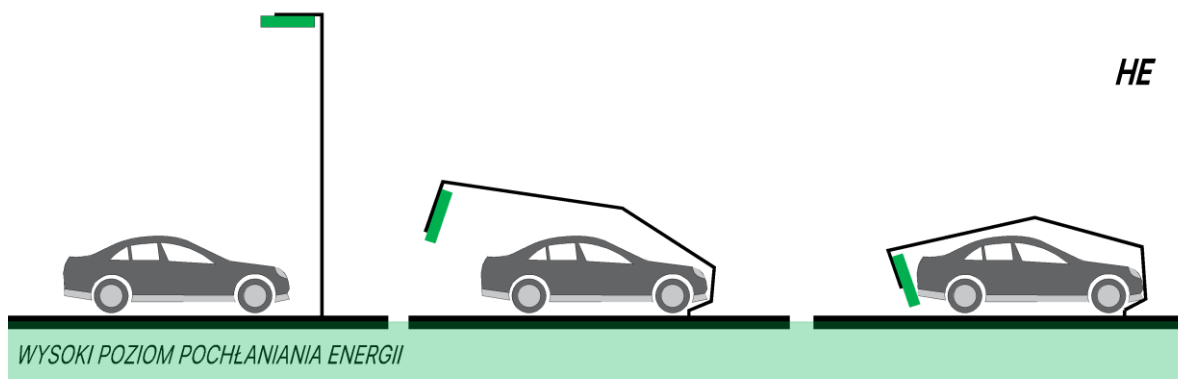
Typowe konstrukcje słupów oświetleniowych



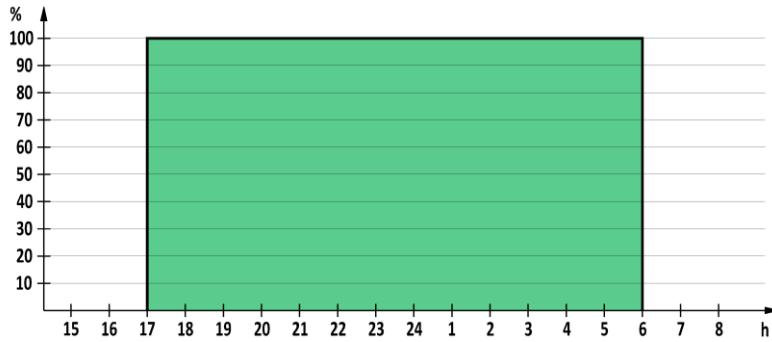
Przykłady sylwetek i elementów słupów oświetleniowych montowanych na fundamentach prefabrykowanych

Przykłady sylwetek i elementów słupów oświetleniowych instalowanych w gruncie

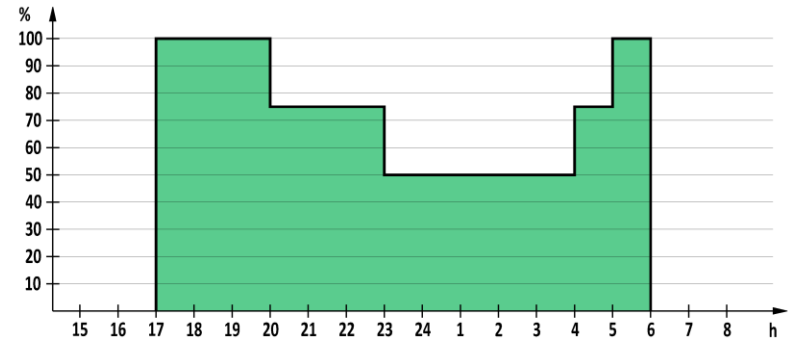
Wymagania dla słupów oświetleniowych – poziomy pochłaniania energii



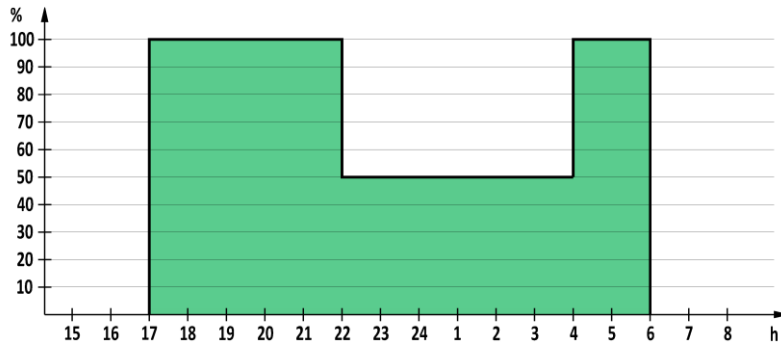
Scenariusze redukcji klasy oświetleniowej (strumienia, mocy)



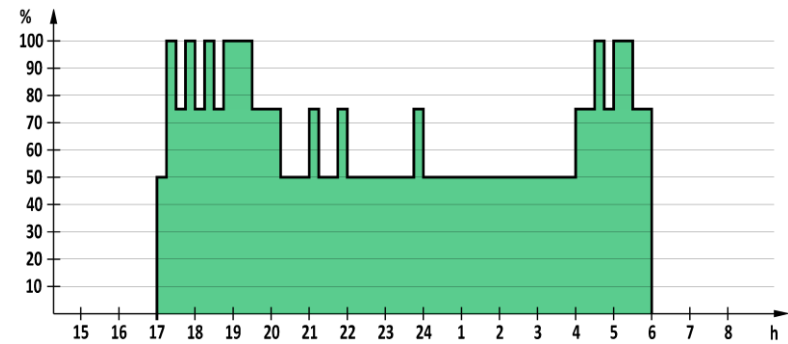
Przykładowy stałoczasowy profil pracy instalacji oświetlenia drogowego – jeden poziomy strumienia świetlnego (mocy) 100% przez cały czas pracy instalacji.



Przykładowy stałoczasowy profil pracy instalacji oświetlenia drogowego – trzy poziomy redukcji strumienia świetlnego (mocy) poza godzinami szczytu komunikacyjnego, stopniowo o dwie klasy oświetleniowe.



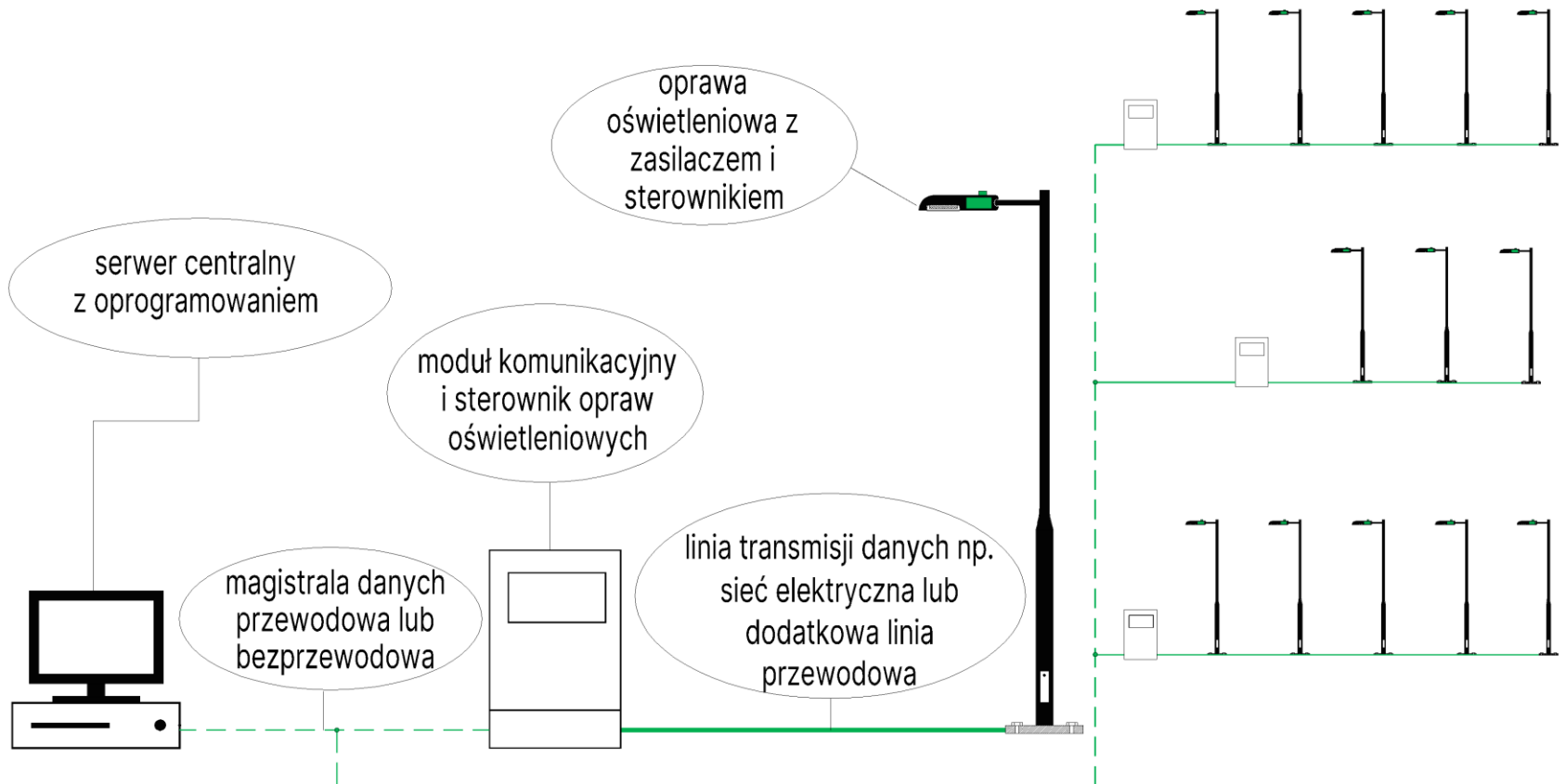
Przykładowy stałoczasowy profil pracy instalacji oświetlenia drogowego – dwa poziomy redukcji strumienia świetlnego (mocy) poza godzinami szczytu komunikacyjnego do jednej, niższej klasy oświetleniowej.



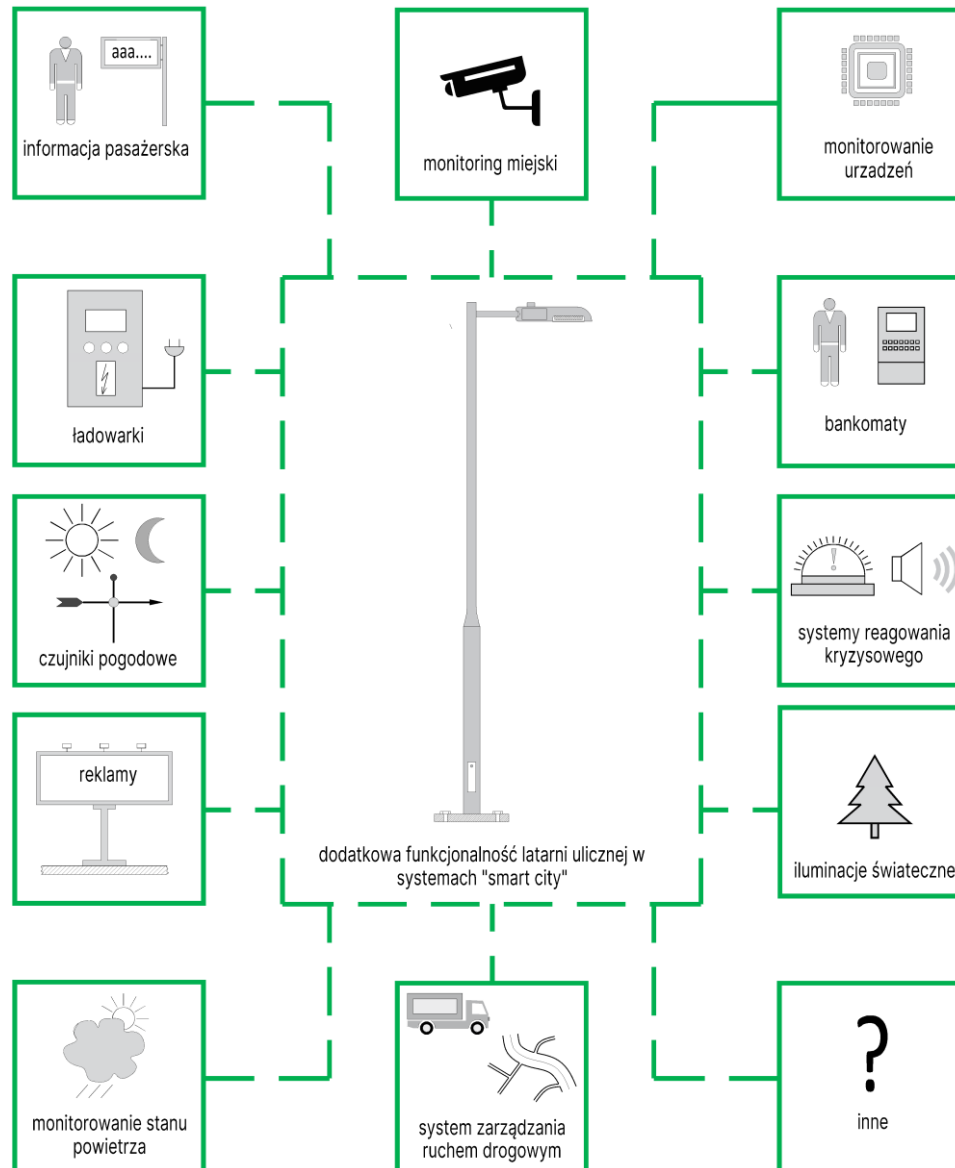
Przykładowy dynamiczny profil pracy instalacji oświetlenia drogowego – trzy poziomy redukcji strumienia świetlnego (mocy) o dwie klasy oświetleniowe, sterowanie dynamiczne, np. na podstawie zmiany natężenia ruchu lub obecności pojazdów.

Typowe systemy sterowania oświetleniem

- Typowe systemy zarządzania oświetleniem:
 - a) autonomiczne sterowanie oświetleniem,
 - b) systemy telezarządzania,
 - c) sterowanie zintegrowane z platformami Smart City.



Sterowanie zintegrowane z platformami Smart City



Energochłonność rozwiązania

- **Wskaźniki efektywności energetycznej należy stosować na etapie wyboru projektu.**
- Na energochłonność przyjętego rozwiązania oświetlenia drogowego wpływają głównie:
 - a) formalne wymagania normatywne** – realizowana klasa oświetleniowa i jej poziom,
 - b) rodzaje zastosowanych **źródeł światła i konstrukcji opraw** oświetleniowych,
 - c) geometria i przekrój drogi (**powierzchnia oświetlana**),
 - d) zastosowany **system ustawienia słupów** i opraw oświetlenia drogowego,
 - e) klasa odbiciowa** nawierzchni drogowej,
 - f) realizowany **harmonogram redukcji strumienia świetlnego (mocy)** opraw oświetleniowych (np. adaptacyjny lub stały) i wynikający stąd czas pracy instalacji,
 - g) pasożytnicze zużycie energii** przez urządzenia oświetleniowe w okresie, gdy oświetlenie nie jest wykorzystywane (np.: przez system sterowania),
 - h) przyjęte procedury eksploatacji** i wynikające z nich czasookresy konserwacji instalacji.

Wskaźniki energetyczne

- a) **Wskaźnik gęstości mocy (PDI) Power Density Indicator D_p** dla danego odcinka oświetlonego oświetleniem drogowym, podzielonego na podobszary:

$$D_p = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n (\bar{E}_i * A_i)} \quad [W * lx^{-1} * m^{-2}]$$

gdzie:

D_p – wskaźnik gęstości mocy [$W \cdot lx^{-1} \cdot m^{-2}$],

\bar{E}_i – średnie poziome natężenie oświetlenia z podobszaru i [lx],

P_i – moc instalacji oświetleniowej stosowanej do oświetlenia odpowiednich obszarów i [W],

A_i – powierzchnia podobszaru oświetlonego przez instalację oświetleniową [m^2],

n – liczba oświetlanych obszarów.

- b) **Wskaźnik rocznego zużycia energii D_E (AECI) Annual Energy Consumption Indicator:**

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j * t_j)}{A} \quad [Wh * m^{-2}]$$

gdzie:

D_E - roczny wskaźnik zużycia energii dla instalacji oświetlenia drogowego [$Wh \cdot m^{-2}$],

P_j – moc operacyjna związana z j -tym okresem eksploatacji [W],

t_j – czas trwania j -tego okresu eksploatacji gdy P_j jest zużywana w ciągu roku [h],

A – powierzchnia obszaru oświetlonego przez ten sam układ oświetlenia [m^2],

m – liczba okresów o różnej mocy instalacji P_j ; brany jest również pod uwagę okres spoczynkowy zasilania (częstkowe zużycie energii).

Wskaźniki energetyczne – Wartości referencyjne

5 ZAŁĄCZNIK TECHNICZNY I: WARTOŚCI REFERENCYJNE PDI I AECI

	Rok	Poziom ambicji i szerokość drogi (przeznaczonej do oświetlenia)											
		Podstawowe ≤5 m	Kompleksowe ≤5 m	Podstawowe 5-6 m	Kompleksowe 5-6 m	Podstawowe 6-7 m	Kompleksowe 6-7 m	Podstawowe 7-8 m	Kompleksowe 7-8 m	Podstawowe 8-9 m	Kompleksowe 8-9 m	Podstawowe ≥9 m	Kompleksowe ≥9 m
Wartości referencyjne PDI $W \times lx^{-1} \times m^{-2}$ $= 1/(\text{skuteczność oprawy oświetleniowej} \times \text{częstość występowania mutacji} \times \text{współczynnik użytkowania})$	lata 2018-19	0,023	0,018	0,020	0,016	0,018	0,015	0,016	0,013	0,014	0,012	0,014	0,012
	lata 2020-21	0,021	0,016	0,018	0,015	0,015	0,013	0,014	0,011	0,012	0,011	0,012	0,011
	lata 2022-23	0,018	0,014	0,016	0,013	0,014	0,012	0,012	0,010	0,011	0,010	0,011	0,010
„Wartości bazowe” AECI $kWh \times m^{-2} \times r^{-1} \times lx^{-1}$ (zasadniczo PDI x 0,001 kW/W x 4015 g/r i x 1,00 (podstawowe) lub 0,73 (kompleksowe) współczynnik przyciemniania)	lata 2018-19	0,094	0,053	0,081	0,048	0,071	0,044	0,063	0,038	0,057	0,035	0,057	0,035
	lata 2020-21	0,083	0,047	0,071	0,042	0,062	0,039	0,055	0,033	0,050	0,031	0,050	0,031
	lata 2022-23	0,074	0,042	0,063	0,038	0,055	0,035	0,049	0,030	0,044	0,028	0,044	0,028

Źródło: Unijne kryteria zielonych zamówień publicznych na oświetlenie drogowe i sygnalizację świetlną UE, Bruksela, dnia 10.12.2018 r. SWD(2018) 494 final

Wskaźniki środowiskowe



Krajowy Ośrodek Bilansowania
i Zarządzania Emisjami
Instytut Ochrony Środowiska
Państwowy Instytut Badawczy

WSKAŹNIKI EMISYJNOŚCI

CO₂, SO₂, NO_x, CO i pyłu całkowitego
DLA ENERGII ELEKTRYCZNEJ

na podstawie informacji zawartych w Krajowej bazie o emisjach
gazów cieplarnianych i innych substancji za 2020 rok



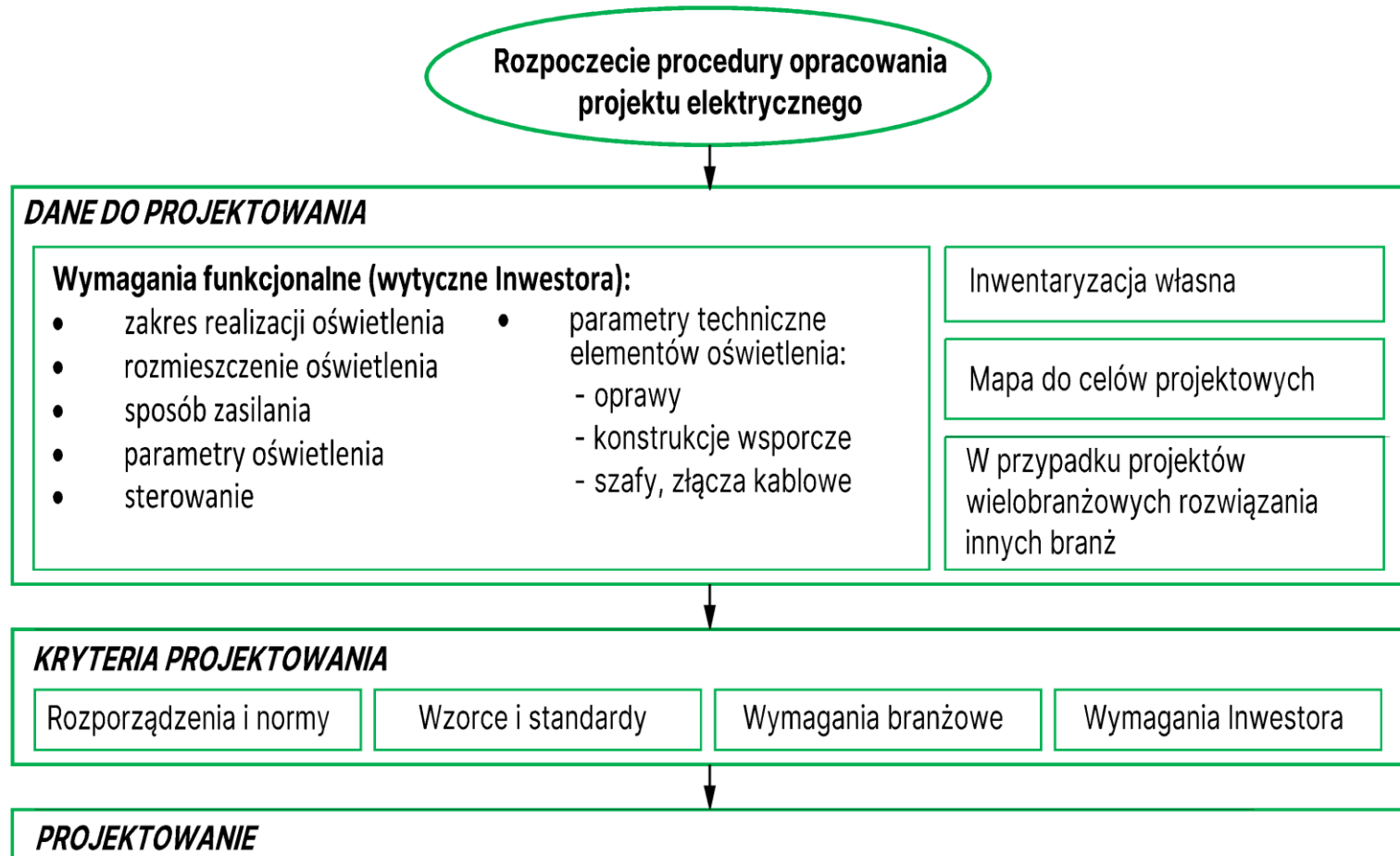
Sfinansowano ze środków
Narodowego Funduszu
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

Wskaźniki emisji w [kg/MWh] dla odbiorców końcowych energii elektrycznej 2020:

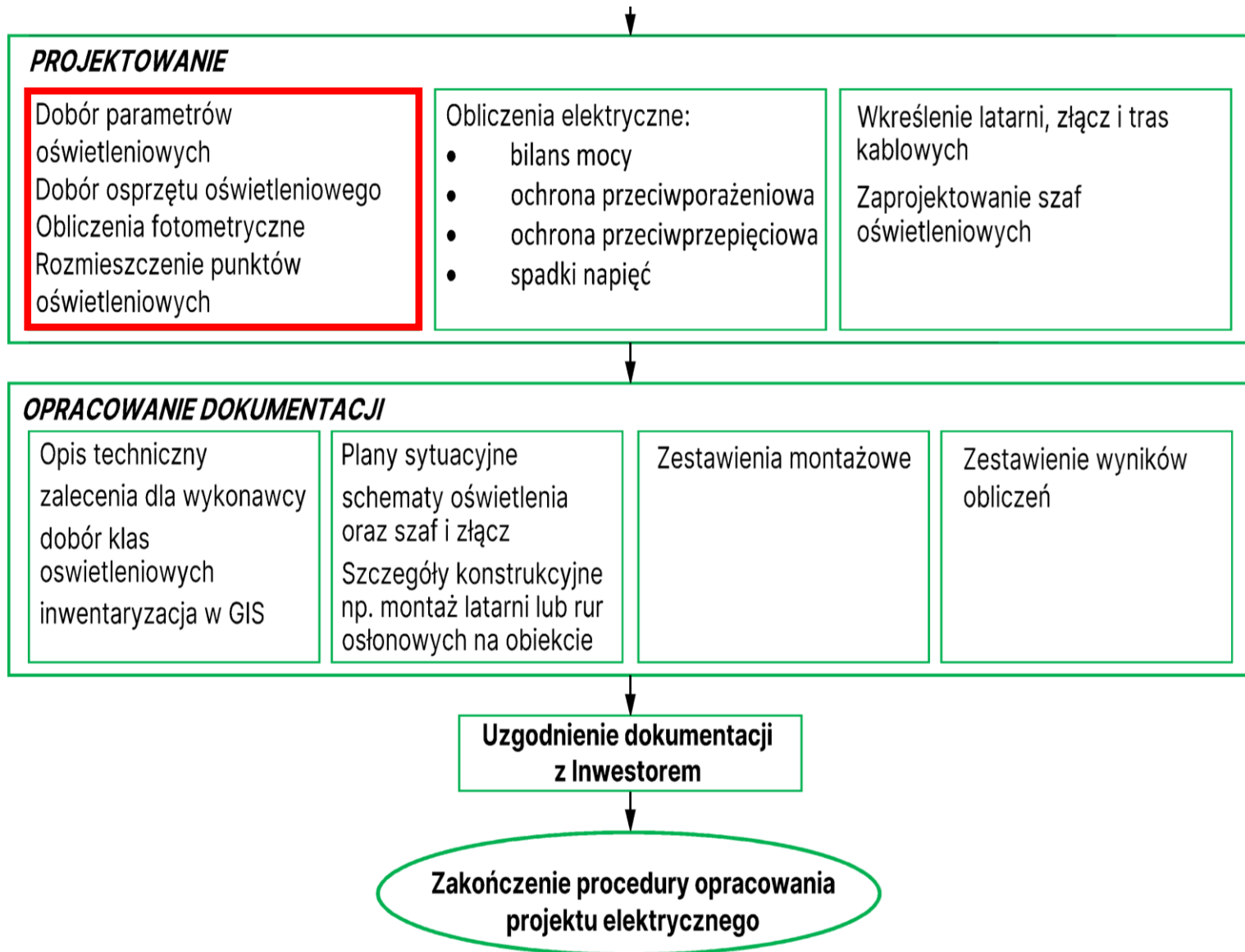
	[kg/MWh]
Dwutlenek węgla (CO ₂)	698
Tlenki siarki (SO _x /SO ₂)	0,509
Tlenki azotu (NO _x /NO ₂)	0,522
Tlenek węgla (CO)	0,203
Pył całkowity	0,026

Źródło: Wskaźniki emisyjności CO₂, SO₂, NO_x, CO i pyłu całkowitego dla energii elektrycznej na podstawie informacji zawartych w Krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2020 rok, Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, 2021.

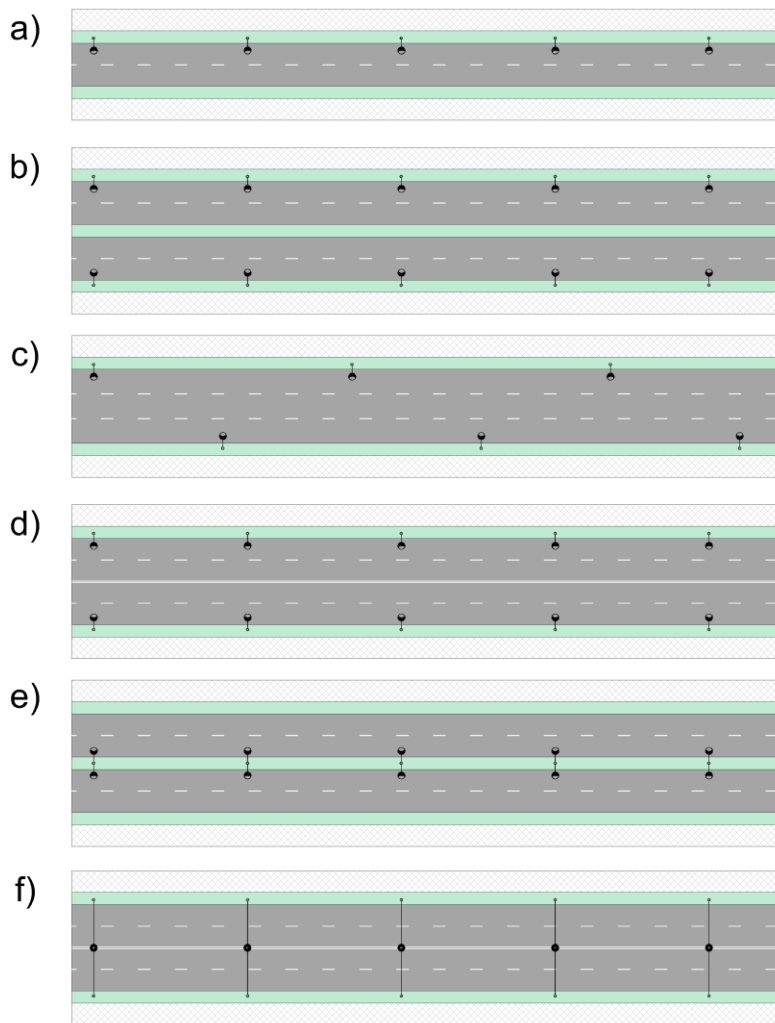
Procedura opracowania projektu instalacji elektrycznej - 1



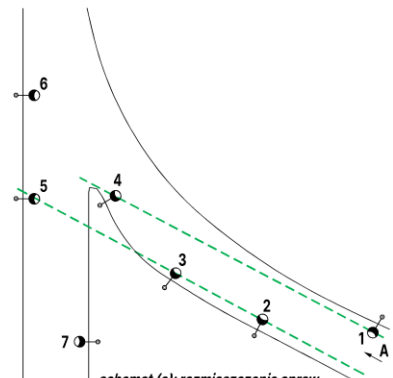
Procedura opracowania projektu instalacji elektrycznej - 2



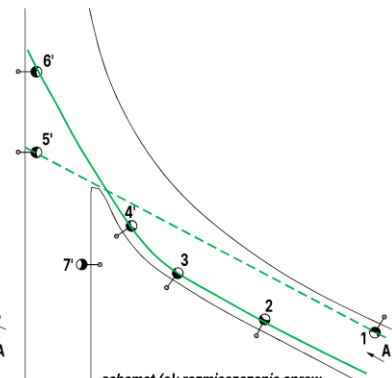
Wybór systemu oświetlenia drogi



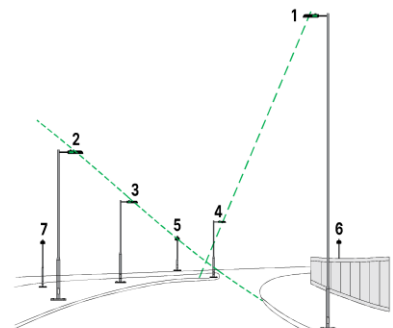
a) jednostronny na drodze jednojezdniowej, b) jednostronny na drodze dwujezdniowej, c) naprzemianległy, d) naprzeciwny, e) jednostronny w pasie dzielącym, f) przewieszkowy



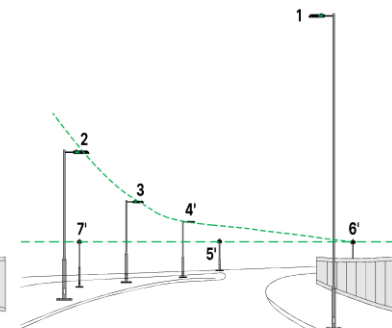
schemat (a): rozmieszczenie opraw oświetleniowych w obszarze włączenia do drogi głównej



schemat (c): rozmieszczenie opraw oświetleniowych w obszarze włączenia do drogi głównej



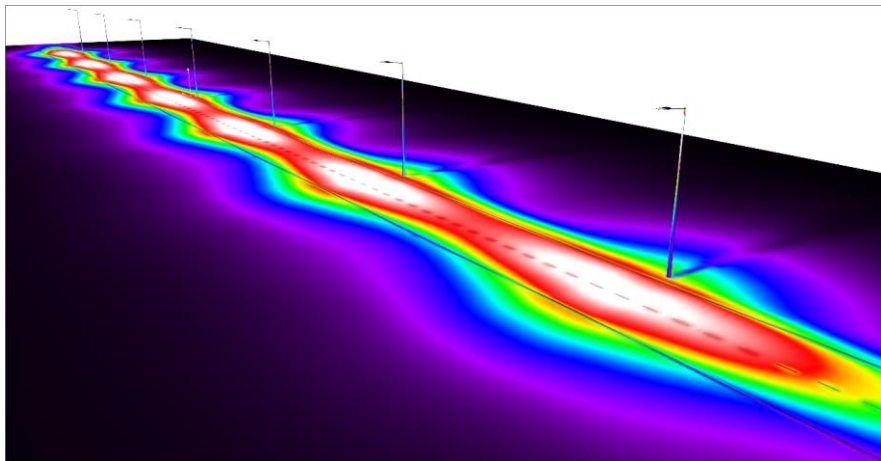
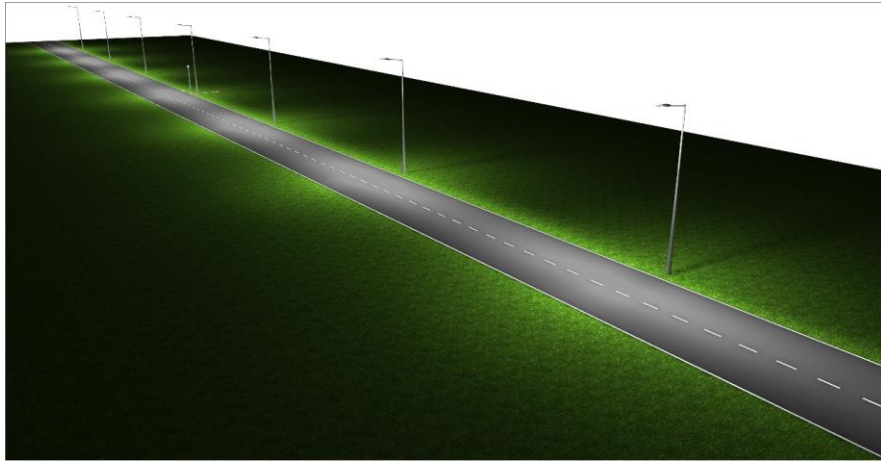
schemat (b): widok z punktu A (ustawienie mogące wprowadzać w błąd)



schemat (d): widok z punktu A (sugerowana zmiana lokalizacji)

Przykładowe rozmieszczenie opraw oświetleniowych na łuku przy włączeniu do drogi głównej zapewniające nieprawidłowe (schemat a-b) i prawidłowe prowadzenie wzrokowe (schemat c-d)

System jednostronny na drodze jednojezdniowej



Główne cechy:

- Latarnie po jednej stronie drogi.
- System najczęściej spotykany.

Zastosowanie:

- Drogi o typowych i wąskich jezdniach (typowy przekrój 1x 3,5-9m).

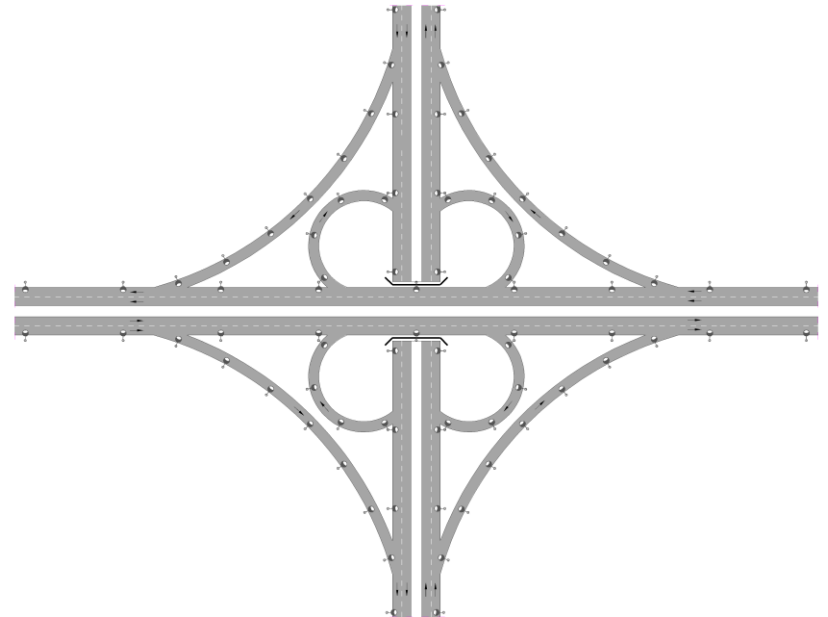
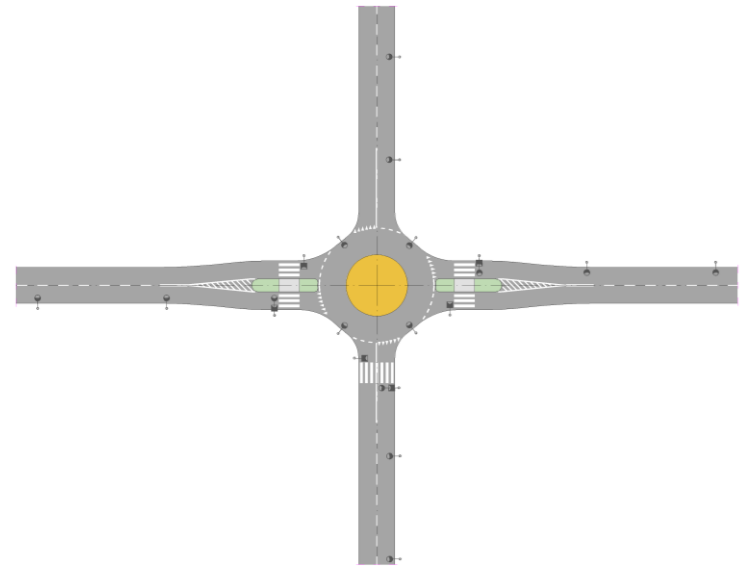
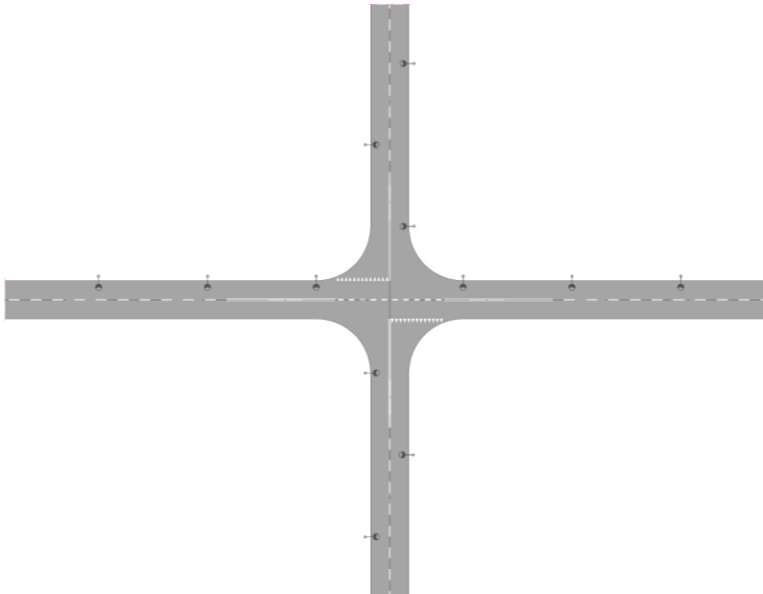
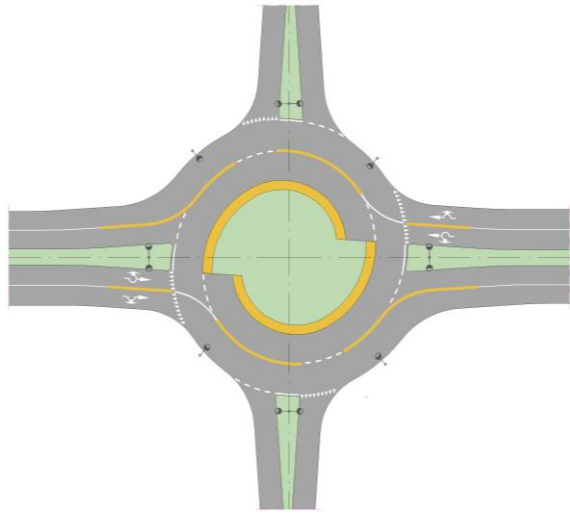
Zalety:

- Względnie niskie koszty inwestycyjne (zasilanie po jednej stronie, oszczędność słupów i opraw itp.).

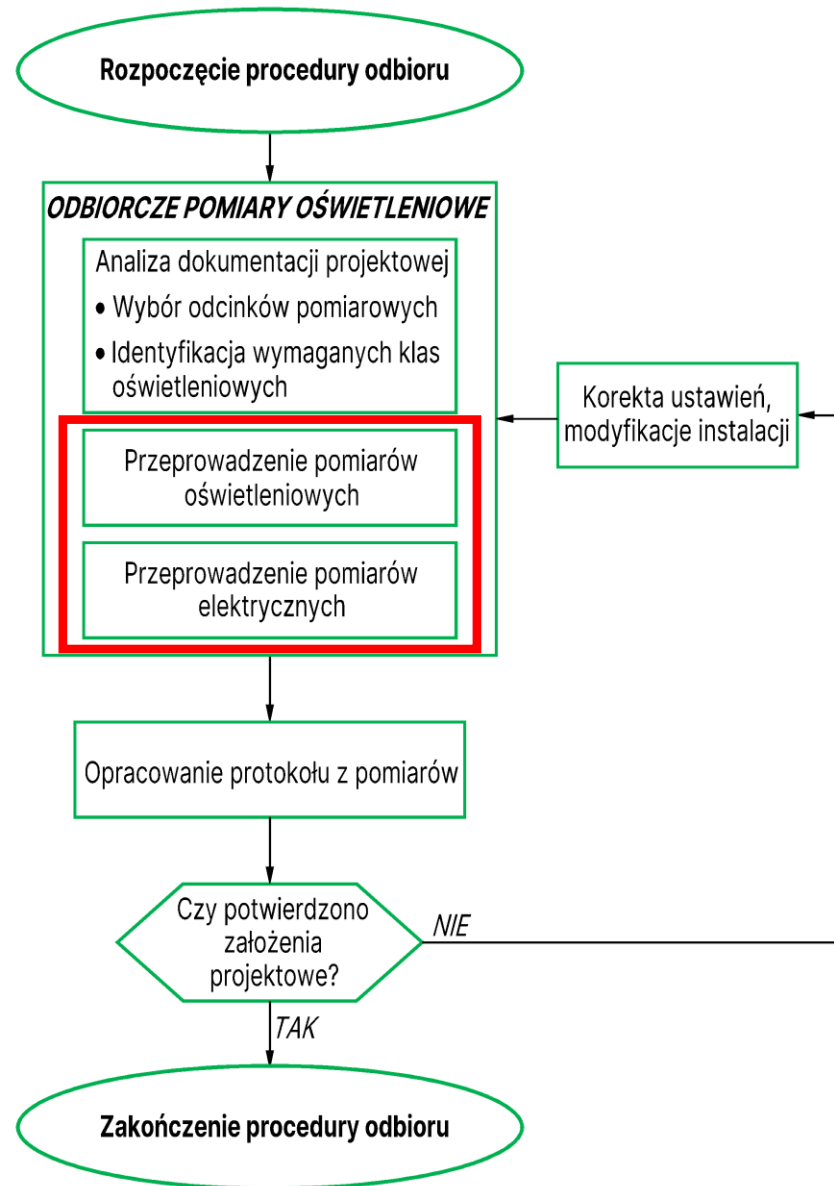
Wady:

- Niska równomierność oświetlenia.
- Prawidłowe oświetlenie chodnika po stronie latarni
- Lepiej oświetlony pas ruchu po stronie latarni.

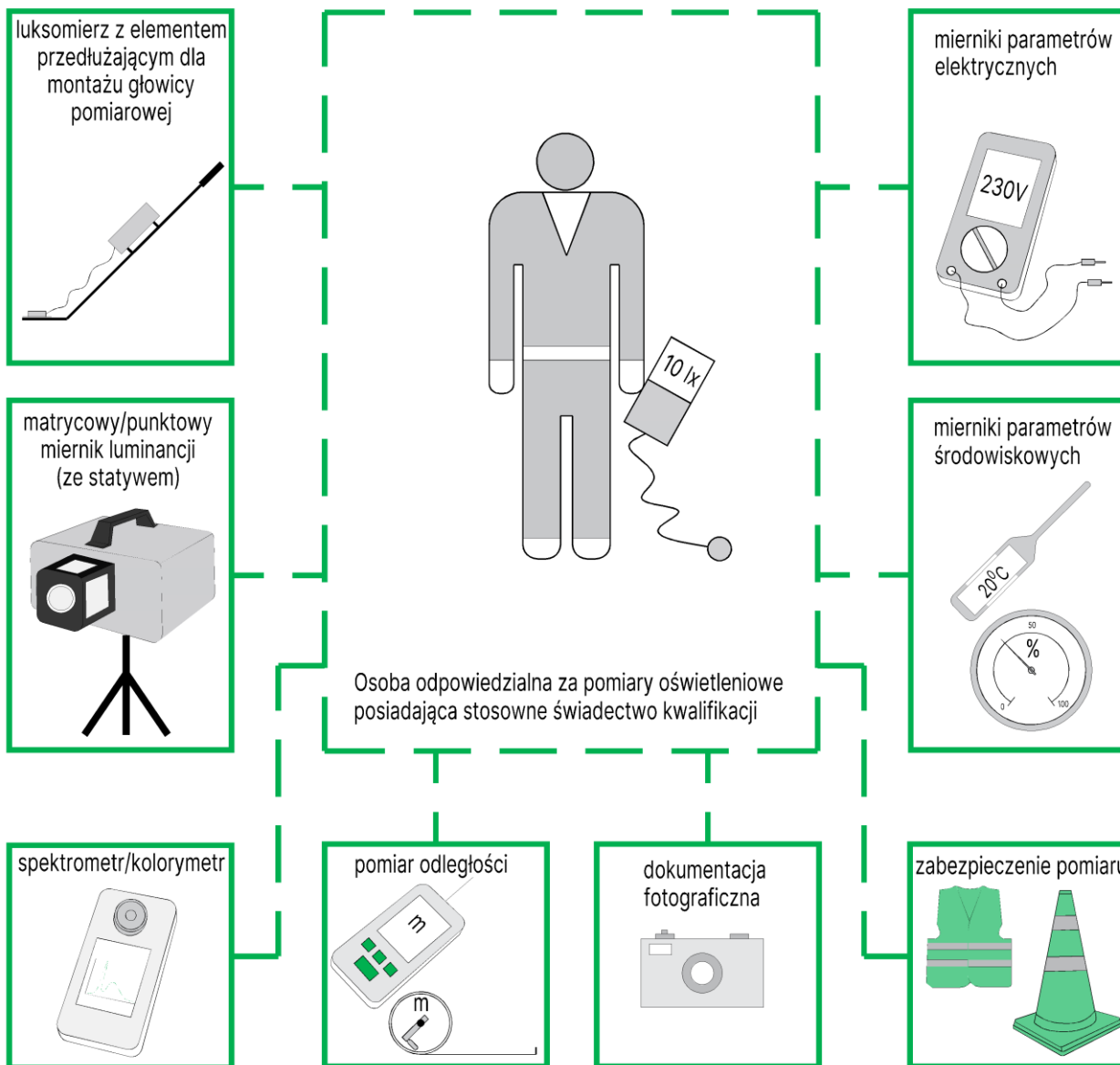
Przykłady usytuowania słupów



Procedura odbioru rozwiązań oświetleniowych



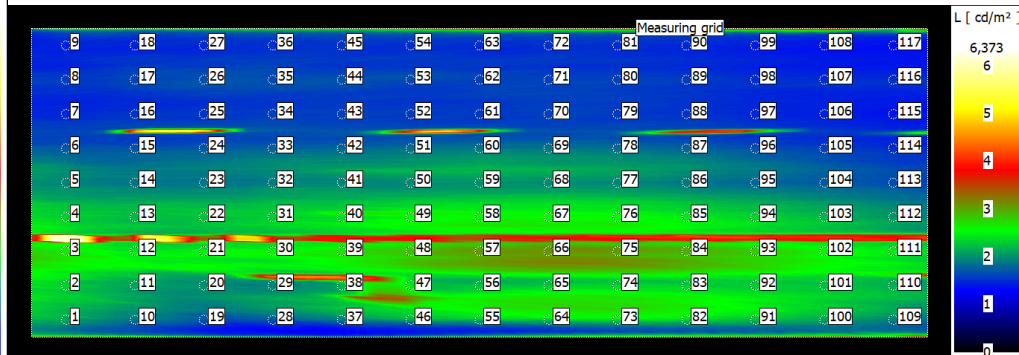
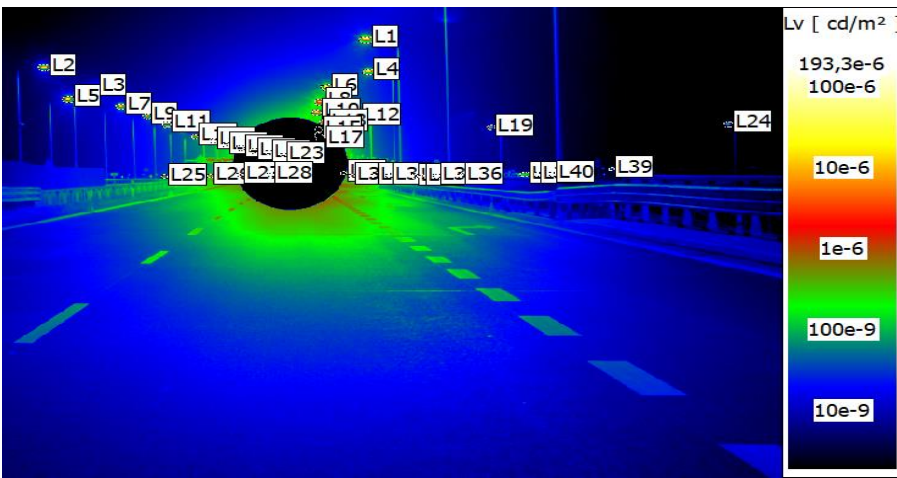
Przyrządy pomiarowe



Pomiary oświetleniowe luminancji - 2

Luminancja

Przeliczenie zmierzonych wartości i odniesienie do wymagań normy PN-EN 13-201:2016

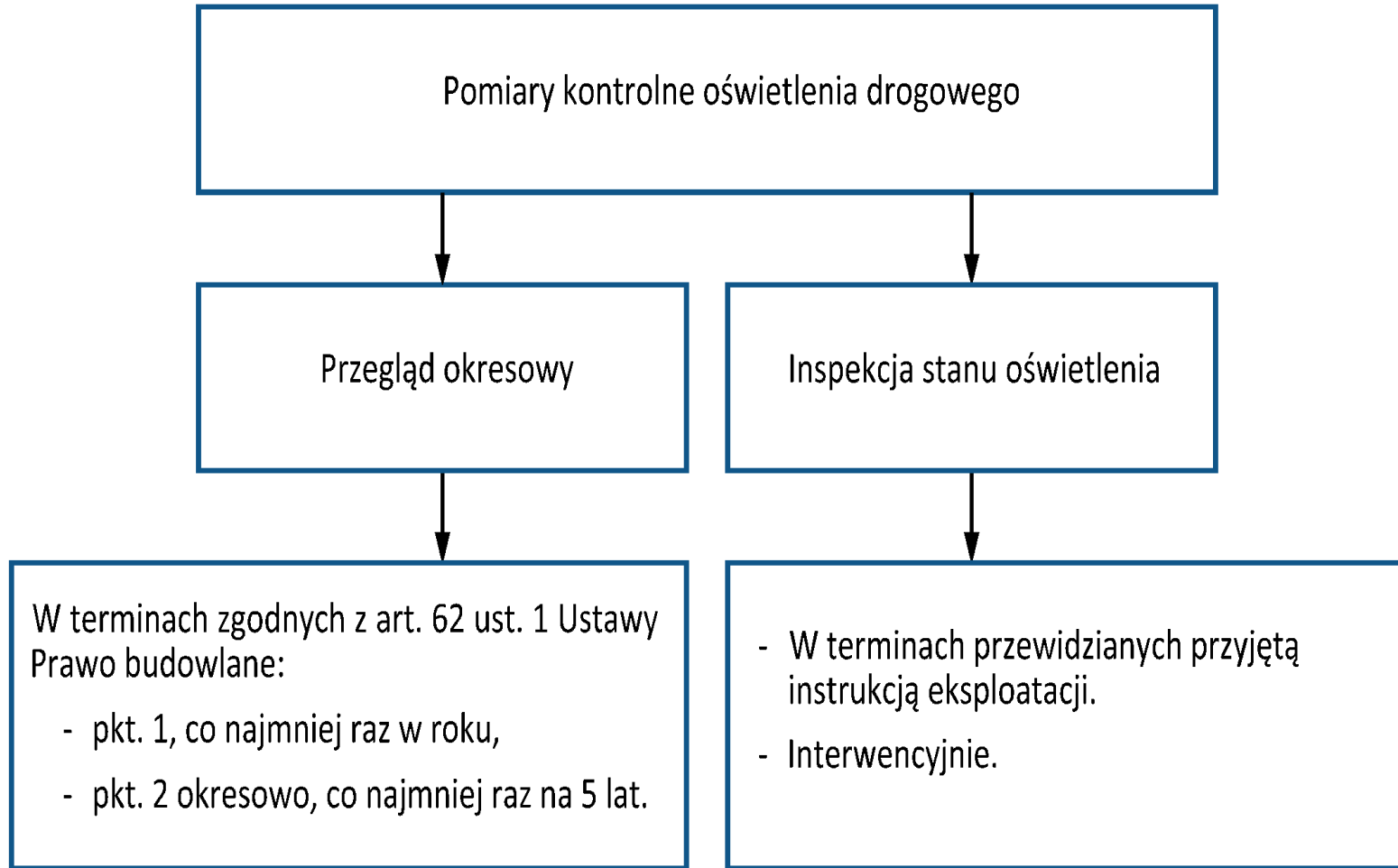


Pomiary przyrostu wartości progowej kontrastu F_n

Transformowany do widoku z góry rozkład luminancji z pozycji obserwatora 2

Parametr	wartość	jednostka	Norma M2	zgodny
Luminancja średnia [L _{sr}]	1,90	cd/m^2	1,5	TAK
Równomierność wzdłużna U_1	0,69	-	0,7	TAK
Równomierność ogólna U_0	0,68	-	0,4	TAK
Przyrost wartości progowej kontrastu F_n	0,54	[%]	10	TAK

Terminy pomiarów kontrolnych

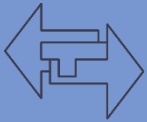


Wnioski

- Projektowanie instalacji wymaga **przygotowania niezbędnych danych (wymagana współpraca branż: elektrycznej i drogowej)**.
- Budowa nowej i modernizacja instalacji powinna zakładać przyjęcie i realizację **klasy oświetlenia drogowego**.
- Nowa lub modernizowana instalacja oświetlenia drogowego musi spełniać **wymagania energetyczne i ekologiczne**.
- Pomiarzy powinny być wykonywane **na każdym etapie życia instalacji oświetleniowej i są niezbędne** do potwierdzenia wymaganych parametrów projektowych.
- **Audyt oświetleniowy** jest podstawą prowadzenia wszelkich prac modernizacyjnych.
- **Wymagane kontrole** w trakcie eksploatacji (**co 5 lat pełne badania oświetleniowe**).

Wnioski

- **Uporządkowano** obszar przygotowania inwestycji drogowych, związany z zagadnieniem oświetlenia dróg zamiejskich i ulic.
- **Ujednolicono** zasady projektowania, instalowania, odbioru i utrzymania urządzeń do oświetlenia dróg publicznych.
- Opisane zasady wynikają z wymagań norm:
 - **PN-EN 13201:2016 Oświetlenie dróg.**
 - **PN-EN 12464-2:2014-05 Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 2: Miejsca pracy na zewnątrz.**
- Zaleca się korzystanie z zaleceń norm branżowych oraz **Wzorców i standardów (WiS - Ministerstwo Infrastruktury)** na każdym etapie cyklu życia instalacji.



**Wydział
Transportu**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

**I Forum Wytycznych i Standardów
– nowe trendy i wyzwania**

Dziękuję za uwagę

dr hab. inż. Piotr Tomczuk, prof. uczelni

**Politechnika
Warszawska**

Kraków 17-18 listopada 2022

