

Audyt oświetlenia ulicznego na terenie Miasta i Gminy Kowalewo Pomorskie

Zamawiający	ENERGA Oświetlenie Sp. z o.o. ul. Rzemieślnicza 17/19 81-855 Sopot
Opracowujący	mgr inż. Paweł Filipczuk

Zielona Góra, 2017-11-17

Spis zawartości:

1. Podstawa i zakres opracowania	3
2. Wymagania dla Audytu	5
2.1 Podstawy prawne ujęte przez Polski Komitet Normatywny	5
2.2 Pozostałe akty prawne	5
2.3 Wybór klas oświetleniowych	8
3. Opis aktualnego stanu oświetlenia	9
3.1 Charakterystyka istniejącego oświetlenia	9
3.2 Typy lokalizacji	11
4. Modernizacja oświetlenia.	17
4.1 Technologia LED	17
4.2 Założenia projektowe dla modernizacji	18
4.3 Parametry techniczne opraw LED.	19
4.4 Dobór opraw	20
5. Warianty modernizacji	21
5.1 Wariant I	21
5.2 Wariant II – oświetlenie LED z redukcją mocy oświetlenia w godzinach 23 – 5. ..	22
5.3 Wariant III – oświetlenie LED z systemem dynamicznego sterowania	22
6. Analiza energetyczna i finansowa.	23
6.1 Analiza energetyczna	23
6.2 Roczna redukcja kosztu zużycia energii.	25
6.3 Koszty modernizacji i zwrot z inwestycji.	26
6.4 Efekt ekologiczny i redukcje emisji.	27
6.5 Podsumowanie i wnioski.	28

1. Podstawa i zakres opracowania

Podstawą opracowania audytu jest:

- Zlecenie ENERGA Oświetlenie Sp. z o.o.,
 - Dokumentacja i zestawienia
 - Mapy
- Inwentaryzacja oświetlenia w terenie,
- Materiały fotograficzne i lokalizacyjne w formacie shp
- Norma oświetleniowa PN-EN 13201 Oświetlenie Dróg.
- Załączniki:

Lp.	Opis załącznika	Nazwa załącznika
1	Zestawienie inwentaryzacyjne	01_Kowalewo_Pm_audyt_inwentaryzacja_5.4
2	Zestawienie projektowe	02_Kowalewo_Pm_audyt_projekt_5.4
3	Obliczenia fotometryczne	03_Audyt Kowalewo_5.2 05_Audyt Kowalewo klasa - 1 nocna_5.2
4	Przedmiar robót	06_Kosztorys_Kowalewo_Pomorskie_PR_v5
5	Kosztorys inwestorski	07_Kosztorys_Kowalewo_Pomorskie_KI_v5
6	Audyt energetyczny	08_Audyt energetyczny - Zamówienie 3_UI_2017_Kowalewo_Pomorskie_v5.5
7	Dokumentacja techniczna	09_Dokumentacja Techniczna - Zamówienie 3_UI_2017_Kowalewo_Pomorskie_v5.5
8	Zestawienie montażowe i demontażowe	10_DT_Zestawienie demontażowe 11_DT_Zestawienie montażowe

Zakres opracowania audytu:

- Inwentaryzacja oświetlenia,
- Opis audytowanego oświetlenia,
- Opracowanie klas oświetleniowych i sytuacji obliczeniowych dla dróg określonych w załączniku nr 1,
- Dobór opraw dla sytuacji drogowych,

-
- Opis zastosowanej technologii i sprzętu, zawierający określenie parametrów techniczno - użytkowych proponowanych rozwiązań,
 - Obliczenie efektu redukcji emisji w Mg dla:
 - CO₂,
 - SO₂,
 - NO_x,
 - CO,
 - TSP.
 - Określenie mocy zainstalowanej, zużycia energii elektrycznej i jej kosztów przed modernizacją i po modernizacji,
 - Określenie czasu zwrotu inwestycji,

2. Wymagania dla Audytu

2.1 Podstawy prawne ujęte przez Polski Komitet Normatywny

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 [2] 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.

2.2 Pozostałe akty prawne

- **Ustawa z dnia 8 marca 1990 roku o samorządzie gminnym.**

W szczególności :

Art. 7.1 Zaspokajanie zbiorowych potrzeb wspólnoty należy do zadań własnych gminy. W szczególności zadania własne obejmują sprawy: 1) ładu przestrzennego, gospodarki nieruchomościami, ochrony środowiska i przyrody oraz gospodarki wodnej, 2) gminnych dróg, ulic, mostów, placów oraz organizacji ruchu drogowego,

- **Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 roku - Prawo energetyczne**

W szczególności :

Art. 18.1. Do zadań własnych gminy w zakresie zaopatrzenia w energię elektryczną,

ciepło i paliwa gazowe należy:

1) planowanie i organizacja zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe na obszarze gminy;

2) 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,

d) części dróg krajowych, innych niż autostrady i drogi ekspresowe w rozumieniu ustawy z dnia 27 października 1994 r. o autostradach płatnych oraz o Krajowym Funduszu Drogowym, wymagających odrębnego oświetlenia:

– przeznaczonych do ruchu pieszych lub rowerów,

– stanowiących dodatkowe jezdnie obsługujące ruch z terenów przyległych do pasa drogowego drogi krajowej;

3) finansowanie oświetlenia znajdujących się na terenie gminy:

a) ulic,

b) placów,

c) dróg gminnych, dróg powiatowych i dróg wojewódzkich,

d) dróg krajowych, innych niż autostrady i drogi ekspresowe w rozumieniu ustawy z dnia 21 marca 1985 r. o drogach publicznych, przebiegających w granicach terenu zabudowy,

e) części dróg krajowych, innych niż autostrady i drogi ekspresowe w rozumieniu ustawy z dnia 27 października 1994 r. o autostradach płatnych oraz o Krajowym Funduszu Drogowym, wymagających odrębnego oświetlenia:

– przeznaczonych do ruchu pieszych lub rowerów,

– stanowiących dodatkowe jezdnie obsługujące ruch z terenów przyległych do

pasa drogowego drogi krajowej;

- 4) 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**

W szczególności :

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:

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

- **Ustawa z dnia 29 stycznia 2004 roku - Prawo zamówień publicznych.**

Do stosowania w zakresie wyboru i sposobu realizacji modernizacji oświetlenia.

2.3 Wybór klas oświetleniowych

Sytuacja związana z coraz częstszym wykorzystywaniem sterowania w oświetleniu drogowym, a w szczególności wprowadzenie na rynek szerokiej gamy opraw LED, wytworzyło potrzebę opracowania nowych, bardziej przyjaznych zasad, ułatwiających projektowanie oświetlenia.

Uwzględniono szereg najważniejszych parametrów, które charakteryzują podstawowe sytuacje oświetleniowe, tj. obszary ruchu motorowego, strefy konfliktowe oraz strefy ruchu pieszych i/lub wolno poruszających się pojazdów. Parametry te dotyczą prędkości poruszania się, natężenia i rodzaju uczestników ruchu, warunków charakteryzujących otoczenie drogi.

Wprowadzono nowe oznaczenia poszczególnych klas oświetleniowych:

- klasa M – odpowiada poprzedniej klasie ME,
- klasa C - odpowiada poprzedniej klasie CE,
- klasa P - odpowiada poprzedniej klasie S.

Ogólna zasada ustalania ilościowych wymagań oświetleniowych dla każdej z klas sprowadza się do przypisania wag poszczególnym parametrom, charakteryzującym sytuację na danym oświetlanym obszarze. Zsumowanie tych współczynników wagowych i odjęcie sumy od liczby „6”, odpowiadającej liczbie klas w każdej z kategorii, daje w rezultacie klasę oświetleniową, wymaganą na danym obszarze.

Odpowiednie zalecenia dotyczące oświetlenia wybiera się po przejściu następujących etapów:

- Zdefiniowanie publicznego obszaru ruchu składającego się z jednego rozważanego obszaru lub większej ich liczby i wybranie odpowiedniej grupy sytuacji oświetleniowej,
- Wybór tabeli odpowiadającej danej sytuacji oświetleniowej,
- Szczegółowe określenie rozważanego obszaru,
- Wybór przedziału klas oświetlenia,

- Wybór jednej klasy oświetlenia z przyjętego przedziału,
- Znalezienie wymagań jakościowych dla wybranej klasy oświetleniowej,
- Rozpatrzenie zaleceń ogólnych.

Na podstawie wytycznych, inwentaryzacji i normy PN-EN 13201 określono minimalne klasy oświetleniowe dla jezdni, chodników i ścieżek rowerowych, które przedstawiono w dalszej części audytu.

3. Opis aktualnego stanu oświetlenia

3.1 Charakterystyka istniejącego oświetlenia

Charakterystyka stanu istniejącego została opracowana na podstawie materiałów przekazanych przez Zamawiającego w postaci zestawień istniejącego oświetlenia ulicznego w plikach Excel oraz skanów map na podkładach GIS jak również na podstawie zdjęć szaf oświetleniowych. Całość materiału zawiera szczegółowy opis istniejącej infrastruktury. Dodatkowo przeprowadzono szczegółową inwentaryzację wskazanego przez Zamawiającego majątku. Inwentaryzację wykonano za pomocą aplikacji na urządzenia mobilne w dniach 8-11 listopada 2017 roku. Punkty oświetleniowe zostały naniesione na mapę. Dodatkowo dla każdego z punktów zostało dodane zdjęcie słupa z oprawami. Opcjonalnie zamieszczono również poglądowe zdjęcie słupa z dalszej odległości, aby lepiej oddać sytuację drogową.

Zamawiający otrzymuje następujące materiały z inwentaryzacji:

- Warstwa punktów oświetleniowych w formacie SHP. W tabeli atrybutów będą znajdować się dane pomiarów oraz nazwy plików zdjęć dla poszczególnych obiektów.
- Nazwa pliku: Inw_Kowalewo_20171117_4326_WGS84.shp
- Warstwa punktów w formacie SHP odpowiadająca przybliżonemu położeniu 68 map, które zostały przekazane przez Zamawiającego jako zakres modernizacji.

-

Istniejące oświetlenie to w głównej mierze oświetlenie o źródle światła sodowym o mocach:

- Pozostałe 53 oprawy to oprawy sodowe i rtęciowe o różnych mocach. Na terenie całej gminy jest zainstalowana jeden naświetlacz LED o mocy 53 w miejscowości Frydrychowo.

Typ opraw przed modernizacją	Moc źródła przed modernizacją	Ilość opraw wg typu (szt.)	Ilość opraw wg mocy źródła (szt.)
Naświetlacz LED	53	1	1
Malaga 1 (SGS 101, 102)	70	284	298
OUSd	70	7	
OCP (daszek)	70	7	
Ambar 2	100	3	331
Malaga 1 (SGS 101, 102)	100	301	
Naświetlacz	100	9	
OCP (daszek)	100	4	
Oprawa stylowa	100	14	
OCP (daszek) rtęciowa	125	15	25
Naświetlacz	125	10	
Malaga 1 (SGS 101, 102)	150	128	149
OUSd	150	1	
Selenium (SGP 340)	150	20	
OUS	250	26	27
Malaga 1 (SGS 101, 102)	250	1	
OUS	400	1	1
		832	832

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

Moc źródła przed modernizacją	Moc oprawy przed modernizacją	Ilość opraw wg mocy (szt.)	Suma mocy opraw przed modernizacją (W)
53	53	1	53
70	83	298	24 568
100	115	331	38 295
125	137	25	3 425
150	168	149	25 032
250	277	27	7 479
400	440	1	440
		832	99 292

Suma mocy zainstalowanych opraw w miejscowościach na terenie gminy bez uwzględnienia strat na sieci elektroenergetycznej stanowi podstawę do obliczeń objętych zakresem niniejszego audytu wynosi **99,292 kW**.

3.2 Typy lokalizacji

W poniższej tabeli zebrano lokalizacje znajdujące się na terenie gminy Kowalewo Pomorskie, który podlegał modernizacji oświetlenia ulicznego.

Lp.	Lokalizacje w gminie Kowalewo Pomorskie		
	Miasto	Wieś	Osada/Siedlisko
1	Kowalewo Pomorskie	Bielsk	Borek
2		Borówno	Dylewo
3		Chełmonie	Gapa
4		Chełmoniec	Józefat
5		Elzanowo	Lądy
6		Frydrychowo	Martyniec
7		Kiełpiny	Otoruda
8		Lipienica	Piątkowo
9		Mariany	Podborek
10		Mlewiec	Szewa
11		Mlewo	
12		Napole	
13		Nowy Dwór	
14		Pluskowęsy	
15		Pruska Łąka	
16		Sierakowo	
17		Srebrniki	
18		Szychowo	
19		Wielka Łąka	
20		Wielkie Rychnowo	
21		Zapluskowęsy	

Na terenie Gminy Kowalewo Pomorskie należy uwzględnić przebieg Drogi Krajowej nr 15 oraz Dróg Wojewódzkich nr 554 i 649. Pozostałe to drogi gminne, miejskie oraz wiejskie. Dodatkowa mamy do czynienia ze ścieżkami rowerowymi i pieszymi.

Suma mocy zainstalowanych opraw w mieście Kowalewo Pomorskie wynosi **58,6 kW**. Oświetlenie zabudowane jest na słupach napowietrznych (Fot.1) lub kablowych (Fot.2,3).



Fot. 1 – przykład słupa napowietrznego z zamontowaną oprawą oświetleniową w mieście Kowalewo Pomorskie

oraz słupach wydzielonych z siecią kablową:



Fot. 2, 3 – przykład słupów oświetleniowych kablowych w mieście Kowalewo Pomorskie

Dodatkowo część opraw (35 szt.) zamontowana jest na elewacjach budynków (Fot.4).



Fot. 4 – przykład montażu na elewacji w mieście Kowalewo Pomorskie

Sytuacją specyficzną jest park miejski z oprawami stylowymi w ilości 14 sztuk (Fot.5).



Fot.5 – oprawy stylowe w Mieście Kowalewo Pomorskie (14 szt.)

Zestawienie mocy opraw w mieście Kowalewo Pomorskie przedstawia tabela poniżej.

typ opraw PRZED modernizacją	moc źródła PRZED modernizacją	moc oprawy PRZED modernizacją	ilość opraw (wg typ szt.)	moc oprawy PRZED modernizacją (W)
Malaga 1 (SGS 101, 102)	70	83	151	12 533
OCP (daszek)	70	83	7	581
Malaga 1 (SGS 101, 102)	100	115	77	8 855
Naświetlacz	100	115	9	1 035
OCP (daszek)	100	115	4	460
Oprawa stylowa	100	115	14	1 610
OCP (daszek) rtęciowa	125	137	25	3 425
Malaga 1 (SGS 101, 102)	150	168	118	19 824
Selenium (SGP 340)	150	168	20	3 360
OUS	250	277	25	6 925
			450	58 608

W pozostałych miejscowościach gminy Kowalewo zainstalowanych jest 382 punkty świetlne o łącznej mocy zainstalowanej 40,7 kW ze średnią mocą powyżej 130 W na punkt. Oświetlenie głównie zabudowane jest na słupach napowietrznych z siecią dystrybucyjną operatora.

Poniżej zestawienie liczby opraw dla poszczególnych miejscowości wiejskich gminy Kowalewo Pomorskie.

Nazwa miejscowości	Liczba opraw
Bielsk	8
Borówno	7
Chełmonie	8
Chełmoniec	24
Dylewo	5
Elzanowo	10
Frydrychowo	13
Gapa	1
Józefat	2
Kiełpiny	19
Lipienica	18
Mariany	13
Martyniec	4
Mlewiec	9
Mlewo	15

Napole	20
Nowy Dwór	15
Piątkowo	19
Pluskowęsy	26
Pruska Łąka	6
Sierakowo	7
Srebrniki	14
Wielka Łąka	57
Wielkie Rychnowo	62
Suma	382

Droga krajowa nr 15 przebiegająca przez Kowalewo Pomorskie, miejscowości Wielka Łąka, Elzanowo, Szychowo, Pluskowęsy, Kiełpin, Dylewo oraz tereny gminy jest oświetlona oprawami o mocy 100 i 150 W. Wysokość mocowania opraw 9 – 10 m. Słupy przy drodze krajowej nr 15 głównie stanowią odrębną infrastrukturę z siecią kablową.



Fot.6 – przykład oświetlenia wzdłuż DK nr 15 Elzanowo i Kowalewo Pomorskie

Oświetlenie dróg wojewódzkich nr 554 i nr 649 przebiegających przez miejscowości wiejskie i Kowalewo Pomorskie znajduje się na słupach napowietrznych z siecią dystrybucyjną operatora.



Fot.7 – przykład oświetlenia wzdłuż dróg wojewódzkich w gminie Kowalewo Pomorskie

4. Modernizacja oświetlenia.

4.1 Technologia LED

Wprowadzenie do powszechnego stosowania opraw oświetleniowych wyposażonych w źródła światła LED znacząco zmienia sytuację w oświetleniu drogowym poprzez zmniejszenie kosztów zużycia energii elektrycznej przy jednoczesnym podniesieniu parametrów światła. Stosowanie takiego typu oświetlenia zapewnia wzrost bezpieczeństwa uczestników ruchu oraz podnosi ich komfort. Technologia ta charakteryzuje się wyższą skutecznością źródeł światła. W porównaniu z konwencjonalnymi źródłami, większa część energii elektrycznej zamieniana jest na światło. Pozwala to w ogólnodostępnych produktach oświetleniowych uzyskać skuteczność świetlną rzędu 140-150lm/W ze źródła i w konsekwencji od 100-130 lm/W z oprawy. Dodatkową korzyścią infrastruktury oświetleniowej opartej o źródła LED jest precyzyjnie kierowane światło przez zespół dedykowanych soczewek na odpowiednie obszary jezdni, chodnika czy ścieżki rowerowej. Zapewnia to możliwość poprawy bezpieczeństwa i zmniejszenia strat świetlnych i energetycznych. Kolejnym aspektem podnoszącym bezpieczeństwo uczestników ruchu jest podniesienie współczynnika

oddawania barw CRI (ang. Colour Rendering Index). Ułatwia to rozpoznawanie postaci pieszych czy rowerzystów - oczekiwanym poziomem rozpoznawalności barw to CRI >70. Technologia LED pozwala też na stosowanie różnych temperatur barwowych. Preferowaną temperaturą barwową w oświetleniu ulicznym jest temperatura 4000 K zapewnia ona odpowiedni balans pomiędzy efektywnością i komfortem uczestników ruchu. To światło naturalnie białe. Stosowanie innych temperatur barwowych zalecane jest w celu wyróżnienia obszarów o innym charakterze użytkowym. W przypadku parków i przestrzeni rekreacyjnych powinno się stosować barwę ciepłą np. 3000 K. Możliwe jest też stosowanie wyższej temperatury barwowej w celu wyróżnienia przejść dla pieszych. Ta temperatura barwowa może zostać podniesiona – daje to efekt podniesienia uwagi kierowcy. Temperatura barwowa stosowana na przejściach dla pieszych nie powinna jednak przekraczać wartości 5700 K.

W celu zachowania odpowiedniej trwałości opraw LED niezwykle istotnym jest korzystanie z opraw posiadających odpowiednie badania oraz konstrukcję i materiały pozwalające na zapewnienie tych parametrów w długim okresie czasu. Projekty fotometryczne przygotowywane w celu zapewnienia odpowiedniego natężenia światła w całym okresie eksploatacji zawierają odpowiedni współczynnik konserwacji w celu zabezpieczenia przed spadkiem strumienia w końcowym okresie eksploatacji. Ważne jest na etapie projektowym przyjęcie wartości współczynnika na poziomie 0,7 – 0,8 oraz wprowadzenie zapisów do Specyfikacji Istotnych Warunków Zamówienia o trwałości opraw np. żywotność L80B10: 100 000 h. Takie zestawienie parametrów zapewni odpowiedni poziom strumienia świetlnego w długim okresie eksploatacji. Ważnym aspektem korzystania z opraw typu LED jest zgodność z dyrektywą DARKSKY – dzięki precyzyjnie dobranym optykom.

4.2 Założenia projektowe dla modernizacji

Na potrzeby audytu określono typowe sytuacje drogowe. Klasy oświetleniowe dla danych dróg zostały określone na podstawie normy PN 13201 „Oświetlenie dróg”. Bazując

na danych z inwentaryzacji oraz materiałach przekazanych przez Zamawiającego dobrano moce i strumienie opraw do poszczególnych sytuacji drogowych. Całość stanowi zestawienie stanowiące Załącznik nr 2 - audyt.

4.3 Parametry techniczne opraw LED.

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

- II klasa ochronności przeciwporażeniowej.
- Temperatura barwowa źródła światła 4000 - 4300 K.
- Wskaźnik oddawania barw $R_a \geq 70$.
- Wytrzymałość uderowa opraw ≥ 4 kV.
- Stopień ochrony IK min 08 dla oprawy (w tym klosza).
- Stopień szczelności oprawy min IP 65.
- Obudowa wykonana z odlewu aluminiowego.
- Minimum utrzymanie 80% nominalnego strumienia świetlnego po 60 000 h.
- Klosz wykonany ze szkła hartowanego dla opraw drogowych i parkowych lub poliwęglanu odpornego na UV dla opraw parkowych.
- Prąd zasilania diod LED nie większy niż 700 mA.
- Oprawa musi posiadać oznaczenie CE, ENEC oraz posiadać stosowne deklaracje oraz być dopuszczona do obrotu na terenie Rzeczypospolitej Polskiej.
- Regulacja kąta (dla opraw drogowych) oprawy nie mniej niż zakres $-10^\circ +10^\circ$.
- Możliwość zaprogramowania autonomicznej redukcji strumienia świetlnego opraw w godzinach nocnych do 3 poziomów redukcji.
- Ponadto oprawa musi posiadać aktualną deklarację zgodności CE, a także certyfikat potwierdzający wykonanie jej zgodnie z normami europejskimi nadany przez niezależne laboratorium badawcze, posiadające akredytację na

terenie Unii Europejskiej, np. certyfikat ENEC lub równoważny

4.4 Dobór opraw

Na podstawie powyższych założeń i wykonanych obliczeń, dobrano oprawy typu LED dla poszczególnych sytuacji. Obliczenia potwierdzają prawidłowy dobór opraw, które spełniają założone klasy oświetleniowe zgodnie z normą PN-EN 13201. W tabeli poniżej przedstawiono sumaryczne wartości mocy nowych opraw LED z podziałem na sytuacje drogowe.

Klasa dla jezdni	Klasa chodnika/drog i rowerowej	Nr sytuacji	Ilość opraw [szt.]	Moc oprawy [W]	Łączna moc oprawy [W]
P4	brak	Sytuacja 11	29	39	1 131
M6	brak	Sytuacja 1	28	84	2 352
P5	brak	Sytuacja 2	10	64	640
P5	brak	Sytuacja 3	29	64	1 856
P4	brak	Sytuacja 4	5	39	195
P5	P6	Sytuacja 5	11	78	858
P4	P5	Sytuacja 6	21	57	1 197
P5	brak	Sytuacja 7	22	64	1 408
M5	brak	Sytuacja 8	16	86	1 376
M5	brak	Sytuacja 9	14	84	1 176
M5	brak	Sytuacja 10	124	39	4 836
P4	brak	Sytuacja 12	48	28	1 344
M5	P5/P4	Sytuacja 13	29	57	1 653
M4	P4/P3	Sytuacja 14	86	66	5 676
M5	P6/P3	Sytuacja 15	16	31	496
P4	P4/P6	Sytuacja 16	23	39	897
M6	brak	Sytuacja 17	14	42	588
P5	P5	Sytuacja 18	43	84	3 612
P4	P4	Sytuacja 19	170	57	9 690
brak	P4	Sytuacja 20	14	14	196
P4	P4	Sytuacja 21	80	28	2 240
			832		43 417

Uzyskana wartość średniej mocy zainstalowanej opraw LED jest równa 52 W i stanowi 43,7 % mocy zainstalowanej obecnych opraw sodowych. Tym samym modernizacja opraw na typu LED daje 56,3 % oszczędności na poborze mocy przez system oświetleniowy. Kolejne oszczędności są do uzyskania po zastosowaniu redukcji mocy w godzinach

nocnych lub systemu zarządzania oświetleniem z indywidualną regulacją poboru mocy opisane w wariantach modernizacji.

5. Warianty modernizacji

Celem audytu jest wybór najlepszego wariantu modernizacji opraw oświetleniowych, wykorzystując innowacyjną technologię LED, na istniejącej już infrastrukturze oświetleniowej i dostosowanie go do zaleceń normy PN-EN 13201 „Oświetlenie dróg”. Wybór ten będzie się charakteryzował zapewnieniem możliwie najniższych kosztów inwestycji, przy jednocześnie wysokim stopniu ograniczenia zużycia energii elektrycznej.

W opracowaniu założono modernizację oświetlenia ulicznego na terenie całej gminy i miasta Kowalewo Pomorskie. W praktyce przekłada się to na wymianę 832 opraw oświetlenia ulicznego na oprawy typu LED. W zakresie prac jest również wymiana uchwytych mocujących oprawy oświetleniowe zamontowane na budynkach w miejscowości Kowalewo Pomorskie oraz tych wysięgników i przewodów zasilających oprawy wraz z zaciskami na liniach napowietrznych, które w trakcie realizacji prac zostaną zaklasyfikowane do wymiany. W wyniku inwentaryzacji ocenia się, że ilość wysięgników do wymiany nie będzie większa niż 60% ogólnej liczby wysięgników. Opracowanie nie obejmuje wymiany słupów lub napowietrznych czy kablowych linii oświetleniowych.

5.1 Wariant I

Wariant ten zakłada wymianę dotychczasowych opraw na energooszczędne oprawy LED, co pozwala na znaczne obniżenie kosztów zużycia energii. Dotychczasowe zużycie energii elektrycznej przy założeniu mocy zamontowanej oraz rocznym czasie pracy na poziomie 4 080 h to 405,11 MWh. Zastosowanie oświetlenia typu LED o parametrach nie gorszych niż w załączonym do niniejszego audytu projekcie z obliczeniami fotometrycznymi zapewnia redukcję do **177,14 MWh** rocznie.

5.2 Wariant II – oświetlenie LED z redukcją mocy oświetlenia w godzinach 23 – 5.

Poprzez wykorzystanie specjalnych opraw, w wariantcie tym wykorzystywana jest możliwość redukcji klasy oświetleniowej o jedną klasę w godzinach 23:00 – 5:00 ze względu na znaczące zmniejszenie natężenia ruchu. Redukcja o jedną klasę oświetleniową jest zgodna z normą PN-EN 13201 „Oświetlenie dróg”, co potwierdzają załączone w dokumentacji obliczenia w programie DIALux. Dostępność opraw oświetleniowych z zaprogramowaną redukcją mocy oraz brak znaczącego w takim przypadku kosztu zakupu, pozwala na istotną redukcję bez wzrostu kosztów inwestycji. Zastosowanie parametrów zawartych w audycie (lub nie gorszych) umożliwia redukcję zużycia o 62,79%, do poziomu **150,736 MWh**. Wynika stąd, że redukcja o jedną klasę oświetleniową w godzinach 23:00 – 5:00 umożliwia obniżenie o dodatkowe 6,52 % zużycia energii elektrycznej względem Wariantu I

5.3 Wariant III – oświetlenie LED z systemem dynamicznego sterowania

Istnieje możliwość zastosowania oświetlenia LED wraz ze sterowaniem dynamicznym strumienia światła. System ten może posiadać szereg innych funkcjonalności związanych z informacjami ewidencyjnymi, pomiarem wybranych parametrów pracy oprawy oraz stałą komunikację ze wszystkimi punktami świetlnymi. Zagadnienia związane z dynamicznym sterowaniem oświetleniem są szeroko opisywane w materiałach producentów systemów. Zakładając, że spełniane będą parametry normy PN-EN 13201 „Oświetlenie dróg” redukcja oświetlenia może nastąpić jedynie w wybranych, pozaklasowych obszarach gminy. W wyniku przeprowadzonych symulacji, zużycie energii elektrycznej dla wariantu III wynosi **140,608 MWh**. Stanowi to o 65,3% mniej w stosunku do stanu przed modernizacją.

Należy jednak pamiętać, że systemy dynamicznego sterowania wymagają dodatkowych sił i środków od inwestora w celu stałego nadzoru nad sytuacją

oświetleniową. Nadal kosztowne są rozwiązania oparte o stałą komunikację pomiędzy punktami świetlnymi a stanowiskiem zarządzania. Komunikacja to koszty miesięczne oscylujące w granicach o kilku do kilkunastu złotych miesięcznie za punkt świetlny. Analiza rynku pokazuje, że oprawa oświetleniowa wyposażona w moduł komunikacyjny jest droższa o 20–40%. Ponadto dynamiczny system wymaga od inwestora utrzymywania zasobów ludzkich odpowiedzialnych za obsługę systemu.

6. Analiza energetyczna i finansowa.

6.1 Analiza energetyczna

Na potrzeby niniejszego audytu przyjęto:

- roczny czas pracy opraw wynosi 4 080h
- czas pracy opraw przy obniżonej klasie oświetleniowej w godzinach 23 - 5 wynosi 2 018h rocznie.

W wyniku inwentaryzacji majątku oświetleniowego oraz analizy materiałów przekazanych przez Zamawiającego wyliczono, że łączna moc zainstalowanych obecnie opraw oświetleniowych wynosi **99,292 kW**. Poniżej dla każdego z wariantów zostanie przedstawiona analiza energetyczna.

Wariant I.

Przyjęta metoda wykorzystana do określania i weryfikacji oszczędności energii finalnej uzyskanej w wyniku realizacji przedsięwzięcia służącego poprawie efektywności energetycznej.

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

gdzie:

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

T_U - czas użytkowania źródła światła 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 wyrażona w [W]

Obliczenia:

$$\Delta Q_0 = 4080[h/rok] * (99292 - 43417 [W]) / 1000 = 227970 [kWh/rok]$$

$$\Delta Q_0 = 227970 [kWh/rok]$$

Oszczędność dla Wariantu I wg zastosowanej metody wynosi 227 970 kWh/rok.

Wariant II.

Dla wariantu II dodatkowo przyjęto redukcję mocy opraw oświetleniowych w godzinach od 23 do 5 o wartości wynikające z obliczeń fotometrycznych pozwalających na zachowanie klas oświetleniowych zmniejszonych o jedną.

$$\Delta Q_N = T_N (M_1 - M_N) / 1000$$

gdzie:

ΔQ_N – ilość dodatkowo zaoszczędzonej energii w godzinach od 23 do 5, wyrażonej w [kWh/rok]
w porównaniu z wariantem I

T_N - czas użytkowania źródła światła w godzinach od 23 do 5 wyrażony w [h/rok],

M_1 – łączna moc znamionowa nowych opraw oświetleniowych bez redukcji wyrażona w [W]

M_0 – łączna moc zredukowana opraw oświetleniowych wyrażona w [W],

Obliczenia:

$$\Delta Q_0 = 2018[h/rok] * (43417 - 30332 [W]) / 1000 = 26405,53 [kWh/rok]$$

$$\Delta Q_0 = 26405,53 [kWh/rok]$$

Dodatkowo zaoszczędzona energia względem wariantu I w wyniku redukcji o jedną klasę oświetleniową w godzinach od 23 do 5 wynosi 26405,53 kWh/rok. Dodając tą wartość do oszczędności dla wariantu I otrzymujemy całkowitą oszczędność dla wariantu II.

Oszczędność dla Wariantu II wg zastosowanej metody wynosi 254 375,53 kWh/rok.

Wariant III.

W wariantcie III przyjęto redukcję zużycia energii elektrycznej o 2,5% wyższą od wariantu II na podstawie wiedzy własnej audytora.

Oszczędność dla Wariantu III wg zastosowanej metody wynosi 264 503,55 kWh/rok.

Podsumowanie analizy energetyczną zebrano w poniższej tabeli. Zestawione wyniki potwierdzają, że **największą oszczędność otrzymujemy dla wariantu III.**

Wielkość	Przed modernizacją	Wariant I	Wariant II	Wariant III
Łączna moc opraw [kW]	99 292	43 417	43 417	43 417
Roczne zużycie energii elektrycznej [kWh]	405 111	177 141	150 736	140 608
Roczna oszczędność energii elektrycznej [kWh]	X	227 970	254 375,53	264 503,55
Roczna oszczędność energii elektrycznej [%]	X	56,27%	62,79%	65,29%

6.2 Roczna redukcja kosztu zużycia energii.

Kolejną składową przy podjęciu decyzji o wyborze najlepszego wariantu jest wycena rocznej redukcji kosztu zużycia energii elektrycznej. Na potrzeby wyceny przyjęto następujące założenia:

- do wyceny wykorzystano dwu strefową taryfę C12b,
- Zakres godzinowy – Strefa I – 6:00 – 13:00, 15:00 – 22:00; Strefa II – w pozostałych godzinach,
- koszt zakupu energii elektrycznej w części obrotowej przyjęto 230 zł/MWh netto jako średnią cenę na rynku,
- koszt składników zmiennych w części dystrybucyjnej zgodnie z taryfą Energa

Operator:

- dla strefy I - 0,2842 zł/kWh netto
- dla strefy II - 0,077 zł/kWh netto.
- cena energii elektrycznej pozostaje na stałym poziomie w całym okresie zwrotu inwestycji.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń, których składowe i podsumowanie znajduje się w tabeli poniżej, **wariant III wykazał się najniższymi rocznymi kosztami zużycia energii elektrycznej.**

Wielkość	Przed modernizacją	Wariant I	Wariant II	Wariant III
Łączna moc opraw [W]	99 292	43 417	43 417	43 417
Roczne zużycie energii elektrycznej [kWh]	405 111	177 141	150 736	140 608
Roczna oszczędność energii elektrycznej [kWh]	X	227 970	254 375.53	264 503.55
Stawka za kWh w strefie I C12b [zł]	0.5142	0.5142	0.5142	0.5142
Stawka za kWh w strefie II C12b [zł]	0.307	0.307	0.307	0.307
Zużycie energii dla strefy I [kWh]	115 178.62	50 363.62	50 363.62	50 363.62
Koszt zużycia dla strefy I [zł]	59 224.85	25 896.97	25 896.97	25 896.97
Zużycie energii dla strefy II [kWh]	289 932.38	126 777.38	100 372.38	90 244.38
Koszt zużycia dla strefy II [zł]	89 009.24	38 920.66	30 814.32	27 705.03
Łączny koszt zużycia netto [zł]	148 234.09	64 817.63	56 711.29	53 602.00
Roczna redukcja kosztów zużycia energii elektr. [zł]	X	83 416.46	91 522.79	94 632.09
Roczna redukcja kosztów zużycia energii elektr. [%]	X	56.27%	61.74%	63.84%

6.3 Koszty modernizacji i zwrot z inwestycji.

Przedstawione w poprzednich punktach rozdziału 6 dane, w połączeniu z załączonym do dokumentacji przedmiarem i kosztorysem pozwalają na obliczenie kosztów modernizacji oraz wskaźnika ROI.

Dla wariantu III przyjęto, że koszt dodatkowy systemu sterowania oświetleniem stanowi 30% kosztu modernizacji. Każde wdrożenie systemu w zależności od stanu infrastruktury oświetleniowej jest inne, dlatego audytor korzysta w tym przypadku z wiedzy własnej. Dodatkowo informatyczne systemy sterowania aktualnie wdrażane są głównie w miastach, ze względu na mniejsze koszty informatycznej infrastruktury sieciowej związane z zagęszczoną punktów oświetleniowych.

Wielkość	Przed modernizacją	Wariant I	Wariant II	Wariant III
Roczne oszczędność zużycia energii elektrycznej [kWh]	x	227 970	254 375.53	264 503.55
Wartość procentowa oszczędności zużycia energii elektrycznej [%]	x	56,27%	62,79%	65,29%
Roczna redukcja kosztów energii netto [zł]	x	83 416.46	91 522.79	94 632.09
Koszt modernizacji netto [zł]	x	1 309 007.97	1 309 007.97	1 701 710.36
ROI w okresie rocznym	x	0.064	0.070	0.056
Okres zwrotu z inwestycji w latach	x	15.692	14.303	17.982

6.4 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. Stanowi on najnowszy opublikowany raport na stronach Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisjami.

Porównanie rocznej redukcji dla kluczowych emisji zebrano w poniższej tabeli. Wartość redukcji emisji jest wprost proporcjonalna do redukcji zużycia energii elektrycznej, stąd **Wariant III charakteryzuje się największym zmniejszeniem emisji.**

Wskaźnik dla	Wartość wskaźnika [kg/MWh]	Wielkość redukcji emisji [kg/rok]		
		Wariant I	Wariant II	Wariant III
CO ₂	781	178 044,57	198 667,29	206 577,09
SO ₂	0,0818	186,48	208,08	216,36
NO _x	0,824	187,85	209,61	217,95
CO	0,252	57,45	64,10	66,65
Pył całkowity	0,053	12,08	13,48	14,02

6.5 Podsumowanie i wnioski.

W ramach podsumowania przygotowano analizę SWOT dla każdego z omawianych wcześniej wariantów:

- **Wariant I – oświetlenie LED**

Mocne strony (S) <ul style="list-style-type: none">o znacząca redukcja zużycia energii elektrycznej,o niskie koszty inwestycji,o prosty system oświetlenia – polegający na zamontowaniu nowych opraw oświetleniowych.	Słabe strony (W) <ul style="list-style-type: none">o brak wykorzystania podstawowego atrybutu oświetlenia LED – redukcji mocy i strumienia świetlnego.
Szanse (O) <ul style="list-style-type: none">o łatwy sposób zmniejszenia zużycia energii elektrycznej,o znaczące podniesienie bezpieczeństwa uczestników ruchu drogowego,o znaczące podniesienie komfortu mieszkańców i uczestników ruchu drogowego w Gminie Kowalewo Pomorskie.	Zagrożenia (T) <ul style="list-style-type: none">o niepełne wykorzystanie inwestycji – ze względu na brak zastosowania redukcji mocy i strumienia opraw LED.

- **Wariant II – oświetlenie LED z zaprogramowaną redukcją mocy w godzinach 23 – 5.**

<p>Mocne strony (S)</p> <ul style="list-style-type: none"> o wysoka redukcja zużycia energii elektrycznej, o prosty system oświetlenia – polegający na zamontowaniu nowych opraw oświetleniowych z zaprogramowaną przez dostawcę redukcję mocy. 	<p>Słabe strony (W)</p> <ul style="list-style-type: none"> o małe możliwości wpływu na zmiany w zainstalowanym systemie.
<p>Szanse (O)</p> <ul style="list-style-type: none"> o łatwy sposób znacznej redukcji zużycia energii elektrycznej, o dbałość o bezpieczeństwo uczestników ruchu drogowego, o podniesienie komfortu mieszkańców i uczestników ruchu drogowego w Gminie Kowalewo Pomorskie z zagwarantowaniem optymalnego zużycia energii elektrycznej 	<p>Zagrożenia (T)</p> <ul style="list-style-type: none"> o niepełne wykorzystanie inwestycji – ze względu na brak dynamicznego sterowania mocą i strumieniem opraw LED.

• **Wariant III – oświetlenie LED z dynamicznym systemem zarządzania**

<p>Mocne strony (S)</p> <ul style="list-style-type: none"> o wyższa redukcja zużycia energii elektrycznej, 	<p>Słabe strony (W)</p> <ul style="list-style-type: none"> o wysoki poziom zaawansowania słabo przetestowanych technologii, o podniesienie kosztów inwestycji, o konieczność zaangażowania dodatkowych zasobów po stronie infrastruktury technicznej, o konieczność zaangażowania odpowiednich zasobów ludzkich (stały nadzór nad poniesioną inwestycją),
<p>Szanse (O)</p> <ul style="list-style-type: none"> o możliwość wpływu na poziom oświetlenia w poszczególnych obszarach miasta czy gminy (np. chwilowa/czasowa redukcja podczas iluminacji świetlnych), 	<p>Zagrożenia (T)</p> <ul style="list-style-type: none"> o brak możliwości oszacowania awaryjności systemu oświetleniowego zarządzanego z poziomu stanowiska operatorskiego, o brak możliwości oszacowania przyszłych kosztów komunikacji niezbędnej do funkcjonowania ww. systemu, o wzrost kosztów serwisu po okresie gwarancji, o zmniejszenie możliwości zapewnienia stałego poziomu bezpieczeństwa i komfortu uczestników ruchu (możliwy błąd ludzki).

Mając na uwadze wyniki analiz z poprzednich punktów rozdziału 6 oraz powyższej analizy SWOT **audytor rekomenduje wariant II**. Za tą rekomendacją przemawiają następujące czynniki:

- Najwyższy wskaźnik ROI, co przekłada się na najszybszy zwrotu kosztów modernizacji
- Zaprogramowana redukcja w godzinach nocnych umożliwia bez konieczności utrzymywania systemu sterowania (wariant III) umożliwia bez dodatkowych kosztów zmniejszyć zużycie energii elektrycznej o 6.52% w porównaniu z wariantem I.
- Za zmniejszonym zużyciem energii idzie również redukcja emisji w stosunku do wariantu I.
- Wariant III został odrzucony ze względu na największy koszt, który ze względu na unikalny charakter każdego z wdrożeń jest szacunkowy i mógłby być wyższy ze względu na duży obszar objęty modernizacją oraz fakt, że i przy założonym koszcie ma on najniższy wskaźnik ROI.
- Redukcja nocna o jedną klasę oświetleniową spełnia normę PN-EN 13201.