

AUDYT EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ

SIECI OŚWIETLENIA ULICZNEGO



PRZYGOTOWANY DLA

GMINY GŁUSZYCA

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	5
3. Analiza techniczno - technologiczna	7
3.1 Sprzęt oświetleniowy – źródła światła	7
3.2 Modernizacja oświetlenia	8
3.3 Koszty i oszczędności Modernizacji	9
3.4 Zgodność z normami	9
3.4.1 Zjawisko Light Pollution.....	9
3.4.2 Norma Oświetleniowa	10
4. Analizy	13
4.1 Analiza czasu eksploatacji systemu oświetleniowego.....	13
4.2 Analiza Zużycia Energii Elektrycznej	14
4.2.1 Przed modernizacją	14
4.2.2 Po modernizacji	15
4.3 Analiza ekologiczna	18
5. Białe Certyfikaty	20
6. Wnioski	21

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 Głuszycy.

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 wyznaczania 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:

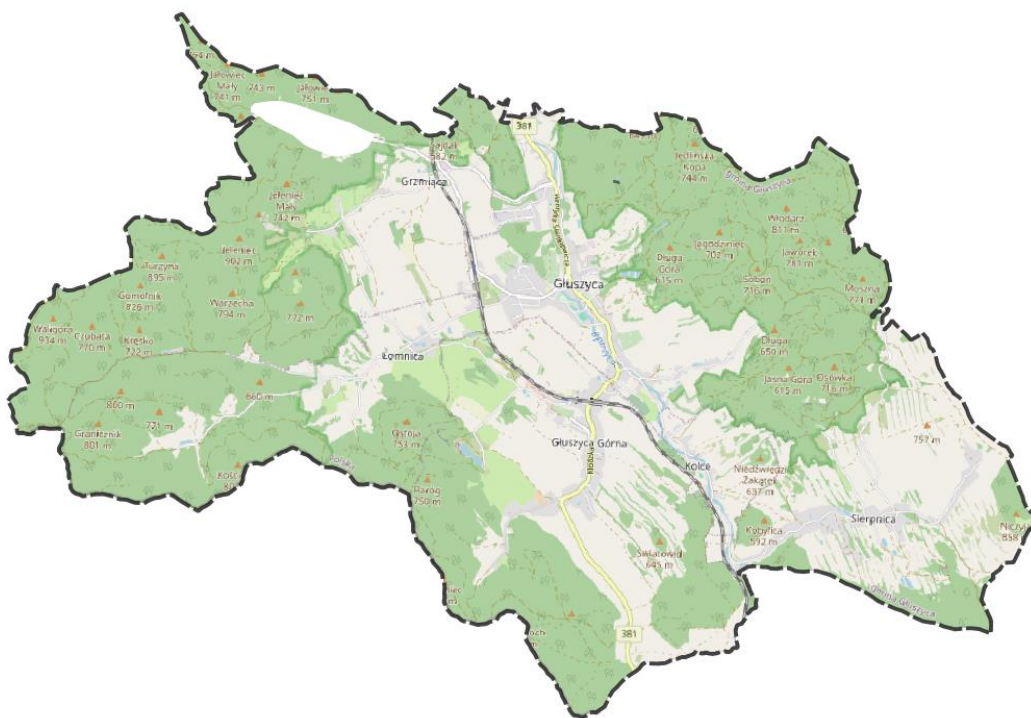
- Ustawa Prawo Zamówień Publicznych z dnia 11 września 2019r. (Dz.U.2021.1129 t.j. z dnia 2021.06.24)
- Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 11 września 2020 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego (Dz.U.2020.1609 z dnia 2020.09.18)
- Ustawa Prawo Budowlane z dnia 7 lipca 1994r. (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 Głuszyca.



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 **460** punktów oświetlenia drogowego na których zamontowano łącznie **462 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 punktów świetlnych (latarni), z podziałem na rodzaj linii:

- Linia wydzielona 183 sztuki opraw
- Linia wspólna 279 sztuk opraw

Oświetlenie (oprawy) w gminie Głuszycza należy do majątku spółki Tauron Nowe Technologie S.A. Poniższa tabela przedstawia wyszczególnienie ilości opraw z podziałem na rodzaj linii oraz lokalizację (wieś/osadę).

Rodzaj linii Miejscowość/ Osada	Oświetlenie ul. wydzielone	Oświetlenie ul. wspólne	Łącznie
Głuszycza	148	179	327
Głuszycza Górna	7	40	47
Grzmiąca	1	40	41
Kolce	7	18	25
Łomnica	20		20
Sierpnica		2	2
Łącznie	183	279	462

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

Rodzaj oprawy Moc Oprawy	rtęciowe	sodowe	Łącznie
83 W		175	175
115 W		99	99
137 W	49		49
168 W		139	139
Łącznie	49	413	462

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 źródeł 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 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 21 wariantów oświetleniowych z podziałem na oświetlenie drogowe oraz oświetlenie parkowe. Poszczególne warianty przyporządkowano do ciągów oświetleniowych wskazując tym samym możliwość spełnienia normy oświetleniowej po przeprowadzonej modernizacji.

Poniżej przedstawiono parametry każdej z sytuacji.

Wariant	Szerokość [m]	Odległość słupa od jezdni [m]	Moduł [m]	Klasa ośw. Drogi	Wysokość zawieszenia oprawy[m]	nawierzchnia
1	3,5	1	43	M5	8,5	asfalt
2	3,5	2	43	M5	8,5	asfalt
3	4,5	1	38	M5	8,5	asfalt
4	4,5	2	41	M5	8,5	asfalt
5	4,5	4	45	M5	8	asfalt
6	5,5	1	48	M5	8	asfalt
7	5,5	2	38	M5	8	asfalt
8	6,5	1,5	29	P5	6	asfalt
9	6,5	1	39	M5	8,5	asfalt
10	6,5	2	48	M5	8,5	asfalt
11	7,5	1	46	M5	8	asfalt
12	7,5	2	48	M5	8	asfalt
13	7,5	4	38	M5	7,5	asfalt
14	14	2	26	M5	9	asfalt
15	7	1,5	40	M4	9	asfalt
16	6,1	1,5	45	M3	9	asfalt
17	6,1	2,5	41	M3	9	asfalt
18	6,1	4	36	M3	9	asfalt
19	6	1,5	44	P4	8	asfalt
20	4	1	35	P3	8	gruntowa
21	9,5	2	38	M3	8	asfalt

Modernizację systemu oświetlenia zakłada wymianę opraw zgodnie z obliczeniami fotometrycznymi. Zakwalifikowano do wymiany oprawy sodowe i rtęciowe (**462 sztuk**).

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

- demontaż 462 istniejących opraw

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

- montaż 462 sztuk nowych opraw
- wymiana zabezpieczeń i przewodów zasilających oprawy
- prace pomiarowe

3.3 KOSZTY I OSZCZĘDNOŚCI MODERNIZACJI

Na koszty związane z modernizacją zgodnie z modernizacją składa się:

- Prace demontażowe
- Prace montażowe wraz z zakupem opraw
- 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 korzyści migracji

ptaków i nietoperzy. Zjawisko zanieczyszczenia światłem na terenie gminy Głuszycza 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 Głuszycza 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. Zanieczyszczenie światłem występuje również w oprawach parkowych typu „kula”. Oprawy te świecą we wszystkie kierunki, w znacznej części nie na powierzchnię drogi, tylko do góry w niebo.

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 ($M1 \div M6$) 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_{π} - przyrost wartości progowej luminancji, związany z poziomem ośnienia przeszkadzającego [%],
- R_{EI} - współczynnik oświetlenia poboczy jezdni.

Wymagania fotometryczne dla klasy oświetleniowej M

Poziom w klasie M	Luminancja suchej i mokrej jezdni drogi				Ośnienie	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 _T ^{***} [max.] %	R _{el} ^{****} [min.]	
M1	2,00	0,40	0,70	0,15	10	0,35	
M2	1,50		0,60			15	0,30
M3	1,00						
M4	0,75	0,35	0,40				
M5	0,50						
M6	0,30						

* 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_0 - równomierność ogólną rozkładu natężenia oświetlenia na powierzchni jezdni [-].

Wymagania fotometryczne dla klasy oświetleniowej C

Poziom w klasie C	Poziome natężenie oświetlenia	
	\bar{E} [lx] [utrzymywane w minimum]	U_0 [-] [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
- $E_{v min}$ – minimalne, pionowe, eksploatacyjne natężenia oświetlenia
- $E_{sc min}$ – minimalne, półcyldryczne, eksploatacyjne natężenia oświetlenia

Wymagania fotometryczne dla klasy oświetleniowej P

Poziom w klasie P	Poziome natężenie oświetlenia		Wymagania dodatkowe jeśli rozpoznawalność twarzy jest konieczna	
	E* _{śr} [ekspl. min] [lx]	E _{min} [ekspl.] [lx]	Ev.min [ekspl.] [lx]	Esc,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 równomierności, rzeczywista wartość średniego natężenia oświetlenia nie może przekraczać 1,5-krotnej wartości E_{śr} dla danej klasy

4. ANALIZY

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 opraw 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 ZUŻYCIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ

4.2.1 PRZED MODERNIZACJĄ

Poniżej w tabeli przedstawiono stan oświetlenia przed modernizacją.

<i>MOC NOMINALNA OPRAWY [W]</i>	<i>MOC RZECZYWISTA OPRAWY [W]</i>	<i>ILOŚĆ</i>	<i>Moc systemu [kW]</i>
70	83	175	14,525
100	115	99	11,385
125	137	49	6,713
150	168	139	23,352
łącznie		462	55,975

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:

$$E_0 = 55,975 * 4150 / 1000 \left[\frac{MWh}{rok} \right]$$

$$E_0 = 232,29625 \left[\frac{MWh}{rok} \right]$$

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>IŁOŚĆ</i>	<i>Moc systemu [kW]</i>
20,9	20,9	24	0,5016
22,4	22,4	130	2,912
25,6	25,6	27	0,6912
28,8	28,8	27	0,7776
35,4	35,4	25	0,885
38,8	38,8	17	0,6596
42	42	40	1,68
46	46	12	0,552
47	47	21	0,987
68	68	74	5,032
75	75	2	0,15
105,7	105,7	63	6,6591
łącznie		462	21,4871

Z redukcją

MOC NOMINALNA OPRAWY [W]	MOC RZECZYWISTA OPRAWY [W]	ILOŚĆ	Moc systemu [kW]
20,9	12,54	24	0,30096
22,4	13,44	130	1,7472
25,6	15,36	27	0,41472
28,8	17,28	27	0,46656
35,4	21,24	25	0,531
38,8	23,28	17	0,39576
42	25,2	40	1,008
46	27,6	12	0,3312
47	28,2	21	0,5922
68	40,8	74	3,0192
75	45	2	0,09
105,7	63,42	63	3,99546
Łącznie		462	12,89226

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

$$E_r = 12,89226 * 2190/1000 \left[\frac{MWh}{rok} \right]$$

$$E_r = 28,2340494 \left[\frac{MWh}{rok} \right]$$

$$E_b = 21,4871 * 1960/1000 \left[\frac{MWh}{rok} \right]$$

$$E_b = 42,114716 \left[\frac{MWh}{rok} \right]$$

$$E_1 = E_r + E_b$$

$$E_1 = 28,2340494 \left[\frac{MWh}{rok} \right] + 42,114716 \left[\frac{MWh}{rok} \right]$$

$$E_1 = 70,3487654 \left[\frac{MWh}{rok} \right]$$

Redukcja zużycia energii elektrycznej przedstawia się następująco:

$$\Delta E = E_0 - E_1$$

$$\Delta E = 232,29625 \left[\frac{MWh}{rok} \right] - 70,3487654 \left[\frac{MWh}{rok} \right]$$

$$\Delta E = 161,9474846 \left[\frac{MWh}{rok} \right]$$

4.3 ANALIZA EKOLOGICZNA

W chwili obecnej moc zakwalifikowanych do modernizacji opraw oświetleniowych na terenie gminy Głuszyca wynosi 55,975 kW co przy 4150 godzinach działania urządzeń w skali roku daje nam 232,29625 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 185,9329 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	55,975	4150	232,2963	159,1229
Po modernizacji	12,892	2190	28,2340	19,3403
	21,487	1960	42,1147	28,8486
Różnica		-	161,9475	110,9340
Redukcja emisji CO ₂ [%]				69,72

- Szacowany roczny spadek emisji gazów cieplarnianych wynosi **110,934 ton/ rok.**
- Stopień poprawy efektywności energetycznej wynosi **69,72 %**
- Stopień redukcji CO₂ w okresie trwałości modernizacji (10 lat) wynosi **1109,34 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	101,28	30,67	70,61
NO _x	0,456	105,93	32,08	73,85
CO	0,261	60,63	18,36	42,27
Pył Całkowity	0,018	4,18	1,27	2,92

5. BIAŁE CERTYFIKATY

Zgodnie z załącznikiem nr 2 do Rozporządzenia Ministra Energii z dnia 10 października 2017 r. *w sprawie szczegółowego zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności energetycznej oraz metod obliczania oszczędności energii*, ilość zaoszczędzonej energii finalnej wylicza się metodą przedstawioną we wzorze poniżej:

$$\Delta Q_0 = T_u (M_0 - M_1) / 1000$$

gdzie:

ΔQ_0 - ilość zaoszczędzonej energii finalnej, wyrażonej w [kWh/rok],

T_u - czas użytkowania źródła światła określony, wyrażony w [h/rok],

M_0 - łączna moc znamionowa opraw oświetleniowych lub źródeł światła przed wymianą, wyrażona w [W]

M_1 - łączna moc znamionowa nowych opraw oświetleniowych lub źródeł światła po wymianie, wyrażona w [W]

Dla oświetlenia ulicznego czas użytkowania źródeł światła określa się zgodnie z tabelą nr 6 rozporządzenia i wynosi 4150 h/rok.

Ilość zaoszczędzonej energii finalnej przekłada się na wartość wyrażona w jednostkach toe.

$$1 \text{ toe} = 11\,630 \text{ kWh}$$

Ilość zaoszczędzonej energii pierwotnej:

$$\Delta Q_P = w_{el} * \Delta Q_0$$

$$w_{el} = 2,5^*$$

** współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej dla energii elektrycznej z produkcji mieszanej, określony w tabeli, zgodnie z załącznikiem nr 4 rozporządzenia ministra energii z dnia 5 października 2017r. w sprawie szczegółowego zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności energetycznej oraz metod obliczania oszczędności energii.*

MODERNIZACJA

$$\Delta Q_1 = 161,9474846 \text{ [kWh/rok]}$$

Ilość zaoszczędzonej energii finalnej wyrażona w jednostkach toe:

$$\Delta Q_1 (\text{toe}) = 161\,947,4846 \text{ [kWh/rok]} / 11\,630 \text{ kWh}$$

$$\Delta Q_1 (\text{toe}) = \mathbf{13,923 \text{ toe/rok}}$$

Ilość zaoszczędzonej energii pierwotnej wyrażona w jednostkach toe:

$$\Delta Q_{p1} = 2,5 * 13,923 \text{ toe/rok}$$

$$\Delta Q_{p1} = \mathbf{34,808 \text{ toe/rok}}$$

6. WNIOSKI

Modernizacja oświetlenia ulicznego w gminie Głuszycza zakłada uzyskanie redukcji emisji gazów cieplarnianych o 69,72%. Redukcja zużycia energii w skali roku wyniesie 161,9475 MWh, a roczny spadek emisji gazów cieplarnianych (CO₂) wyniesie 110,934 ton.

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