

**AUDYT OŚWIELTENIA ULICZNEGO
NA TERENIE MIASTA GMINY BRODNICA**

dla opraw oświetleniowych będących własnością Gminy Miasta
Brodnica

Województwo: kujawsko-pomorskie

Powiat: brodnicki

Jednostka ewidencyjna: 040201_1

Zamawiający: Urząd Miasta Brodnica,
ul. Kamionka 23, 87-300 Brodnica

Jednostka projektowa: Usługi Projektowe Artur Łukaszewski
Gortatowo 28b, 87-300 Brodnica

Brodnica, maj 2025 r.

SPIS TREŚCI

1.	OŚWIADCZENIE	3
2.	Informacje ogólne	4
2.1.	Podstawa opracowania.....	4
2.2.	Zakres opracowania.....	4
2.3.	Podstawy prawne	4
3.	Opis i ocena stanu aktualnego	6
3.1.	Oprawy oświetlenia ulicznego	6
4.	Wybór klas oświetleniowych	7
4.1.	Wyznaczenie współczynnika zapasu	9
5.	Analiza techniczno-technologiczna	11
5.1.	Oprawy oświetlenia ulicznego	12
5.2.	Efektywność energetyczna	12
5.3.	Trwałość użytkowa	13
5.4.	Parametry kolorymetryczne światła	13
5.5.	Parametry techniczne opraw LED	14
5.6.	Redukcja strumienia świetlnego oprawy	20
5.7.	Wnioski.....	20
6.	Plan modernizacji oświetlenia ulicznego	20
6.1.	Zakres modernizacji.....	20
6.2.	Obliczenia fotometryczne	20
6.3.	Analiza stanu aktualnego	21
6.4.	Wymiana opraw na oprawy w technologii LED	22
6.5.	Analiza energetyczna	23
6.6.	Efekt ekologiczny i redukcje emisji	24
7.	Podsumowanie	24

1. OŚWIADCZENIE

Ja niżej podpisany oświadczam, że audyt oświetlenia ulicznego na terenie gminy i miasta Brodnica został opracowany zgodnie z obowiązującym prawem oraz zasadami wiedzy technicznej.

Brodnica, dn. 31.05.2025 r.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Artur Lulek', is written over a faint, rectangular red stamp.

2. Informacje ogólne

2.1. Podstawa opracowania

Podstawą niniejszego pracowania są:

- zlecenie zamawiającego,
- wizje lokalnej w terenie,
- obowiązujące normy i zasady wiedzy technicznej.

2.2. Zakres opracowania

Przedmiotem niniejszego audytu jest:

- przedstawienie koncepcji modernizacji oświetlenia ulicznego na terenie Miasta Brodnica
- wskazanie zasadności podjęcia zadania - modernizacji oświetlenia ulicznego

W audycie uwzględniono usprawnienia umożliwiające uzyskanie oszczędności energii: zastosowanie energooszczędnych źródeł światła i opraw oświetleniowych.

Wykonanie audytu poprzedzono wizją lokalną, podczas której wykonano inwentaryzację istniejącej infrastruktury oświetlenia ulicznego w obrębie Miasta Brodnica.

2.3. Podstawy prawne

Dla celów niniejszego opracowania, zastosowane zostały wytyczne normy PN-EN 13201:2016. Zastępują one dotychczasową wersję normy PN-EN 13201:2007 Oświetlenie dróg. Nowa norma PN-EN 13201:2016 Oświetlenie dróg składa się z pięciu części:

- CEN/TR 13201-1:2016-02 Oświetlenie dróg – Część 1: Wytyczne dotyczące,
- 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.

Ustawa z dnia 8 marca 1990 roku o samorządzie gminnym. Art. 7.1. Zaspokajanie zbiorowych potrzeb wspólnoty należy do zadań własnych gminy. W szczególności zadania własne obejmują sprawy:

- ładu przestrzennego, gospodarki nieruchomościami, ochrony środowiska i przyrody oraz gospodarki wodnej,
- Gminnych dróg, ulic, mostów, placów oraz organizacji ruchu drogowego.

Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 roku - Prawo energetyczne. Art. 18.1. Do zadań własnych gminy w zakresie zaopatrzenia w energię elektryczną ciepło i paliwa gazowe należy:

- planowanie i organizacja zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe na obszarze gminy,
- planowanie oświetlenia znajdujących się na terenie gminy:
 - a) miejsc publicznych,
 - b) dróg gminnych, dróg powiatowych i dróg wojewódzkich,
 - c) dróg krajowych, innych niż autostrady i drogi ekspresowe w rozumieniu ustawy z dnia 21 marca 1985 r. o drogach publicznych (Dz. U. z 2016 r. poz. 1440, 1920, 1948 i 2255), przebiegających w granicach terenu zabudowy,
- planowanie i organizacja działań mających na celu racjonalizację zużycia energii i promocję rozwiązań zmniejszających zużycie energii na obszarze gminy.

Ustawa z dnia 20 maja 2016 roku o efektywności energetycznej. Art.6.1. Jednostka sektora publicznego realizuje swoje zadania, stosując co najmniej jeden ze środków poprawy efektywności energetycznej, o których mowa w ust. 2, zwanych dalej „środkami poprawy efektywności energetycznej”.

Art.6.2. Środkami poprawy efektywności energetycznej są:

- a) realizacja i finansowanie przedsięwzięcia służącego poprawie efektywności,
- b) nabycie urządzenia, instalacji lub pojazdu, charakteryzujących się niskim zużyciem energii oraz niskimi kosztami eksploatacji,
- c) wymiana eksploatowanego urządzenia, instalacji lub pojazdu na urządzenie instalację lub pojazd, o których mowa w pkt 2, lub ich modernizacja.

3. Opis i ocena stanu aktualnego

Charakterystyka stanu istniejącego została opracowana na podstawie materiałów przekazanych przez Zamawiającego w postaci zestawień istniejącego oświetlenia ulicznego w plikach Excel. Dodatkowo przeprowadzono inwentaryzację wskazanego przez Zamawiającego majątku poprzez wizje w terenie.

3.1. Oprawy oświetlenia ulicznego

W wyniku inwentaryzacji przeanalizowano 886 sztuk opraw oświetleniowych, w tym opraw energooszczędnych typu LED, opraw rtęciowych oraz opraw sodowych.

Z uwagi na to, że oprawy energooszczędne typu LED charakteryzują się bardzo długą żywotnością, zostały wyłączone z niniejszego audytu.

Zakres objęty audytem zawiera oprawy w dużej mierze wyeksploatowane, które nie spełniają wymaganej funkcji technicznej, jak również oprawy w dobrym stanie technicznym charakteryzujące się dużą energochłonnością.

Z tego zakresu wytypowano **886 punktów świetlnych do wymiany**.

Na potrzeby audytu przyjęto następujące moce opraw, uwzględniając moc źródła oraz straty na stateczniku elektromagnetycznym.

Moc źródła przed modernizacją [W]	Moc źródła uwzględniająca straty [W]	Ilość opraw	Sumaryczna moc
70	83	16	1 328
100	115	447	51 405
150	168	406	68 208
250	275	17	4 675

Suma mocy zainstalowanych opraw w miejscowościach na terenie miasta bez uwzględnienia strat na sieci elektroenergetycznej wynosi **125 616 W**.

4. Wybór klas oświetleniowych

Aby właściwie zaplanować modernizację i wymianę opraw oświetleniowych, konieczne jest przeprowadzenie szczegółowej analizy oraz przypisanie odpowiednich klas oświetleniowych do poszczególnych odcinków dróg i ulic. Zgodnie z normą PN-EN 13201-1:2016, na drogach przeznaczonych dla ruchu pojazdów poruszających się z prędkościami powyżej 60 km/h należy uwzględnić wymagania dotyczące widoczności umożliwiającej bezpieczne zatrzymanie pojazdu. W takich przypadkach długość drogi hamowania lub dystans potrzebny do zauważenia przeszkody wynosi od 60 do 160 metrów, w zależności od prędkości jazdy.

Oświetlenie drogowe powinno być zaprojektowane tak, aby kierowcy mogli szybko i wyraźnie dostrzegać potencjalne zagrożenia. Kluczowe jest, by przeszkody były widoczne z odpowiedniego dystansu, zapewniając czas na reakcję i zatrzymanie pojazdu. Należy przy tym pamiętać, że kierowca patrzy na jezdnię pod kątem około 1° w dół, co sprawia, że struktura i materiał nawierzchni – a więc jej właściwości odbijające światło – mają istotny wpływ na skuteczność oświetlenia.

Na drogach przypisanych do klas oświetleniowych M podstawowym parametrem oceny jakości oświetlenia jest luminancja, czyli jasność postrzegana przez obserwatora. Luminancja zależy zarówno od właściwości nawierzchni, jak i od kierunku padania światła oraz kąta obserwacji. Ma ona kluczowe znaczenie w rozpoznawaniu kontrastu między jezdnią a przeszkodą, takim jak pieszy lub przedmiot na drodze. Odpowiedni poziom luminancji umożliwia szybszą identyfikację zagrożeń, co przekłada się na wyższy poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Choć metoda analizy luminancji znajduje główne zastosowanie na drogach o wyższych prędkościach, jest ona również przydatna na ulicach o mniejszym natężeniu ruchu i niższych prędkościach. Mimo że w takich przypadkach zmienia się zależność między prędkością a drogą hamowania, zdolność kierowcy do dostrzegania przeszkód nadal zależy przede wszystkim od kontrastu luminancji. Dlatego odpowiednio dobrane oświetlenie, uwzględniające ten parametr, pozostaje kluczowe zarówno dla bezpieczeństwa, jak i dla efektywnego zarządzania energią w systemach oświetlenia drogowego.

Minimalne wymagania dotyczące parametrów oświetleniowych dla poszczególnych klas zostały określone w normie PN-EN 13201-2:2016.

Zalecane parametry zawarte są w poniższych tabelach:

LUMINANCJA JEZDNI PRZY SUCHEJ NAWIERZCHNI					
KLASA	L - Luminancja [cd/m ²]	U ₀ - Równomierność ogólna	U _l - Równomierność wzdłużna	f _{TI} – Ośnienie przeszkadzające [%]	REI - Oświetlenie otoczenia
M1	2,00	0,40	0,70	10	0,35
M2	1,50	0,40	0,70	10	0,35
M3	1,00	0,40	0,60	15	0,30
M4	0,75	0,40	0,60	15	0,30
M5	0,50	0,35	0,40	15	0,30
M6	0,30	0,35	0,40	20	0,30

Klasa	Poziom natężenia oświetlenia	
	E- Średnie natężenie oświetlenia [lx]	E _{min} - Minimalne natężenie oświetlenia [lx]
P1	15	3,00
P2	10	2,00
P3	7,5	1,5
P4	5,00	1,00
P5	3,00	0,60
P6	2,00	0,40
P7	BRAK WYMAGAŃ	BRAK WYMAGAN

L - jest średnią luminancją drogi, która w czasie eksploatacji oświetlenia ma być utrzymana,

U₀ - całkowita równomierność wyrażona stosunkiem najmniejszej do średniej luminancji na drodze,

U_l - równomierność wzdłużna wyrażona stosunkiem najmniejszej do największej luminancji na osi środkowej pasa ruchu,

REI - jest stosunkiem średniego natężenia oświetlenia na pasach bezpośrednio obok krawędzi jezdni i średniego natężenia oświetlenia na bezpośrednio przylegającym pasie jezdni.

Parametry określone w normie pełnią funkcję wartości odniesienia, które mają na celu zapewnienie odpowiednich warunków widoczności na drodze. Należy jednak podkreślić, że ich spełnienie nie zawsze przekłada się na pełną poprawność czy optymalne warunki widzenia w każdych sytuacjach. Podstawowym celem przeprowadzania obliczeń oświetleniowych jest dobranie mocy i rozmieszczenia opraw w taki sposób, aby uzyskane rezultaty były możliwie najbardziej efektywne i zgodne z założeniami projektu.

Proces ten wiąże się przede wszystkim z dążeniem do zapewnienia jak największej równomierności oświetlenia – zwłaszcza w przypadkach, gdy osiągnięcie wymaganych średnich wartości luminancji lub natężenia oświetlenia okazuje się niemożliwe. Istotne jest również ograniczanie zjawiska olśnienia, które może pogarszać komfort widzenia i wpływać na bezpieczeństwo uczestników ruchu. Dlatego ważne jest, by wskaźnik olśnienia (T_i) mieścił się w dopuszczalnych granicach.

Odpowiednia optymalizacja parametrów oświetlenia znacząco wpływa także na energooszczędność całego systemu. Poprzez właściwy dobór i rozmieszczenie opraw można osiągnąć wysoką jakość oświetlenia, jednocześnie redukując zużycie energii. Takie podejście nie tylko zwiększa komfort i bezpieczeństwo użytkowników przestrzeni publicznej, ale również przyczynia się do obniżenia kosztów eksploatacyjnych oraz ograniczenia negatywnego oddziaływania na środowisko.

4.1. Wyznaczenie współczynnika zapasu

Każde projektowanie parametrów oświetlenia poprzedzone jest uwzględnieniem tzw. współczynnika zapasu, którego zadaniem jest zapewnienie, że system oświetleniowy będzie spełniał wymagania normatywne zarówno zaraz po uruchomieniu, jak i po wielu latach eksploatacji. Przyjmuje się, że okres użytkowania instalacji wynosi około 20 lat. Odpowiednio dobrany współczynnik zapasu powoduje, że początkowe parametry oświetlenia są wyższe niż wymagane, a ich stopniowy spadek w czasie – spowodowany np. starzeniem się komponentów – nie obniża poziomu oświetlenia poniżej wartości granicznych określonych w normach.

Koszty związane z konserwacją systemu oświetleniowego zależą bezpośrednio od założeń przyjętych na etapie projektowania i mają istotny wpływ na całkowity koszt eksploatacji. Wydłużenie przerw między zabiegami konserwacyjnymi, takimi jak czyszczenie opraw, pozwala zmniejszyć koszty utrzymania. Wymaga to jednak

zastosowania bardziej zaawansowanych, a tym samym droższych opraw, które oferują większy zapas parametrów technicznych, umożliwiając zachowanie wymaganego poziomu jakości światła przez długi okres bez potrzeby częstych interwencji serwisowych.

Wartość współczynnika zapasu jest ściśle związana z typem zastosowanych urządzeń oświetleniowych oraz planem konserwacyjnym. W analizowanym przypadku, przy niskim poziomie zanieczyszczeń w otoczeniu, przewidziano czyszczenie opraw co 4 lata przez cały okres ich użytkowania. Współczynnik zapasu (oznaczany jako k) powinien uwzględniać wszystkie czynniki prowadzące do pogorszenia parametrów świetlnych w czasie, takie jak zabrudzenia, naturalna degradacja materiałów czy spadek skuteczności świetlnej źródeł.

Warto również zaznaczyć, że odwrotnością współczynnika zapasu jest tzw. wskaźnik utrzymania, który opisuje stopień zachowania parametrów oświetleniowych w trakcie eksploatacji. Właściwe dobranie współczynnika zapasu, w połączeniu z dobrze zaplanowanym harmonogramem konserwacji, pozwala nie tylko utrzymać efektywność energetyczną systemu na optymalnym poziomie, ale również ograniczyć zużycie energii i koszty operacyjne przez cały okres funkcjonowania instalacji.

Niżej wymieniono elementy wpływające na zmiany parametrów oświetleniowych i określone cząstkowe wartości wskaźników utrzymania.

Elementami tymi są:

- zmiany warunków zasilania systemu oświetleniowego, wpływ temperatury itp. (u_1)
- zmiany parametrów opraw na skutek starzenia się użytych do ich wykonania materiałów (u_2),
- zmiany parametrów nawierzchni – charakterystyki odbiciowej (u_3)
- uszkodzenia pojedynczych źródeł światła (u_4),
- spadek strumienia świetlnego źródeł światła w czasie eksploatacji (u_5)
- zmiany parametrów na skutek zabrudzenia opraw (u_6).

Wskaźnik utrzymania jest iloczynem wskaźników cząstkowych pochodzących od wymienionych elementów.

Z uwagi na znaczną różnicę w charakterystykach spadku strumienia świetlnego dla źródeł światła wyładowczych sodowych i półprzewodnikowych LED (źródła LED

posiadają znacznie dłuższe trwałości pracy i powolniejszy ubytek strumienia światła) zasadne jest wyznaczenie odrębnego współczynnika zapasu.

Dla opraw oświetleniowych wykonanych w technologii LED wskaźniki utrzymania od u_1 do u_6 przyjęto następująco:

$u_1 = 1,00$ (stabilizacja temperaturowa zapewniona konstrukcją oprawy, warunki zasilania gwarantowane umową na dostawę energii)

$u_2 = 0,97$ (klosz z materiału niepodlegającego mętnieniu)

$u_3 = 1,00$ (stałość charakterystyk odbiciowych dla niezmiennych warunków zewnętrznych)

$u_4 = 1,00$ (brak ubytków – uzupełniane w ciągu 24 godzin)

$u_5 = 0,92$ (spadek strumienia świetlnego źródeł światła dla przewidzianego okresu eksploatacji)

$u_6 = 0,90$ (umiarkowany stopień zanieczyszczenia środowiska – mycie opraw w okresach 3-4 lata)

$$U = u_1 \times u_2 \times u_3 \times u_4 \times u_5 \times u_6 = 0,80$$

$U = 0,80$ - wskaźnik utrzymania

Współczynnik zapasu jest odwrotnością wskaźnika utrzymania, zatem: $k = 1/u = 1 / 0,8 = 1,25$

Wyznaczony na potrzeby niniejszego opracowania dla opraw ze źródłami światła LED, wskaźnik utrzymania wynosi 0,80 tj. współczynnik zapasu 1,25.

5. Analiza techniczno-technologiczna

Etap przygotowawczy związany z doбором systemu oświetlenia ulicznego ma kluczowe znaczenie zarówno dla osiągnięcia realnych oszczędności, jak i dla zapewnienia bezpieczeństwa uczestnikom ruchu drogowego. Pierwszym i zarazem fundamentalnym krokiem w tym procesie jest właściwy wybór opraw oświetleniowych wraz z odpowiednio dobranymi źródłami światła. Zarówno oprawy, jak i źródła muszą być dostosowane do warunków środowiskowych panujących w miejscu ich instalacji, przy czym od źródeł światła oczekuje się możliwie najwyższej skuteczności świetlnej – co bezpośrednio przekłada się na wysoką efektywność energetyczną całego systemu.

Jednym z kluczowych czynników wpływających na całkowity koszt eksploatacji infrastruktury oświetleniowej są koszty związane z jej konserwacją. Z tego względu niezbędne jest stosowanie rozwiązań ograniczających częstotliwość i zakres

koniecznych prac serwisowych. Nowoczesny system oświetleniowy powinien być zaprojektowany w taki sposób, by zminimalizować potrzebę ingerencji technicznej, co bezpośrednio przekłada się na obniżenie kosztów operacyjnych.

Optymalizacja kosztów eksploatacyjnych polega w praktyce na ograniczeniu czynności konserwacyjnych do podstawowych działań, takich jak czyszczenie opraw czy ich wymiana w przypadku uszkodzeń. Takie podejście pozwala nie tylko zmniejszyć koszty utrzymania infrastruktury, ale również wydłużyć jej trwałość, jednocześnie zachowując wysoki poziom bezpieczeństwa oraz energooszczędności. Trafnie dobrane oprawy i źródła światła stanowią zatem fundament efektywnego i nowoczesnego systemu oświetlenia drogowego.

5.1. Oprawy oświetlenia ulicznego

Współczesne rozwiązania LED coraz częściej zastępują tradycyjne oprawy sodowe. Głównym argumentem przemawiającym za technologią LED jest jej wysoka skuteczność świetlna, która bezpośrednio przekłada się na oszczędności ekonomiczne.

5.2. Efektywność energetyczna

Podstawą porównania pomiędzy oprawami LED a sodowymi jest ocena skuteczności świetlnej przy tej samej wartości pobieranej mocy. Oprawy LED osiągają zdecydowanie lepsze wyniki przy mocach do około 100 W, natomiast przy mocach powyżej 150 W ich efektywność zbliża się do tej oferowanej przez oprawy sodowe. Jednak jednym z najważniejszych aspektów wpływających na ogólną efektywność systemu oświetlenia jest precyzyjne kierowanie strumienia świetlnego wyłącznie tam, gdzie jest on rzeczywiście potrzebny.

W tradycyjnych oprawach sodowych znaczna część światła trafia na obszary niepożądane – takie jak górna półprzestrzeń, pobocza czy elewacje budynków – co powoduje straty energii. Natomiast oprawy LED, dzięki zaawansowanym układom optycznym, pozwalają na bardzo dokładne kierowanie światła tylko w pożądanym miejscu, eliminując tym samym straty wynikające z jego rozpraszania.

Dzięki tej precyzyjnej kontroli, oprawa sodowa o mocy 150 W może być skutecznie zastąpiona przez oprawę LED o znacznie niższej mocy – najczęściej w przedziale od 20 W do 100 W – w zależności od wymagań oświetleniowych danego odcinka drogi. Takie rozwiązanie nie tylko poprawia efektywność energetyczną, lecz także znacząco

ogranicza zużycie energii oraz koszty eksploatacyjne całej infrastruktury oświetleniowej.

5.3. Trwałość użytkowa

Współczesne oprawy LED charakteryzują się deklarowaną trwałością przekraczającą 100 000 godzin pracy. Przy średnim rocznym czasie działania wynoszącym około 4150 godzin, oznacza to możliwość nieprzerwanej eksploatacji przez ponad 25 lat bez potrzeby wymiany źródła światła. Dla porównania, tradycyjne oprawy sodowe wymagają częstej wymiany lamp, co wiąże się z istotnymi kosztami eksploatacyjnymi.

Z punktu widzenia ekonomii, analiza kosztów wykazuje, że łączny koszt zakupu oprawy sodowej wraz z kilkukrotną wymianą źródła światła przewyższa koszt inwestycji w nowoczesną oprawę LED. Aktualne ceny opraw LED mieszczą się w przedziale od 500 do 1 000 zł netto, co czyni je znacznie bardziej opłacalnymi w dłuższej perspektywie. Dodatkowo, dłuższa żywotność oraz niższe koszty eksploatacyjne wpływają korzystnie na efektywność energetyczną i zmniejszają wydatki związane z konserwacją infrastruktury oświetleniowej.

5.4. Parametry kolorymetryczne światła

Lampy sodowe posiadają bardzo niski wskaźnik oddawania barw (R_a na poziomie 20), co przekłada się na ograniczoną zdolność do wiernego odwzorowania kolorów. Emitują one światło o bardzo ciepłej barwie, z temperaturą barwową w okolicach 2000 K. Z kolei oprawy LED zapewniają znacznie wyższą jakość światła – ich wskaźnik oddawania barw przekracza 70, a dostępny zakres temperatur barwowych rozciąga się od 2700 K do nawet 10 000 K. Co istotne, wraz ze wzrostem temperatury barwowej (tzw. „chłodniejsze” światło) rośnie również skuteczność świetlna opraw LED.

Zastosowanie LED-ów emitujących światło o zimniejszej barwie może korzystnie wpłynąć na percepcję otoczenia w warunkach nocnych, poprawiając widoczność i bezpieczeństwo. Warto jednak upewnić się, że wybrane oprawy spełniają normy dotyczące bezpieczeństwa fotobiologicznego, eliminując ryzyko ekspozycji na szkodliwe promieniowanie UV, które mogłoby negatywnie wpływać na wzrok.

Dla oświetlenia głównych ciągów komunikacyjnych, przestrzeni mieszkalnych i parków zaleca się stosowanie opraw LED o temperaturze barwowej około 4000 K. Tak

dobrana barwa światła stanowi kompromis pomiędzy wysoką skutecznością świetlną, komfortem widzenia i bezpieczeństwem użytkowników przestrzeni publicznej.

5.5. Parametry techniczne opraw LED

Zastosowanie się do powyżej zarekomendowanych zasad ma się przełożyć bezpośrednio na dobór opraw oświetleniowych o następujących parametrach technicznych i funkcjonalnych:

Oprawy oświetlenia ulicznego LED

Projektowane oprawy oświetlenia drogowego typu LED przeznaczone do zainstalowania powinny posiadać nie gorsze właściwości parametry wskazane poniżej:

- Oprawa musi posiadać deklarację CE, certyfikat ENEC lub równoważny, certyfikat ENEC+ lub równoważny, certyfikat D4i – dowód spełnienia wymagania – deklaracja zgodności, oraz wskazane certyfikaty
- Oprawa oświetlenia ulicznego o korpusie wykonanym z wysokociśnieniowego odlewu aluminiowego, malowana proszkowo na kolor szary. Odporność na korozję potwierdzona testem. Górna powierzchnia gładka, bez przetłoczeń ani żebrowania, jednolita, umożliwiająca samooczyszczenie z kurzu i ptasich odchodów, naturalnymi opadami deszczu, kształt górnej części umożliwiający samoczynny spływ wody (zapewnione minimalne kąty pochylenia powierzchni radiatora umożliwiające samooczyszczenie podczas opadów deszczu) – dowód spełnienia wymagania – karta techniczna, Raport testów korozji opraw w sztucznych warunkach atmosferycznych dla ekspozycji min. 1000 h zgodnie z normą PN-EN ISO 9227:2023-2 lub równoważną.
- Budowa dwukomorowa. Oddzielna komora dla części optycznej i oddzielna dla zasilacza. Zasilacz ma stanowić odrębne urządzenie umożliwiające jego łatwą wymianę bez konieczności wymiany pozostałych podzespołów - dowód spełnienia wymagania –karta techniczna
- Komora zasilacza powinna być otwierana beznarzędziowo, bez zdejmowania oprawy ze słupa. Wymagane minimum dwa zatrzaski/klipsy po przeciwległych bokach korpusu oprawy, niedopuszczalne stosowanie wkręcanych śrub lub śrub motylkowych itp.. Prawidłowe zamknięcie oprawy musi być sygnalizowane dźwiękiem. Główne elementy zamykające wykonane z materiału tożsamego z korpusem i w tym samym kolorze,

dopuszcza się śruby i sprężyny wykonane ze stali nierdzewnej – dowód spełnienia wymagania –karta techniczna, instrukcja montażu

- Oprawa powinna posiadać 3-polowy rozłącznik napięcia po otwarciu komory zasilacza – dowód spełnienia wymagania –karta techniczna, instrukcja montażu
- Komora źródła LED, osłonięta szybą ze szkła hartowanego zamykana na minimum 4 śruby z materiału nierdzewnego. Mocowanie/ramka musi dociskać szybę na całym jej obwodzie- nie dopuszcza się szyby mocowanej elementami umieszczonymi jedynie w narożnikach szyby – dowód spełnienia wymagania –karta techniczna
- Obudowa wyposażona w wentyl antykondensacyjny wyrównujący ciśnienie między oprawą a otoczeniem zewnętrznym, zapobiegający zjawisku kondensacji pary wodnej – dowód spełnienia wymagania –karta techniczna
- Oprawa (wraz z uchwytem) musi spełniać wymogi dotyczące wibracji ANSI C136-31 3G lub IEC 60068-2-6:2008. Wymagany jest raport z badań pochodzący z akredytowanego laboratorium
- Oprawa wyposażona w uniwersalny uchwyt (wyposażenie oprawy lub dodatkowy element) do montażu na słupie lub do wysięgnika. Możliwość montażu na wysięgniku/ słupie o średnicy ϕ 32-76 mm. Regulacja nachylenia w zakresie co najmniej od -20° do $+20^{\circ}$ przy montażu na wysięgniku, oraz 0° do $+20^{\circ}$ przy montażu bezpośrednio na słupie z krokiem regulacji co 5° . Uchwyt oprawy wykonany tego samego materiału co korpus i malowany w tym samym kolorze – dowód spełnienia wymagania –karta techniczna, instrukcja montażu
- System optyczny zapewniający pełne ograniczenie emisji światła w górną półprzestrzeń zgodnie z rozporządzeniem Komisji Europejskiej nr 245/2009. Oprawa musi spełniać normę o bezpieczeństwie fotobiologicznym. Źródło światła powinno być w pełni wymienialnym zintegrowanym panelem/panelami LED. Możliwość wymiany źródła LED przy użyciu podstawowych narzędzi (brak połączeń lutowanych). Uszkodzenie pojedynczego chipa LED, nie może spowodować zmiany kształtu rozsyłu światła. Optyka musi posiadać możliwość ograniczenia strumienia

światelnego emitowanego do tyłu oprawy – dowód spełnienia wymagania – karta techniczna

- Oprawa wykonana w II klasie ochrony p. porażeniowej [norma PN-EN 60529], – dowód spełnienia wymagania –karta techniczna
- Strumień świetlny emitowany przez oprawę z uwzględnieniem wszelkich występujących strat do całkowitej energii zużywanej przez oprawę jako system, nie może być mniejszy niż 140 lm/W – dowód spełnienia wymagania –karta techniczna
- Zachowanie trwałości strumienia świetlnego diod LED na poziomie L97B10 w czasie nie mniejszym niż 100 000 h – dowód spełnienia wymagania – Raport ANSI/IES LM-80 estymacji współczynnika zachowania strumienia świetlnego źródła światła L95B10 – 100 000 h wg metodologii TM-21 (Zatwierdzona metoda: Pomiar utrzymania charakterystyki strumienia świetlnego półprzewodnikowych źródeł światła) i raportem z estymacji zgodnej z ANSI/IES TM-21 (Memorandum Techniczne: Projektowanie długoterminowego utrzymania strumienia świetlnego, fotonowego i radianowego źródeł światła LED) dla 55° C i 85° C
- stopień szczelności opraw nie może być mniejszy niż IP 66 – Dowód spełnienia wymagania – karta techniczna, certyfikat ENEC, ENEC+
- stopień odporności na uderzenia IK min 09 - Dowód spełnienia wymagania – karta techniczna
- Napięcie nominalne 220-230 V - 50Hz dla znamionowej mocy zasilacza. Wymagana żywotność zasilacza nie mniejsza niż 100 000 godzin - Dowód spełnienia wymagania – karta techniczna
- Soft start - Jako dodatkowa ochrona, aby zabezpieczyć żywotność modułu LED w temperaturach otoczenia poniżej -25 °C, zasilacz LED dostarcza 200 mA przez maksymalnie 1 minutę na powolne rozgrzanie, a następnie dostarcza zaprogramowany prąd wyjściowy - Dowód spełnienia wymagania – karta techniczna
- Stosunek mocy czynnej do mocy pozornej pobieranej przez układ przy znamionowym obciążeniu nie mniejszy niż 0,95 - Dowód spełnienia wymagania – Karta techniczna, raporty z badań

- Procentowy stosunek wartości skutecznej wyższych harmonicznych sygnału, do wartości skutecznej składowej podstawowej nie większy niż 8% – dowód spełnienia wymagania – karta techniczna, raporty z badań
- Ochrona przeciw przepięciowa minimum 10 kV. Wymaga się aby była realizowana przez dodatkowy element umieszczony przed układem zasilającym - Dowód spełnienia wymagania – Karta techniczna
- Ochrona przeciw przegrzaniu - Zabezpieczenie przed przegrzaniem oprawy kontrolujące temperaturę na module LED - Dowód spełnienia wymagania – Karta techniczna
- Zakres temperatury pracy oprawy - min: -40°C do +50°C - Dowód spełnienia wymagania – Karta techniczna, certyfikat ENEC, ENEC+
- Zasilacz elektroniczny zapewniający w standardzie funkcjonalność DALI z certyfikatem ZD4i z możliwością sterowania strumieniem świetlnym poprzez zewnętrzne gniazdo Zhaga. Zużycie energii w trybie czuwania: < 0,5 W.- Dowód spełnienia wymagania –Karta techniczna.
- temperatura barwowa 4000K +/-5%, (do wyboru przez Zamawiającego), CRI powyżej 70 – dowód spełnienia wymagania –karta techniczna
- każda dioda w panelu LED musi być wyposażona w indywidualną soczewkę pozwalającą emitować światło równomiernie na całą oświetlaną przez oprawę powierzchnię. W przypadku przepalenia się którejś z diod zmieni się jedynie strumień świetlny a nie rozsył światła; – dowód spełnienia wymagania –karta techniczna
- optyki wykonane z wytrzymałych na promieniowanie UV materiałów (PMMA), szkło; – dowód spełnienia wymagania –karta techniczna
- oprawa musi posiadać minimum 3 rozsyły światła dostępnych w standardzie, zapewniających optymalizację do różnych sytuacji drogowych oraz dla przejść dla pieszych oprawy o asymetrycznej charakterystyce spełniające wymogi norm.
- Instalowane oprawy LED muszą spełniać wszystkie wymagania dofinansowania w ramach projektu „Rozświetlamy Polskę” – dowód spełnienia wymagania –karta techniczna

Dowód spełnienia wymagań dla w/w cech –karta techniczna.

- muszą spełniać wymogi bezpieczeństwa fotobiologicznego lamp i systemów lampowych IEC 62471–Dowód spełnienia wymagania –Karta techniczna
- Waga oprawy max 7,6 kg oraz powierzchnia oporu wiatru max 0,037 m² ze względu na wytrzymałość istniejących konstrukcji oraz podyktowane prawidłową radiacją termiczną bez użycia radiatora – Dowód spełnienia wymagania –Karta techniczna;
- dostępność plików fotometrycznych (np. format .ldt) oraz kart katalogowych. Pliki dla każdego typu oprawy zamieszczone na stronie internetowej producenta lub dystrybutora pozwalające wykonać sprawdzające obliczenia fotometryczne w ogólnodostępnych oświetleniowych programach komputerowych (np. Dialux, Relux).

Oprawy oświetlenia parkowego LED

Projektowane oprawy oświetlenia parkowego typu LED przeznaczone do zainstalowania powinny posiadać nie gorsze właściwości parametry wskazane poniżej:

- Korpus i jego elementy (ramiona, uchwyt, mocowanie do słupa itd.) odlewany ciśnieniowo z aluminium, z zintegrowanym radiatorem dla prawidłowego oddawania ciepła. Cały korpus oprawy LED malowany proszkowo zarówno z zewnątrz jak i wewnątrz oprawy LED w tej samej technologii, w tym samym kolorze. Malowana proszkowo na kolor szary.
- Dyfuzor z przezroczystego hartowanego szkła odpornego na szoki termiczne i na uderzenia min. IK08
- Korpus wyposażony w dedykowany filtr do przewietrzania komory oraz do odparowania skondensowanej pary wodnej
- Masa oprawy nie większa niż 8,5kg.
- Powierzchnia wiatrowa nie większa niż 0.07m².
- Oprawa wyposażona w nasadę z możliwością montażu bezpośrednio na słupie o średnicy ϕ 60-76 mm.
- System optyczny zapewniający pełne ograniczenie emisji światła w górną półprzestrzeń zgodnie z rozporządzeniem Komisji Europejskiej nr 245/2009. Oprawa musi spełniać normę o bezpieczeństwie fotobiologicznym. System optyczny oparty na odbłyśniku aluminiowym.
- Wykonanie w I lub II klasie ochrony p. porażeniowej [norma PN-EN 60529],

- Strumień świetlny emitowany przez oprawę z uwzględnieniem wszelkich występujących strat do całkowitej energii zużywanej przez oprawę jako system, nie może być mniejszy niż 135 lm/W
- Realizowanie bryły fotometrycznej światłem pośrednim strumieniem odbitym od powierzchni refleksyjnej o skuteczności min. 98% w okresie min. 80.000h
- Trwałość strumienia światła Zachowanie trwałości strumienia świetlnego diod LED na poziomie L90B10 w czasie nie mniejszym niż 100 000 h
- Stopień szczelności oprawy min. IP66
- Stopień odporności na uderzenia (korpus i klosz) min. IK08
- Napięcie nominalne 220-230 V - 50Hz dla znamionowej mocy zasilacza. Wymagana żywotność zasilacza nie mniejsza niż 100 000 godzin
- Oprawa wyposażenia w zabezpieczenie min. 10kV chroniące przed skokami napięcia
- Współczynnik mocy PF/ Cos ϕ > 0,90 dla mocy znamionowej oprawy
- Zabezpieczenie przed przegrzaniem oprawy kontrolujące temperaturę na module LED.
- Zakres temperatury pracy min: -40°C do +50°C
- Oprawa musi być wyposażona w panel LED z diodami o emitowanej barwie światła 4000 K.
- Wskaźnik oddawania barw CRI ≥ 70
- Oprawy muszą być wyposażone w zasilacz umożliwiający zaprogramowanie minimum 5 poziomów redukcji mocy, sterowany cyfrowo sygnałem DALI lub 1-10V lub 0-10V.
- Oprawy gotowe do współpracy z zewnętrznym systemem sterowania oświetleniem, wyposażone Dali oraz gniazdo ZHAGA z certyfikatem ZD4i
- Prąd wysterowania diod LED projektowanej oprawy LED nie większy niż 180mA, dopuszcza się tolerancje parametru w dodatkowym zakresie +/- 100%
- Oprawa musi posiadać deklarację CE, certyfikat ENEC lub równoważny, certyfikat ENEC+ lub równoważny, certyfikat D4i
- Instalowane oprawy LED muszą spełniać wszystkie wymagania dofinansowania w ramach projektu „Rozświetlamy Polskę” – dowód spełnienia wymagania –karta techniczna

5.6. Redukcja strumienia świetlnego oprawy

Każda oprawa musi mieć możliwość redukcji strumienia świetlnego. Redukcja mocy musi umożliwić obniżenie wolumenu energii o co najmniej 30%, 50%, 70% mocy zainstalowanej

5.7. Wnioski

Na podstawie powyższych argumentów zalecamy przeprowadzenie modernizacji oświetlenia ulicznego na terenie Miasta Brodnica przy użyciu opraw ulicznych w technologii LED.

Stosowanie wymiany „oprawa za oprawę” nie zwalnia inwestora od wykonania projektów oświetlenia w oparciu o zapisy norm serii PN-EN 13201:2016.

6. Plan modernizacji oświetlenia ulicznego

6.1. Zakres modernizacji

Na podstawie przeprowadzonej inwentaryzacji proponowana ilość końcowa do modernizacji to 886 sztuk opraw oświetlenia zewnętrznego. Stąd plan modernizacji obejmuje oprawy energooszczędne w ilościach:

RODZAJ OPRAWY	ILOŚĆ
Drogowa	871
Parkowa	15
SUMA	886

Miarą jakości są osiągnięte wyniki poziomu parametrów oświetleniowych uzyskane w procesie obliczeniowym dla konkretnych stanowisk (geometrii) przy oświetlanych drogach.

6.2. Obliczenia fotometryczne

Na potrzeby wykonania audytu i przeprowadzenia analizy planu modernizacji wykonano obliczenia fotometryczne i przyporządkowano odpowiednie moce nowych opraw do montażu.

Nie należy traktować obliczeń fotometrycznych, jako projektu docelowego – obliczenia mają wskazać możliwość wykonania modernizacji oświetlenia, której celem jest poprawa stanu oświetlenia i oszczędności w kosztach jego utrzymania.

Podczas wykonywanych referencyjnych obliczeń fotometrycznych napotkano szereg sytuacji, w których oprawy są posadowione na bardzo niskich słupach w znacznej odległości od drogi. W takich przypadkach rekomenduje się wymianę istniejących wysięgników na wysięgniki nasadzane o wysokości ~1m oraz długości 1,5-2m celem lepszego doświetlenia jezdni. Takie przypadki mają miejsce m.in. na ulicy: Lidzbarskiej, Podgórnej, Okrężnej oraz Zakątek (przy kościele) w szacunkowej ilości 36 szt.

Wyznaczony poziom wskaźnika utrzymania oświetlenia został wyliczony na podstawie zmienności parametrów sprzętu oświetleniowego i warunków eksploatacyjnych, zakładany okres mycia kloszy i opraw jest właściwy dla czasu życia systemu liczonego na 20 lat. Jest to również podyktowane projekcją audytu dla takiego okresu czasu. System ma zachować swoją sprawność w tym okresie.

Obliczenia parametrów oświetleniowych wykonano za pomocą programu Dialux Evo dla opraw LED. Program Relux, Dialux i baza danych opraw są ogólnodostępnymi programami.

6.3. Analiza stanu aktualnego

Uwzględniając roczny czas pracy wynoszącym około 4150 można obliczyć szacunkowy pobór energii elektrycznej związanej z eksploatacją infrastruktury oświetlenia drogowego:

$$125,616 \text{ kW} \times 4150 \text{ h} = \mathbf{521\ 306,4 \text{ kWh}}$$

Na podstawie analizy kosztów energii elektrycznej na przestrzeni 2023/2024 roku można oszacować z jakim kosztem wiąże się eksploatacja energochłonnego systemu oświetlenia drogowego. Przyjęto koszt zakupu energii elektrycznej w części obrotowej 0,57 zł/kWh netto.

$$521\ 306,4 \text{ kWh} \times 0,57 \text{ zł/kWh} = \mathbf{297\ 144,65 \text{ zł}}$$

6.4. Wymiana opraw na oprawy w technologii LED

Proponowany zakres prac obejmuje:

- demontaż opraw rtęciowych i sodowych oświetlenia ulicznego oraz parkowego zasilanych z sieci napowietrzanej i kablowej oraz montaż w ich miejsce opraw w technologii LED — **łącznie 886 opraw.**

Zalety:

- Możliwość integracji z dowolnym systemem sterowania z wykorzystaniem złącz Zhaga
- Redukcja mocy całego systemu oświetlenia o co najmniej 50%
- Możliwość spełnienia aktualnie obowiązujących norm oświetlenia ulicznego

Wady:

- Zmiana dotychczasowego wizerunku oświetlenia gminy (ze względu na zmianę sposobu świecenia punktów świetlnych)

Poniżej przedstawiono proponowane moce opraw dobrane na podstawie obliczeń fotometrycznych opraw objętych przedmiotem audytu:

Ilość opraw [szt.]	Moc znamionowa [W]
763	37
17	54
100	79
6	105

Całkowitą moc powyższego rozwiązania wynosi **37,68 kW**.

6.5. Analiza energetyczna

Uwzględniając roczny czas pracy wynoszącym około 4150 można obliczyć szacunkowy pobór energii elektrycznej związanej z eksploatacją zmodernizowanej infrastruktury oświetlenia ulicznego:

$$37,68 \text{ kW} \times 4150 \text{ h} = \mathbf{156\ 372 \text{ kWh}}$$

Na podstawie analizy kosztów energii elektrycznej na przestrzeni 2023/2024 roku można obliczyć predykcje kosztów zmodernizowanego systemu oświetlenia. Przyjęto koszt zakupu energii elektrycznej w części obrotowej 0,57 zł/kWh netto.

$$156\ 372 \text{ kWh} \times 0,57 \text{ zł/kWh} = \mathbf{89\ 132,04 \text{ zł}}$$

W wyniku powyższej modernizacji infrastruktury oświetlenia ulicznego bez użycia bezprzewodowego systemu sterowania można uzyskać obniżenie rocznego zużycia energii elektrycznej o około **70 %**.

Efektem tego jest również redukcja kosztów związanych z zakupem energii elektrycznej o około **208 tys. zł netto rocznie**.

	Przed modernizacją	Po modernizacji
Roczne zużycie energii elektrycznej [kWh]	521 306,40	156 372
Roczne koszty za energię elektryczną netto [zł]	297 144,65	89 132,04
Redukcja zużycia energii elektrycznej [%]	70,00%	
Roczna redukcja kosztów za energię elektryczną [zł]	208 012,61	

6.6. Efekt ekologiczny i redukcje emisji

Do obliczeń przyjęto dane z dokumentu „Wskaźniki emisyjności CO₂, SO₂, NO_x, CO i pyłu całkowitego dla energii elektrycznej” udostępnionego przez Krajową bazę o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2016 rok - data publikacji styczeń 2018.

Wskaźniki	Wartość Wskaźnika [kg/MWh]	Wielkość redukcji emisji [kg/rok]	
		Wariant I	Wariant II
CO ₂	781	230 082	228 442
SO ₂	0,0818	24,09	23,93
CO	0,252	74,24	73,71
Pył	0,53	156,14	155,03

7. Podsumowanie

Aktualnie funkcjonujący system oświetlenia ulicznego objęty audytem jest dostosowany do przeprowadzenia kompleksowej modernizacji oświetlenia ulicznego.

Do przeprowadzenia analizy szczegółowej modernizacji zostały przyjęte oprawy uliczne energooszczędne w technologii LED.

Takie rozwiązanie ograniczy prace konserwacyjne do:

- Mycia opraw w odpowiednio zaplanowanych okresach
- Montażu i demontażu opraw w celach serwisowych w autoryzowanym punkcie naprawy