

AUDYT EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ

SIECI OŚWIETLENIA ULICZNEGO



PRZYGOTOWANY DLA

GMINY JABŁONKA

CIESZYN – 2024

AUTOR:

MICHAŁ HALAMA

1. Wprowadzenie	3
1.1 Celem niniejszego opracowania jest:	3
1.2 Wskaźniki Emisyjności	4
1.3 Zagadnienia Specyficzne Dla Oświetlenia Ulicznego i Drogowego	4
2. Analiza i ocena jakości oświetlenia.....	5
2.1 Wnioski z Inwentaryzacji Oświetlenia	6
3. Analiza techniczno - technologiczna	8
3.1 Sprzęt oświetleniowy – źródła światła	8
3.2 modernizacja oświetlenia.....	8
3.3 Koszty i oszczędności dla poszczególnych wariantów.....	9
3.4 Zgodność z normami	10
3.4.1 Zjawisko Light Pollution.....	10
3.4.2 Norma Oświetleniowa	10
4. Analiza ekonomiczna kosztów eksploatacji systemu oświetlenia.....	14
4.1 Analiza czasu eksploatacji systemu oświetleniowego.....	14
4.2 Analiza kosztów dostawy i dystrybucji energii elektrycznej.....	14
4.2.1 Przed modernizacją	14
4.2.2 Po modernizacji	16
4.3 Analiza ekologiczna	18
5. Wnioski	19

1. WPROWADZENIE

1.1 CELEM NINIEJSZEGO OPRACOWANIA JEST:

Celem niniejszego opracowania jest:

1. Potwierdzenie lub zakwestionowanie społeczno-gospodarczej celowości realizacji projektu według koncepcyjnych założeń Zamawiającego.
2. Przekazanie Zamawiającemu zaleceń i wskazań, co do:
 - wyboru optymalnego rozwiązania technicznego,
 - sposobu uwzględnienia w zadaniu modernizacji specyficznych wymogów dotyczących efektywnego zarządzania oświetlaniem dróg i ulic,
 - sposobu zorganizowania procesu modernizacji systemu oświetlenia oraz jego rozbudowy
 - analizy stanu technicznego obecnego systemu oświetlenia

W prawidłowo zorganizowanym procesie przygotowania inwestycji, audyt energetyczny oświetlenia ulicznego stanowi początkowy etap analizy przed inwestycyjnej.

Etap ten ma na celu zbadanie i określenie możliwości inwestycyjnych oraz wskazanie sposobów jej realizacji. Niniejsze opracowanie jest opracowywane właśnie na tym etapie: nie istnieje jeszcze projekt techniczny, kosztorys ani pełny program funkcjonalno-użytkowy dotyczący całości inwestycji. Audyt poddaje analizie zintegrowaną koncepcję kompleksowej modernizacji całości systemu oświetlenia na terenie gminy Jabłonka.

Niniejsze opracowanie jest sporządzone zgodnie z przepisami prawa Unii Europejskiej w zakresie opracowania audytów, studiów wykonalności, analiz finansowych dla inwestycji infrastrukturalnych i procedur wdrażania projektów dofinansowanych z funduszy strukturalnych UE.

1.2 Wskaźniki Emisyjności

Analiza oddziaływania na środowisko jest zgodna z Dyrektywą dotyczącą „Oceny Wpływu na Środowisko” 85/337/EEC znowelizowaną przez Dyrektywę 97/11/EC – COM (1993) 575. Korzystano również z projektu „Wspólnotowych ram dla współpracy w celu promowania zrównoważonego rozwoju” 1411/2001/EC – COM (1999) 557. Pomocniczo uwzględniono zapisy Strategii Tematycznej dla Środowiska Miejskiego, stanowiącej część europejskiej polityki w zakresie środowiska przyrodniczego na obszarach zurbanizowanych, stanowiącej część VI Programu Działań „Środowisko 2020: Nasza przyszłość, nasz wybór”

Przyjmuje się wartości wskaźnika emisji CO₂ opracowywane na rok sporządzenia świadectwa przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, zgodnie z art. 3 ust. 2 pkt 8 ustawy z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji (Dz.U.2020.1077 t.j. z dnia 2020.06.22).

Referencyjny wskaźnik jednostkowej emisyjności dwutlenku węgla przy produkcji energii elektrycznej do wyznaczenia poziomu bazowego dla projektów realizowanych w Polsce - 0,708Mg CO₂/MWh czyli 708kg CO₂/MWh opublikowany przez KOBiZE w grudniu 2022r.

1.3 Zagadnienia Specyficzne Dla Oświetlenia Ulicznego I Drogowego

W zakresie zagadnień specyficznych dla oświetlenia drogowego za podstawę opracowania niniejszego audytu służyły następujące akty prawne, rozporządzenia oraz Polskie Normy:

Ustawy:

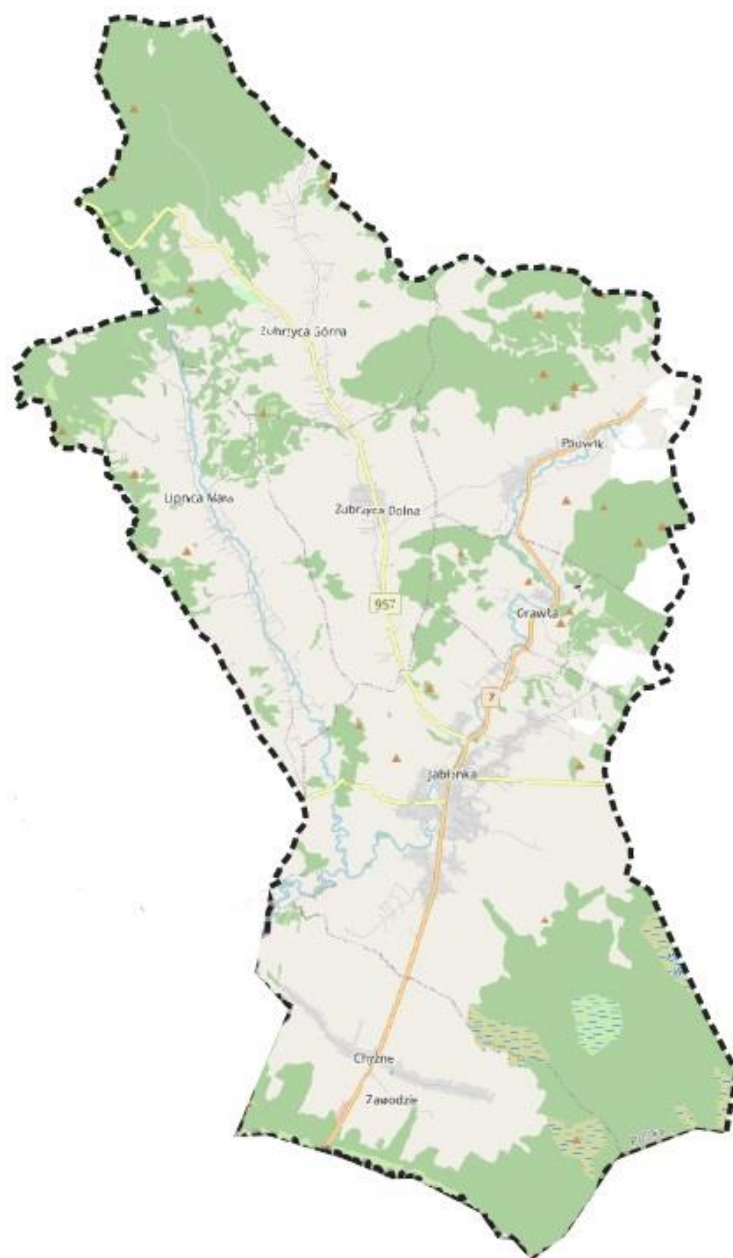
- Ustawa Prawo Zamówień Publicznych z dnia 11 września 2019r. (Dz.U.2021.1129 t.j. z dnia 2021.06.24)
- Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 11 września 2020 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego (Dz.U.2020.1609 z dnia 2020.09.18)
- Ustawa Prawo Budowlane z dnia 7 lipca 1994r. (Dz.U.2020.1333 t.j. z dnia 2020.08.03.)
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Gospodarki Morskiej z dnia 18 maja 2004r. w sprawie określenie metod i podstaw sporządzania kosztorysu inwestorskiego, obliczania planowanych kosztów prac projektowych oraz planowanych kosztów robót budowlanych określonych w programie funkcjonalno-użytkowym (Dz.U. z 2004 Nr 130, poz. 1389)
- Ustawa o Samorządzie Gminnym z dn. 8 marca 1990r (Dz.U.2021.1372 t.j. z dnia 2021.07.27)

Normy:

*PN-EN 13201- 2, 3 i 4 Oświetlenie Dróg.

LOKALIZACJA PROJEKTU

Niniejszą analizą objęty został system oświetlenia drogowego Gminy Jabłonka.



2.1 Wnioski Z Inwentaryzacji Oświetlenia

Stan aktualny określony został na podstawie kompleksowej inwentaryzacji z terenu metodą geoinformatyczną. Na terenie gminy, w ramach analizowanego zakresu, zamontowanych jest obecnie **494** punktów oświetlenia drogowego na których zamontowano łącznie **500 sztuki** opraw oświetleniowych.

Załączona inwentaryzacja przedstawia zestawienie tabelaryczne punktów światła z uwzględnieniem parametrów drogi.

Parametrami tymi są:

a) Punkty świetlne

- numer ID latarni
- wysokość słupa oświetleniowego
- odległość między słupami
- odległość słupa od jezdni
- wysokość mocowania oprawy oświetleniowej
- długość wysięgnika
- mocowanie (na szczycie, nad linią, pod linią,)
- moc oprawy
- typ źródła światła (led, sodowe, rtęciowe)
- liczba opraw na słupie
- rodzaj linii (napowietrzna, kablowa)

b) Parametry drogi

- nawierzchnia (asfalt, grunt, kostka)
- szerokość drogi
- klasa oświetleniowa

Poniższe zestawienie przedstawia ilości opraw z podziałem na rodzaj źródła światła:

- Sodowe 204 sztuk
- Rtęciowe 296 sztuk

Oświetlenie (oprawy) w gminie Jabłonka należy do majątku gminnego. Poniższa tabela przedstawia wyszczególnienie ilości opraw z podziałem na rodzaj źródła światła oraz lokalizację (wieś/osadę).

Rodzaj źródła światła Miejscowość/ Osada	Rtęciowa	Sodowa	Łącznie
Chyżne	4	43	47
Jabłonka	63	153	216
Jabłonka Bory	6	9	15
Lipnica Mała	71	27	98
Orawka	38	34	72
Podwilk	22	30	52
Łącznie	204	296	500

Stan techniczny opraw oceniony został na bazie oględzin wizualnych. Nie zaobserwowano jakichkolwiek uszkodzeń mechanicznych, ani nieprawidłowości w działaniu. Jedynym mankamentem jest jednak zabrudzenie kloszy oraz odbłyśników w oprawach sodowych. Powoduje, to utratę znacznej części strumienia świetlnego co w efekcie końcowym sprawia iż obowiązująca norma oświetleniowa nie jest spełniona. Należy wskazać na źródło tego problemu – brudna woda z opraw, poprzez nieszczelne uszczelki przedostaje się do klosza, gdzie po odparowaniu pozostaje brudny, trudno zmywalny osad.

Poniższa tabela przedstawia wyszczególnienie rodzaju opraw (źródeł światła) dla każdej mocy rzeczywistej oprawy.

Rodzaj oprawy Moc Rzeczywista Oprawy	Rtęciowa	Sodowa	Łącznie
83 W		90	90
115 W		206	206
270 W	204		204
Łącznie	204	296	500

3. ANALIZA TECHNICZNO - TECHNOLOGICZNA

3.1 SPRZĘT OŚWIETLENIOWY – ŹRÓDŁA ŚWIATŁA

Technologia LED jest coraz szerzej stosowana w oświetleniu, od niedawna w oświetleniu zewnętrznym. Na rynku pojawia się coraz więcej produktów będących alternatywą dla klasycznego oświetlenia zewnętrznego opartego do tej pory na źródłach wysokoprężnych. Źródła LED mają wiele zalet. Podstawowe to:

- długa żywotność – ok. 80 000 godzin
- nie generują promieniowania ultrafioletowego (UV) i podczerwonego (IR)
- biała barwa światła
- dobra jakość światła (wysoki współczynnik oddawania barw)
- wyeliminowany efekt stroboskopowy
- nie zawierają rtęci, metali ciężkich lub innych szkodliwych dla środowiska substancji
- natychmiastowy start - osiągnięcie normalnej jasności bezpośrednio po uruchomieniu, bez opóźnienia
- szybki ponowny zapłon źródła światła

Technologia LED jest ciągle udoskonalana i wciąż trwają prace nad wyprodukowaniem źródła LED o wyższej skuteczności. Dziś oświetlenie drogowe LED staje się racjonalną, ekonomiczną alternatywą dla klasycznego oświetlenia sodowego.

3.2 MODERNIZACJA OŚWIETLENIA

W ramach modernizacji istniejącej infrastruktury należy uwzględnić aktualne normy oświetleniowe, oraz rozwiązania technologiczne. Rekomenduje się zastąpienie istniejących opraw sodowych oraz rtęciowych, nowymi oprawami typu LED. Modernizacja powinna uwzględniać spełnienie normy oświetleniowej przez nowe oprawy.

W ramach analizy pomiarów oraz zgodności ze standardami przyjęto rozwiązanie polegające na dokonywaniu obliczeń fotometrycznych w programie Relux. W ramach infrastruktury przewidzianej do modernizacji, wyszczególniono 6 wariantów oświetleniowych z podziałem na oświetlenie uliczne oraz oświetlenie zewnętrzne. Warianty dla oświetlenia ulicznego zakładają dobór opraw umożliwiających spełnienie normy oświetleniowej, warianty dla oświetlenia zewnętrznego nie wymagają spełnienia normy oświetleniowej. Poszczególne warianty przyporządkowano do ciągów oświetleniowych wskazując tym samym możliwość spełnienia normy oświetleniowej po przeprowadzonej modernizacji.

Poniżej przedstawiono parametry każdej z sytuacji.

Nr	Klasa oświetleniowa	Oprawa	Moduł [m]	szerokość jezdni [m]	Ilość pasów	odległość od jezdni [m]	wysokość zaw. oprawy [m]	Temperatura barwowa
1	M3	Drogowa	40	9	2	10	9	4000k
2	M4	Drogowa	45	5	2	4	8,5	4000k
3	M5	Drogowa	30	4	2	2	8,5	4000k
4	M5	Drogowa	40	4	2	3	8,5	4000k
5	M5	Drogowa	45	4	2	2	8,5	4000k
6	M6	Drogowa	80	3	1	3	9,5	4000k

Modernizację systemu oświetlenia zakłada wymianę opraw zgodnie z obliczeniami fotometrycznymi. Zakwalifikowano do wymiany oprawy sodowe i rtęciowe (**500 sztuk**).

Przy realizacji zadania określono szereg elementów wchodzących w zakres prac. Pierwszym etapem są prace demontażowe, które obejmują:

- demontaż 500 istniejących opraw
- demontaż 500 wysięgników

Następnym etapem są prace montażowe i remontowe. Wariant ten zakłada:

- montaż 500 sztuk nowych opraw wraz z okablowaniem i zabezpieczeniami
- montaż 500 sztuk nowych wysięgników
- prace pomiarowe

3.3 KOSZTY I OSZCZĘDNOŚCI DLA POSZCZEGÓLNYCH WARIANTÓW

Na koszty związane z modernizacją zgodnie z modernizacją składa się:

- Prace demontażowe
- Prace montażowe wraz z zakupem opraw i wysięgników
- Koszty nadzoru
- Koszty obsługi przetargowej

Oszczędności:

- Zmniejszenie zużycia energii elektrycznej.
- Likwidacja kosztów konserwacji oświetlenia na okres gwarancji.

3.4 ZGODNOŚĆ Z NORMAMI

3.4.1 ZJAWISKO LIGHT POLLUTION

Light Pollution to angielska nazwa zjawiska zanieczyszczenia środowiska światłem. Występuje wszędzie tam, gdzie oświetlenie zamiast służyć celowi, dla którego zostało zbudowane, oświetla również inne obiekty, a w szczególności niebo. Zaśmiecanie światłem, w obecnym stanie prawnym w Polsce nie jest karane, w przeciwieństwie do Włoch, Hiszpanii czy Portugalii, gdzie jest takim samym wykroczeniem, jak śmiecenie odpadami. Regulacje unijne w tym zakresie są opracowywane.

Zanieczyszczenie światłem, z pewnością nawet w Polsce narusza standardy dobrego projektowania oświetlenia. Ponadto w negatywny sposób wpływa na wykorzystanie korytarzy migracji ptaków i nietoperzy. Zjawisko zanieczyszczenia światłem na terenie gminy Jabłonka występuje w szczególności wszędzie tam, gdzie:

- oprawy uliczne, z odbłyśnikiem o dużej asymetrii instalowane są pod kątem, znacznie przekraczającym 15°
- oprawy uliczne, odbłyśnikiem o stosunkowo niskiej asymetrii instalowane są pod kątem, znacznie przekraczającym 30°

Na terenie gminy Jabłonka nie zaobserwowano zanieczyszczenia światłem wśród opraw o niskiej asymetrii odbłyśnika. Dla opraw sodowych – gdzie światło jest bardziej rozproszone, czyli w którym odbłyśnik emituje światło o dużej asymetrii, zjawisko zanieczyszczenia światłem niestety występuje. Ma to miejsce dla opraw zawieszonych na słupach linii napowietrznej zakładu energetycznego, umiejscowionych pod linią przewodów zasilających. Umiejscowiona tak oprawa, aby oświetlić drogę nachylona została pod większym kątem, aniżeli oprawa zawieszona na wysięgniku nad linią.

Rekomenduje się stosowanie opraw o kierunkowym rozsyle światła (np. ledowe).

3.4.2 NORMA OŚWIETLENIOWA

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 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.

Wprowadzono oznaczenia poszczególnych klas oświetleniowych:

- klasa M - Kierowcy pojazdów silnikowych, trasy komunikacyjne, średnie i wysokie prędkości ruchu.
- klasa C - Obszary konfliktowe: pojazdy, piesi, rowerzyści; obszary wykazujące zmianę geometrii drogi, obszary o zwiększonym prawdopodobieństwie kolizji.
- klasa P - Piesi i rowerzyści, chodniki i ścieżki rowerowe, kierowcy przy niskich prędkościach – uliczki osiedlowe, obszary niezależne od jezdni.

Klasa oświetlenia M dotyczy wymagań wizualnych stawianych przez kierowców pojazdów silnikowych na drogach, z całym spektrum dopuszczalnej prędkości ruchu pojazdów (od niskich ≤ 40 km/h do bardzo wysokich ≥ 100 km/h). Do określenia granic poziomów w klasach oświetlenia (M1 ÷ M6) stosuje się następujące parametry oświetlenia:

- L_{sr} - średnia wartość luminancji jezdni [cd/m^2],
- U_o - równomierność całkowita (ogólna) rozkładu luminancji jezdni [-],
- U_l - równomierność wzdłużna rozkładu luminancji jezdni [-],
- F_{TI} - przyrost wartości progowej luminancji, związany z poziomem olśnienia przeszkadzającego [%],
- R_{EI} - współczynnik oświetlenia poboczy jezdni.

Wymagania fotometryczne dla klasy oświetleniowej M

Poziom w klasie M	Luminancja suchej i mokrej jezdni drogi				Olśnienie	Oświetlenie otoczenia
	Sucha nawierzchnia			Mokra nawierzchnia	Sucha nawierzchnia	Sucha nawierzchnia
	L_{sr} [cd/m ²] [eksploatacyjne min.]	U_o [min.]	U_L^* [min.]	U_{ow}^{**} [min.]	f_{II}^{***} [max.] %	R_{EI}^{****} [min.]
M1	2,00	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M2	1,50		0,60		15	
M3	1,00					
M4	0,75	0,35	0,40	0,15	15	0,30
M5	0,50					
M6	0,30				20	

* równomierność wzdłużna U_L - pomiar powtarzalnych jasnych i ciemnych obszarów na powierzchni drogi. Powinien być uwzględniony jedynie dla długich odcinków dróg. Zdefiniowano wartości minimalne równomierności, które mogą zostać zmienione uzasadnionych przypadkach (analiza układu drogowego oraz określonych wymogów krajowych).

** kryterium tylko dla mokrej nawierzchni. Może być stosowane dodatkowo dla kryteriów dotyczących nawierzchni suchej, zgodnie ze szczegółowymi wymogami krajowymi. Wartości podane w kolumnie mogą zostać zmienione w przypadku, gdy mają zastosowanie szczególne wymogi krajowe.

*** wartości z tej kolumny są zalecanymi maksymalnymi wartościami dla danej klasy oświetleniowej. Mogą zostać zmienione, jeżeli zastosowanie mają określone wymagania krajowe.

**** To kryterium może być stosowane jedynie wówczas, gdy nie istnieją obszary ruchu o własnych wymaganiach znajdujące się w sąsiedztwie jezdni. Podane wartości są tymczasowe i mogą zostać zmienione w przypadku, gdy określone zostaną szczegółowe wymagania dotyczące krajowych lub indywidualnych systemów. Wartości te mogą być wyższe lub niższe niż podane, jednakże należy zwrócić uwagę na zapewnienie wystarczającego oświetlenia obszarów.

Klasa oświetlenia C dotyczy wymagań wizualnych stawianych przez kierowców, pieszych i rowerzystów na obszarach konfliktowych: skrzyżowania dróg, ulice w centrach handlowych, deptaki; na drogach o złym stanie nawierzchni lub niekorzystnych warunkach atmosferycznych oraz obszarach o zwiększonym prawdopodobieństwie kolizji i wypadków z całym spektrum dopuszczalnej prędkości ruchu pojazdów (od niskich ≤ 40 km/h do bardzo wysokich ≥ 100 km/h). Do określenia granic w poziomach klas oświetlenia (C0 ÷ C5) stosuje się następujące parametry oświetlenia:

- E_{sr} - średnią wartość natężenia oświetlenia na powierzchni jezdni - (utrzymywane minimum eksploatacyjne) [lx],
- U_o - równomierność ogólną rozkładu natężenia oświetlenia na powierzchni jezdni [-].

Poziom w klasie C	Poziome natężenie oświetlenia	
	\bar{E} [lx] [utrzymywane w minimum]	U_o [-] [minimum]
C0	50	0,4
C1	30	
C2	20	
C3	15	
C4	10	
C5	7,5	

Klasa oświetleniowa P jest przeznaczona dla pieszych i rowerzystów korzystających z chodników, ścieżek rowerowych, pasów postojowych i innych powierzchni drogi, oddzielonych lub leżących wzdłuż jezdni, dla dróg osiedlowych, deptaków parkingów, szkolnych dziecińców, itp. Wymagania oświetleniowe, zestawione w poniższej tabeli, mogą dotyczyć całej powierzchni drogi, tj. jezdni na drogach osiedlowych i pasów rozdzielających między jezdniami, chodnikami i ścieżkami rowerowymi. Do określenia granic w poziomach klas oświetlenia (P1 ÷ P7) stosuje się następujące parametry oświetlenia:

- E_{sr} – średnie, eksploatacyjne natężenie oświetlenia
- E_{min} – minimalne, eksploatacyjne natężenia oświetlenia
- $E_{v \text{ min}}$ – minimalne, pionowe, eksploatacyjne natężenia oświetlenia
- $E_{sc \text{ min}}$ – minimalne, półcylicydryczne, eksploatacyjne natężenia oświetlenia

Wymagania fotometryczne dla klasy oświetleniowej P

Poziom w klasie P	Poziome natężenie oświetlenia		Wymagania dodatkowe jeśli rozpoznawalność twarzy jest konieczna	
	E^*_{sr} [ekspl. min] [lx]	E_{min} [ekspl.] [lx]	$E_{v \text{ min}}$ [ekspl.] [lx]	$E_{sc \text{ min}}$ [ekspl.] [lx]
P1	15	3	5	5
P2	10	2	3	2
P3	1,5	1,5	2,5	1,5
P4	5	1	1,5	1
P5	3	0,6	1	0,6
P6	2	0,4	0,6	0,2
P7	brak wymagań	brak wymagań		

*Dla zapewnienia odpowiedniej równomierność, rzeczywista wartość średniego natężenia oświetlenia nie może przekraczać 1,5-krotnej wartości E_{sr} dla danej klasy

4. ANALIZA EKONOMICZNA KOSZTÓW EKSPLOATACJI SYSTEMU OŚWIETLENIA

4.1 ANALIZA CZASU EKSPLOATACJI SYSTEMU OŚWIETLENIOWEGO

Zgodnie z rozporządzeniem ministra gospodarki z dnia 10 sierpnia 2012 r. w sprawie w sprawie szczegółowego zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności energetycznej, wzoru karty audytu efektywności energetycznej oraz metod obliczania oszczędności energii tabela nr 6. – czas użytkowania źródeł światła dla oświetlenia ulicznego wynosi 4150 h/rok.

Akt obowiązujący z dnia 22 maja 2023 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Energii w sprawie szczegółowego zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności energetycznej oraz metod obliczania oszczędności energii tabela nr 6. – również określa czas użytkowania źródła światła (Tu) dla oświetlania ulicznego na 4150 h/rok.

Mając na uwadze okres gwarancji oprav wyznaczony na 10 lat, eksploatacja oświetlania wyniesie 41 500 godzin. Zgodnie z IES LM-80 - TM-21 oprawy muszą utrzymać strumień świetlny w czasie minimum 80% po 100 000 godzinach pracy. Wynika z tego, że nowe oprawy LED spełniające standardy, są w stanie prawidłowo działać w okresie gwarancyjnym.

4.2 ANALIZA KOSZTÓW DOSTAWY I DYSTRYBUCJI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

4.2.1 PRZED MODERNIZACJĄ

Poniżej w tabeli przedstawiono stan oświetlenia przed modernizacją.

MOC NOMINALNA OPRAWY [W]	MOC RZECZYWISTA OPRAWY [W]	ILOŚĆ	Moc systemu [kW]
70	83	90	7,47
100	115	206	23,69
250	270	204	55,08
łącznie		500	86,24

Roczne zużycie energii elektrycznej dla wybranych opraw przed modernizacją wyznaczone zostało z poniższego wzoru:

$$E_0 = P_0 * t_0 / 1000 \left[\frac{MWh}{rok} \right]$$

Gdzie:

E_0 - roczne zużycie energii elektrycznej przed modernizacją przez oświetlenie zewnętrzne [MWh/rok],

P_0 - sumaryczna moc zainstalowana przed modernizacją [kW],

t_0 - roczny czas pracy oświetlenia [h/rok].

Roczne zużycie energii elektrycznej po modernizacji wyznaczone zostało z poniższego wzoru:

$$E_n = P_n * t_0 / 1000 \left[\frac{MWh}{rok} \right]$$

Gdzie:

E_n - roczne zużycie energii elektrycznej po modernizacji przez oświetlenie zewnętrzne [MWh/rok],

P_n - sumaryczna moc zainstalowana po modernizacji [kW]

t_0 - roczny czas pracy oświetlenia [h/rok].

Roczna oszczędność energii elektrycznej wyznaczona została jako różnica rocznego zużycia energii elektrycznej przed oraz po modernizacji, zgodnie z poniższym wzorem:

$$\Delta E_{0n} = E_0 - E_n \left[\frac{MWh}{rok} \right]$$

Gdzie:

ΔE_{0n} - roczna oszczędność energii elektrycznej przez oświetlenie zewnętrzne [MWh/rok],

E_0 - roczne zużycie energii elektrycznej przed modernizacją [MWh/rok],

E_n - roczne zużycie energii elektrycznej po modernizacji [MWh/rok].

Zgodnie ze sposobem obliczania zużycia energii elektrycznej, zużycie energii elektrycznej przed modernizacją kształtuje się następująco:

$$E_0 = 86,24 * 4150 / 1000 \left[\frac{MWh}{rok} \right]$$

$$E_0 = 357,896 \left[\frac{MWh}{rok} \right]$$

4.2.2 PO MODERNIZACJI

Wymiana opraw sodowych na nowoczesne energooszczędne oprawy typu Led. W poniższym wariantcie liczba opraw drogowych będzie taka sama.

Zakłada redukcję mocy w godzinach późnonocnych. Wymagane programy redukcji:

- od zmierzchu do godz. 23.00 – 100% mocy
- w godz. 23.00-5.00 – 60% mocy
- od godz. 5.00 do świtu – 100% mocy.

Z harmonogramu wynika, że czas roczny świecenia będzie się kształtował następująco:

- 2190 h/rocznie – redukcja
- 1960 h/rocznie – brak redukcji

Poniżej przedstawiono moce i ilości opraw po modernizacji:

Bez redukcji

<i>MOC NOMINALNA OPRAWY [W]</i>	<i>MOC RZECZYWISTA OPRAWY [W]</i>	<i>ILOŚĆ</i>	<i>Moc systemu [kW]</i>
19	19	13	0,247
29	29	417	12,093
60	60	64	3,84
129	129	6	0,774
Łącznie		500	16,954

Z redukcją

MOC NOMINALNA OPRAWY [W]	MOC RZECZYWISTA OPRAWY [W]	ILOŚĆ	Moc systemu [kW]
19	11,4	13	0,1482
29	17,4	417	7,2558
60	36	64	2,304
129	77,4	6	0,4644
Łącznie		500	10,1724

Zgodnie ze sposobem obliczania zużycia energii elektrycznej, zużycie energii elektrycznej po modernizacji kształtuje się następująco:

$$E_r = 10,1724 * 2190/1000 \left[\frac{MWh}{rok} \right]$$

$$E_r = 22,277 \left[\frac{MWh}{rok} \right]$$

$$E_b = 16,954 * 1960/1000 \left[\frac{MWh}{rok} \right]$$

$$E_b = 33,230 \left[\frac{MWh}{rok} \right]$$

$$E_1 = E_r + E_b$$

$$E_1 = 22,277 \left[\frac{MWh}{rok} \right] + 33,230 \left[\frac{MWh}{rok} \right]$$

$$E_2 = 55,507 \left[\frac{MWh}{rok} \right]$$

Redukcja zużycia energii elektrycznej przedstawia się następująco:

$$\Delta E = E_0 - E_1$$

$$\Delta E = 357,896 \left[\frac{MWh}{rok} \right] - 55,507 \left[\frac{MWh}{rok} \right]$$

$$\Delta E = 302,389 \left[\frac{MWh}{rok} \right]$$

4.3 ANALIZA EKOLOGICZNA

W chwili obecnej moc zakwalifikowanych do modernizacji opraw oświetleniowych na terenie gminy Jabłonka wynosi 86,24 kW co przy 4150 godzinach działania urządzeń w skali roku daje nam 357,896 MWh zużytej energii elektrycznej. Ilość zużytej energii przekłada się na wielkość emisji szkodliwego dla środowiska dwutlenku węgla (CO₂). Emisja CO₂ odpowiadająca takiej ilości zużytej energii elektrycznej kształtuje się na poziomie 245,1588 Mg. Do obliczeń użyto współczynnika emisji określonego przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (publikacja na rok 2022) wynoszącego 0,685.

Poniżej przedstawiono wskaźniki emisji w [kg/MWh] dla odbiorców energii elektrycznej.

Dwutlenek węgla (CO ₂)	685
Tlenki siarki (SO _x /SO ₂)	0.436
Tlenki azotu (NO _x /NO ₂)	0.456
Tlenek węgla (CO)	0.261
Pył całkowity	0.018

Redukcja emisji CO₂ przedstawiona została w tabeli poniżej.

Modernizacja				
Parametr	Moc	Czas świecenia	Zużycie energii	Emisja CO ₂
-	[kW]	[h]	[MWh]	[Mg]
Przed modernizacją	86,240	4150	357,896	245,1588
Po modernizacji	10,172	2190	22,278	15,2604
	16,954	1960	33,230	22,7626
Różnica		-	302,389	207,1365
Redukcja emisji CO ₂ [%]				84,49

- Szacowany roczny spadek emisji gazów cieplarnianych wynosi **207,1365 ton/ rok**.
- Stopień poprawy efektywności energetycznej wynosi **84,49 %**
- Stopień redukcji CO₂ w okresie trwałości modernizacji (10 lat) wynosi **2 071,365 Mg**

Redukcja emisji zanieczyszczeń przedstawiona została w tabeli poniżej.

Rodzaj zanieczyszczenia	kg/MWh	Przed modernizacją [kg]	Po Modernizacji [kg]	Redukcja [kg]
SO ₂	0,436	113,04	31,98	81,07
NO _x	0,456	118,23	33,44	84,79
CO	0,261	67,67	19,14	48,53
Pył Całkowity	0,018	4,67	1,32	3,35

5. WNIOSKI

Modernizacja oświetlenia ulicznego w gminie Jabłonka zakłada uzyskanie redukcji emisji gazów cieplarnianych o 84,49 %. Redukcja zużycia energii w skali roku wyniesie 302,389 MWh, a roczny spadek emisji gazów cieplarnianych (CO₂) wyniesie 207,1365 ton.

Rekomenduje się aby po modernizacji zweryfikować zapotrzebowanie na moc umowną dla każdej szafki oświetleniowej. Taka zmiana pozwoli osiągnąć dodatkowe oszczędności dla Gminy.