

Audyt oświetlenia ulicznego

Adres obiektu	Teren Miasta Człuchów
Zamawiający	ENERGA Oświetlenie Sp. z o.o. ul. Rzemieślnicza 17/19 81-855 Sopot
Opracowała	Magdalena Ritz Posiadający uprawnienia budowlane nr POM/0181/PWOE/08 do projektowania i kierowania robotami budowlanymi bez ograniczeń w specjalności instalacyjnej w zakresie sieci, instalacji i urządzeń elektrycznych i elektroenergetycznych

Sopot, 2017-05-18

Na terenie Miasta Człuchów eksploatowane jest 1755 szt. opraw oświetleniowych dla celów oświetlenia dróg i placów publicznych. Do zakresu audytu wskazano 1638 szt. opraw oświetleniowych, które stanowią 93,3% całości oświetlenia dróg publicznych na terenie miasta.

Ilość opraw z podziałem na właścicieli wskazano w tabeli poniżej.

Własność	Ilość opraw na terenie gminy	Ilość opraw wskazanych do modernizacji
Miasto Człuchów	348	280
GDDKiA	186	186
ENERGA Oświetlenie Sp. z o.o.	1221	1 172
Razem	1755	1 638

Spis treści:

1. Podstawa opracowania	4
2. Zakres opracowania	4
3. Wymagania i zalecenia w oświetleniu ulic według PN-EN 13201	5
4. Opis stanu aktualnego wynikającego z inwentaryzacji	7
4.1. Opis oświetlenia	9
4.2. Zestawienie łączne oświetlenia	9
5. Modernizacja na oprawy typu LED	12
5.1. Założenia projektowe dla modernizacji	12
5.2. Dobór opraw	13
5.3. Pobór mocy biernej	15
6. Warianty modernizacji	16
6.1. Koncepcje modernizacji oświetlenia	16
6.2. Wariant I - Wymiana oświetlenia na oprawy LED	18
6.3. Wariant II - Wymiana oświetlenia na oprawy LED z autonomiczną regulacją mocy	18
6.4. Wariant III - Wymiana oświetlenia na oprawy LED z systemem zarządzania.	19
7. Analiza energetyczna i finansowa	19
7.1. Metodologia opracowania	19
7.2. Zużycie energii elektrycznej	20
7.3. Koszt energii elektrycznej	22
7.4. Koszt modernizacji	23
7.5. Zwrot z inwestycji	24
7.6. Redukcja emisji CO ₂	25
7.7. Rekomendacja wariantu realizacji modernizacji	26
8. Wnioski	27

1. Podstawa opracowania

Podstawą opracowania audytu jest:

- Zlecenie ENERGA Oświetlenie Sp. z o.o.,
- Inwentaryzacja oświetlenia w terenie,
- Mapy poglądowe i zestawienie oprav przekazane przez Zamawiającego,
- Założenia do Regionalnego Programu Operacyjnego (RPO) perspektywa 2014-2020 w ramach działania 10.4,
- Norma oświetleniowa PN-EN 13201 Oświetlenie Dróg.

2. Zakres opracowania

Zakresem opracowania objęto:

- a) Inwentaryzacja oświetlenia,
- b) Opis audytowanego oświetlenia,
- c) Opracowanie klas oświetleniowych i sytuacji obliczeniowych dla dróg określonych w załączniku nr 1,
- d) Dobór oprav dla sytuacji drogowych,
- e) Opis zastosowanej technologii i sprzętu, zawierający określenie parametrów techniczno - użytkowych proponowanych rozwiązań,
- f) Określenie mocy zainstalowanej, zużycia energii elektrycznej i jej kosztów przed modernizacją i po modernizacji,
- g) Określenie czasu zwrotu inwestycji,

h) Obliczenie efektu redukcji emisji w Mg CO₂/rok.

3. Wymagania i zalecenia w oświetleniu ulic według PN-EN 13201

Polski Komitet Normalizacyjny wprowadził normę PN-EN 13201, zawierającą wytyczne do projektowania oświetlenia, która zastąpiła normę PN-76/E-02032 Oświetlenie dróg publicznych.

Dla celów niniejszego opracowania, zastosowane zostały wytyczne normy PN-EN 13201:2007 wydane w języku polskim.

Norma PN-EN 13201:2007 składa się z czterech części:

- 1 - PKN-CEN/TR 13201-1 Oświetlenie dróg - Część 1: Wybór klas oświetlenia
- 2 - PN-EN 13201-2 Oświetlenie dróg - Część 2: Wymagania oświetleniowe
- 3 - PN-EN 13201-3 Oświetlenie dróg - Część 3: Obliczenia parametrów oświetleniowych
- 4 - PN-EN 13201-4 Oświetlenie dróg - Część 4: Metody pomiarów parametrów oświetlenia

Opisane parametry w normie, umożliwiają takie dobranie klasy oświetleniowej dla sytuacji oświetleniowej drogi, dla możliwie efektywnego wykorzystanie energii na podstawie:

- geometrii rozważanego obszaru,
- użyteczności powierzchni,
- wpływu otaczającego środowiska.

Najczęściej stosowanymi grupami klas oświetleniowych są: ME, CE i S, które są podzielone w zależności od głównych parametrów oświetleniowych na podklasy.

Klasy ME przeznaczone są dla kierowców pojazdów silnikowych na trasach z prędkościami ruchu od średnich do dużych. Podstawowy parametr określający klasę ME jest luminancja średnia drogi i jest ona zależna od oświetlenia powierzchni drogi, właściwości odbijających powierzchni drogi oraz geometrycznych warunków obserwacji. W przypadku, gdy przy jezdni znajdują się chodniki i ścieżki rowerowe, to jezdnie oraz chodniki i drogi dla rowerów należy rozpatrywać oddzielnie, z tym, że powierzchnia chodnika lub drogi rowerowej może obejmować pas zieleni.

Klasy oświetleniowe CE przewidziane są dla kierowców pojazdów silnikowych i innych użytkowników drogi w strefach konfliktowych, takich jak ulice handlowe, skrzyżowania dróg o dużym stopniu złożoności, ronda jak i dla powierzchni użytkowanych przez pieszych i rowerzystów. Parametrem głównym opisującym daną klasę CE jest średnie natężenie oświetlenia.

Klasy oświetleniowe S są przeznaczone dla pieszych i rowerzystów znajdujących się na chodnikach, drogach dla rowerów, pasach postojowych i innych powierzchniach drogowych leżących oddzielnie albo wzdłuż jezdni tras ruchu. Dodatkowo klasy te stosuje się dla dróg osiedlowych, ciągów pieszych, placów parkingowych itp. Jeżeli do jezdni dróg osiedlowych przylegają chodniki można rozpatrywać sytuację drogową, która stanowi całkowitą szerokość jezdni i chodnika. Tam, gdzie chodniki i drogi dla rowerów przylegają do siebie, powierzchnię obydwu mogą być traktowane jako jedna powierzchnia. Parametrem głównym opisującym daną klasę S jest średnie natężenie oświetlenia.

Odpowiednie zalecenia dotyczące oświetlenia wybiera się po przejściu następujących etapów:

- a) Zdefiniowanie publicznego obszaru ruchu składającego się z jednego

rozważanego obszaru lub większej ich liczby i wybranie odpowiedniej grupy sytuacji oświetleniowej,

- b) Wybór tabeli odpowiadającej danej sytuacji oświetleniowej,
- c) Szczegółowe określenie rozważanego obszaru,
- d) Wybór przedziału klas oświetlenia,
- e) Wybór jednej klasy oświetlenia z przyjętego przedziału,
- f) Znalezienie wymagań jakościowych dla wybranej klasy oświetleniowej,
- g) 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.

4. Opis stanu aktualnego wynikającego z inwentaryzacji

Inwentaryzację oświetlenia wykonano na podstawie zakresu i danych przekazanych przez Zamawiającego.

Dla celów określenia sytuacji drogowych z terenu zostały zebrane dane na podstawie wizji lokalnych dotyczące dróg, chodników i ścieżek rowerowych oraz parametrów słupów i opraw.

Wykonano inwentaryzację dla 1638 szt. opraw oświetleniowych w zakresie wskazanym przez Zamawiającego na terenie Miasta Człuchów. Zestawienie ilości opraw przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Zestawienie ilości opraw na terenie Miasta Człuchów

Oświetlenie na terenie miasta wykorzystuje wysokoprężne źródła sodowe w przeważającej ilości o wartości mocy 70 W, umieszczone jest na słupach sieci napowietrznej wspólnych z siecią dystrybucyjną i słupach wydzielonych.

Dla określenia mocy zainstalowanej oświetlenia na terenie miasta, określono moc pojedynczej oprawy jako suma mocy znamionowa lampy wysokoprężnej powiększona o straty na stateczniku elektromagnetycznym:

- Oprawy sodowe 70 W - 0,083 kW
- Oprawy sodowe 100 W - 0,115 kW
- Oprawy rtęciowe 125 W - 0,137 kW
- Oprawy sodowe 150 W - 0,168 kW
- Oprawy sodowe 210 W - 0,230 kW

- Oprawy sodowe 250 W - 0,275 kW

Opis zinwentaryzowanego oświetlenia oraz rodzaj dróg przedstawiono poniżej dla każdej miejscowości. Zbiorcze zestawienie inwentaryzacji przedstawia załącznik nr 1.

4.1. Opis oświetlenia

Człuchów położony jest na przecięciu dróg krajowych nr 25 i nr 22. Obok miasta przebiega obwodnica aleja Jana Pawła II w ciągu drogi krajowej nr 22. Średnie dobowe natężenie ruchu zgodnie z ostatnimi pomiarami z roku 2014 dla skrzyżowania ulicy Zamkowej (DK 25) wynosi 15355 pojazdów na dobę, a dla skrzyżowania z ulicą Koszalińską (DK 22) wynosi 17412 pojazdów na dobę.

W okolicach rynku, oświetlenie uliczne zrealizowane jest na słupach parkowych po dwie oprawy z kloszem typu kula przezroczysta montowana do wysięgnika u góry oprawy. Oprawy nie ograniczają świecenia światłem w górną półprzestrzeń.

Alejki leśnego parku miejskiego Lasek Luizy oraz kładka oświetlane są oprawami parkowymi montowanymi bezpośrednio do słupa z kloszem mlecznym typu kula. Oprawy nie ograniczają świecenia światłem w górną półprzestrzeń.

Pozostałe drogi oświetlane są oprawami drogowymi sodowymi umieszczonymi na słupach stalowych lub betonowych linii oświetleniowej kablowej lub słupów napowietrznych oświetleniowych.

4.2. Zestawienie łączne oświetlenia

Zestawienie mocy zainstalowanej zinwentaryzowanych opraw przedstawia tabela poniżej:

Ulica	Suma mocy zainstalowanych [W]	Ilość opraw [szt.]
al. ks. kard. Stefana Wyszyńskiego	2109	24
Człuchów	2116	16
Kładka	1743	21
os. gen. Władysława Sikorskiego	5060	53
os. Młodych	1775	21
os. Piastowskie	1743	21
os. Wazów	2324	28
os. Wincentego Witosa	1992	24
OSiR Szkolna	1162	14
OSiR Wojska Polskiego	4054	40
Park	4897	59
Plac Bohaterów	996	12
ul. Adama Mickiewicza	1411	17
ul. Aleksandra Brzezińskiego	498	6
ul. Bolesława Chrobrego	1866	13
ul. Chojnicka	332	4
ul. Chopina	498	6
ul. Dworcowa	3019	21
ul. Felczaka	345	3
ul. Garbarska	575	5
ul. gen. Bema	2077	24
ul. Grodzisko	332	4
ul. Henryka Sienkiewicza	4921	44
ul. Hugona Kołłątaja	664	8
ul. Ignacego Potockiego	664	8
ul. Jacka i Agatki	166	2
ul. Jagiellońska	958	10
ul. Jana Długosza	1105	11
ul. Jana Nowaka-Jeziorańskiego	581	7
ul. Jana Pawła II	32273	180
ul. Janusza Kusocińskiego	626	6
ul. Jerzego z Dąbrowy	2459	25
ul. Jeziorna	1328	16
ul. Józefa Ignacego Kraszewskiego	575	5
ul. Juliana Ursyna Niemcewicza	249	3
ul. Kamienna	7531	73
ul. Kasztanowa	945	11
ul. Kaszubska	364	4
ul. Kazimierza Wielkiego	332	4
ul. Ketlinga	581	7

ul. Kmicica	581	7
ul. Kordeckiego	249	3
ul. Kosynierów	249	3
ul. Koszalińska	1908	13
ul. Kościńskiego	1431	13
ul. Królewska	2573	31
ul. Krótka	664	8
ul. Krzyżowa	332	4
ul. Leśna	2835	33
ul. Łąkowa	1775	21
ul. Macieja Rataja	2158	26
ul. Majora Hubala	830	10
ul. Mieszka I	332	4
ul. Mikołaja Reja	115	1
ul. Moniuszki	664	8
ul. Ogrodowa	1743	21
ul. Parkowa	249	3
ul. Plantowa	460	4
ul. Polna	1392	16
ul. Przemysłowa	411	3
ul. Romualda Traugutta	7485	78
ul. Różana	166	2
ul. Rynek	1660	20
ul. Rzemieśnicza	1111	13
ul. Skrzetuskiego	3220	28
ul. Słowackiego	3653	39
ul. Sobieskiego	1712	14
ul. Stajenna	1328	16
ul. Stanisława Janta Lipińskiego	83	1
ul. Stanisława Poniatowskiego	830	10
ul. Stanisława Staszica	415	5
ul. Stefana Batorego	1567	14
ul. Stefana Czarnieckiego	3265	25
ul. Szczecińska	2645	23
ul. Szkolna	3697	43
ul. Średnia	2739	33
ul. Wiśniowa	166	2
ul. Władysława Broniewskiego	1496	17
ul. Władysława Łokietka	249	3
ul. Wojska Polskiego	12466	85
ul. Wołodyjowskiego	1583	16
ul. Zagłoby	1494	18
ul. Zamkowa	2255	15

ul. Zatorze	249	3
ul. Zielona	1411	17
ul. Żółkiewskiego	498	6
Razem	175640	1638

Łączna moc zainstalowana oświetlenia wynosi 175,64 kW, a średnia moc na oprawę wynosi 107,23 W/pkt.

5. Modernizacja na oprawy typu LED.

5.1. Założenia projektowe dla modernizacji

Na potrzeby audytu i określenia mocy modernizowanych opraw, zostały opracowane typowe sytuacje drogowe do wykonania obliczeń fotometrycznych i doboru opraw oświetleniowych typu LED, które bazowały na inwentaryzacji wykonanej w terenie i materiałach przekazanych przez Zamawiającego.

Klasy oświetleniowe dla danych dróg zostały określone na podstawie normy PN 13201 „Oświetlenie dróg” i zostały przedstawione w załączniku nr 2.

Zastosowane oprawy drogowe dla potrzeb audytu spełniają minimalne wymagania:

- temperatura barwowa 2700 - 4300 K,
- utrzymanie strumienia świetlnego L80F10 dla 60 000 h przy $T_a=25\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- klosz zabezpieczonym szkłem hartowanym IK 08,
- skuteczność świetlna dla opraw drogowych nie mniej niż 105 lm/W na wyjściu z oprawy,
- minimalna regulacja kąta nachylenia dla oprawy na wysięgniku/słupie od min. -10 do +10°,

- II klasa ochrony,
- klasa szczelności IP 65,
- prąd sterowania diodami nie więcej niż 700 mA.

Obliczenia fotometryczne dla typowych sytuacji drogowych zostały wykonane dla współczynnika utrzymania $MF=0,85$ i stanowią załącznik nr 3 Audytu.

5.2. Dobór opraw.

Na podstawie powyższych założeń i wykonanych obliczeń, dobrano oprawy typu LED dla poszczególnych miejscowości. Wykonane obliczenia potwierdzają prawidłowy dobór opraw, które spełniają założone klasy oświetleniowe zgodnie z normą PN-EN 13201.

Zestawienie doboru opraw stanowi załącznik nr 2. W tabeli poniżej przedstawiono sumaryczne wartości mocy nowych opraw LED z podziałem na ulice.

Ulica	Sumaryczna moc opraw [W]	Ilość opraw [szt.]
al. ks. kard. Stefana Wyszyńskiego	1473	24
Człuchów	1035	16
Kładka	735	21
os. gen. Władysława Sikorskiego	2517	53
os. Młodych	990	21
os. Piastowskie	1050	21
os. Wazów	1400	28
os. Wincentego Witosa	1200	24
OSiR Szkolna	766	14
OSiR Wojska Polskiego	1885	40
Park	2714	59
Plac Bohaterów	480	12
ul. Adama Mickiewicza	578	17
ul. Aleksandra Brzezińskiego	228	6
ul. Bolesława Chrobrego	780	13
ul. Chojnicka	152	4
ul. Chopina	228	6

ul. Dworcowa	1682	21
ul. Felczaka	114	3
ul. Garbarska	229	5
ul. gen. Bema	965	24
ul. Grodzisko	152	4
ul. Henryka Sienkiewicza	2546	44
ul. Hugona Kołłątaja	304	8
ul. Ignacego Potockiego	304	8
ul. Jacka i Agatki	76	2
ul. Jagiellońska	380	10
ul. Jana Długosza	660	11
ul. Jana Nowaka-Jeziorańskiego	350	7
ul. Jana Pawła II	17418	180
ul. Janusza Kusocińskiego	228	6
ul. Jerzego z Dąbrowy	1500	25
ul. Jeziorna	608	16
ul. Józefa Ignacego Kraszewskiego	190	5
ul. Juliana Ursyna Niemcewicza	114	3
ul. Kamienna	3606	73
ul. Kasztanowa	618	11
ul. Kaszubska	140	4
ul. Kazimierza Wielkiego	152	4
ul. Ketlinga	266	7
ul. Kmicica	266	7
ul. Kordeckiego	114	3
ul. Kosynierów	102	3
ul. Koszalińska	1300	13
ul. Kościńskiego	494	13
ul. Królewska	950	31
ul. Krótka	240	8
ul. Krzyżowa	120	4
ul. Leśna	1382	33
ul. Łąkowa	798	21
ul. Macieja Rataja	1292	26
ul. Majora Hubala	460	10
ul. Mieszka I	152	4
ul. Mikołaja Reja	38	1
ul. Moniuszki	304	8
ul. Ogrodowa	798	21
ul. Parkowa	114	3
ul. Plantowa	240	4
ul. Polna	552	16
ul. Przemysłowa	114	3

ul. Romualda Traugutta	4860	78
ul. Różana	76	2
ul. Rynek	600	20
ul. Rzemieśnicza	494	13
ul. Skrzetuskiego	1649	28
ul. Słowackiego	2340	39
ul. Sobieskiego	1109	14
ul. Stajenna	795	16
ul. Stanisława Janta Lipińskiego	38	1
ul. Stanisława Poniatowskiego	380	10
ul. Stanisława Staszica	190	5
ul. Stefana Batorego	1144	14
ul. Stefana Czarnieckiego	1258	25
ul. Szczecińska	1993	23
ul. Szkolna	1506	43
ul. Średnia	2511	33
ul. Wiśniowa	76	2
ul. Władysława Broniewskiego	668	17
ul. Władysława Łokietka	114	3
ul. Wojska Polskiego	7577	85
ul. Wołodyjowskiego	674	16
ul. Zagłoby	684	18
ul. Zamkowa	1462	15
ul. Zatorze	102	3
ul. Zielona	818	17
ul. Żółkiewskiego	180	6
Razem	93941	1638

Uzyskana wartość średniej mocy zainstalowanej opraw LED jest równa 57,35 W i stanowi 53,5% mocy zainstalowanej obecnych opraw sodowych. Tym samym modernizacja opraw na typu LED daje 46,5% 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.

5.3. Pobór mocy biernej.

Należy zwrócić uwagę na możliwość ponad umownego poboru energii biernej pojemnościowej przez odbiorcę po zastosowaniu opraw typu LED.

Zgodnie z zapisami Taryfy Operatora, dopuszczalny jest pobór energii biernej indukcyjnej o współczynniku mocy nie wyższym niż $\tan \varphi 0,4$ i nie dopuszcza się poboru energii biernej o charakterze pojemnościowym.

W przypadku przekroczenia wielkości mocy biernej indukcyjnej lub pojawienia się poboru mocy biernej pojemnościowej, Operator Systemu Dystrybucyjnego może naliczyć kary za ponad umowny pobór mocy biernej zgodnie z zapisami Taryfy Dystrybucyjnej.

Odbiorcy, którzy zasilani są z sieci o napięciu nie wyższym niż 1 kV, w uzasadnionych przypadkach mogą być objęci kontrolą poboru mocy biernej, o ile zostało to określone w warunkach przyłączenia lub umowie o świadczenie usług dystrybucji podpisanej z OSD lub umowie kompleksowej.

Dla ograniczenia poboru mocy biernej należy wykonać jej kompensację. Kompensacja może być wykonana indywidualnie lub grupowo. Kompensację grupową wykonuje się w szafce oświetleniowej dla ustalonego schematu sieci oświetleniowej zasilanej z danej szafki. W przypadku dobudowy lub demontażu opraw, zmiany konfiguracji sieci, dobór urządzeń kompensujących należy wykonać na nowo. Kompensację indywidualną wykonuje się montując urządzenia dla każdej oprawy np. w słupie.

6. Warianty modernizacji.

6.1. Koncepcje modernizacji oświetlenia

Celem audytu jest wykonanie modernizacji energochłonnego istniejącego oświetlenia i dostosowanie go do warunków i zaleceń normy PN-EN 13201 „Oświetlenie dróg”, wykorzystując innowacyjne oprawy oświetleniowe w technologii

LED.

Zadaniem audytu jest także zaprezentowanie możliwych wariantów wykonania modernizacji oraz wskazanie najkorzystniejszego. Wymagania stawiane najkorzystniejszemu rozwiązaniu to uzyskanie wysokich efektów oszczędności energii elektrycznej przy zachowaniu możliwie najniższych kosztów inwestycji. Wymagany warunkiem prawidłowego przeprowadzenia modernizacji jest dobór opraw oświetleniowych zgodnie z normą PN-EN 13201.

Dla zapewnienia możliwie najniższych kosztów inwestycji przy jednocześnie wysokim stopniu ograniczeniu zużycia energii elektrycznej w pierwszej kolejności rozważana jest koncepcja modernizacji polegająca na wymianie wyłącznie opraw oświetleniowych. Gdyby rozmieszczenie istniejących słupów oświetleniowych nie pozwalało spełnić zaleceń normy PN-EN 13201, a tym samym pierwsza koncepcja nie byłaby możliwa do realizacji to analizie poddana byłaby druga koncepcja. Polega ona na przebudowie części infrastruktury oświetleniowej lub budowie nowej w miejscu dotychczas istniejącej w sposób zapewniający spełnienie zaleceń normy dotyczących obliczeń fotometrycznych.

Przeprowadzona inwentaryzacja istniejącego majątku oraz wykonane obliczenia fotometryczne w analizowanych sytuacjach drogowych nie wykazały konieczności zmiany usytuowania słupów oświetleniowych. Istniejąca infrastruktura po zamontowaniu odpowiednio dobranych energooszczędnych opraw typu LED pozwala dla istniejących sytuacji drogowych spełnić wymogi normy PN-EN 13201:2007.

W analizowanym przypadku koncepcja polegająca na kosztownej wymianie w pełni sprawnych elementów infrastruktury oświetleniowej (słupy, kable, szafki), w

żadnym stopniu nie przyczyniającej się do uzyskania oszczędności energii elektrycznej, a tym samym ograniczenia emisji CO₂, uznana została za całkowicie nieefektywna ekonomicznie.

W związku z tym do dalszej analizy przyjęto wyłącznie koncepcję modernizacji oświetlenia polegającą na wymianie opraw oświetleniowych. Koncepcja ta została przedstawiona w III wariantach.

6.2. Wariant I - Wymiana oświetlenia na oprawy LED.

Powyższy wariant modernizacji zakłada wymianę 1638 szt. opraw sodowych na oprawy typu LED zgodnie z założeniami rozdziału 5 powyższego Audytu. Uzyskana oszczędność rzędu 46,5% wynika wyłącznie z obniżenia mocy zainstalowanej zmodernizowanego oświetlenia.

6.3. Wariant II - Wymiana oświetlenia na oprawy LED z autonomiczną regulacją mocy.

Wariant drugi modernizacji zakłada wymianę opraw wraz z zastosowaniem autonomicznej redukcji mocy w oprawach. Uzyskana oszczędność rzędu 53,6% wynika z obniżenia mocy zainstalowanych opraw oraz czasowego dodatkowego obniżenia mocy opraw LED o 30% w godzinach 23:00 – 5:00. Redukcja autonomiczna w okresie nocnym spowoduje obniżenie wartości strumienia świetlnego o 30%, a tym samym parametry oświetleniowe o 1 klasę oświetleniową. Zmiana jest możliwa ze względu na obniżone natężenie ruchu w tych godzinach i jest zgodna z zaleceniami normy PN-EN 13201.

Zastosowana redukcja będzie programowana przed montażem oprawy i nie zakłada konieczności późniejszej zmiany nastaw w czasie eksploatacji.

6.4. Wariant III - Wymiana oświetlenia na oprawy LED z systemem zarządzania.

Wariant trzeci zakłada oprócz wymiany opraw na typu LED z możliwością redukcji mocy również zastosowanie systemu zarządzania poszczególnymi oprawami – daje to oszczędność rzędu 54,8 %. System komunikuje się z oprawami wykorzystując transmisję GPRS lub medium radiowe. W zależności od konfiguracji systemu, w przypadku montażu modułów sterowniczych grupujących oprawy w szafkach oświetleniowych, należy przewidzieć konieczność wymiany lub dostosowania szafek oświetleniowych.

System zarządzania oprócz dostępu bieżącego stanu opraw, pozwala na ustalanie indywidualnych harmonogramów załączeń i redukcji opraw, obejmujących np. ulice, części parków lub całych miejscowości. Pozwala to stosowanie głębszych redukcji mocy opraw na obszarze miejscowości, dostosowując poziom oświetlenia do natężenia ruchu, np. w soboty lub niedziele. Szacowana redukcja mocy dla całości systemu oświetleniowego wyniesie 30% w okresie 23:00-5:00 w dni powszednie oraz 40% w soboty i w niedzielę w godzinach od 22:00 – 5:00.

7. Analiza energetyczna i finansowa.

7.1. Metodologia opracowania.

W opracowaniu zgodnie z wytycznymi założono wymianę 1638 szt. opraw.

W zakresie prac jest również wymiana przewodów zasilających oprawę, zabezpieczenia wraz z zaciskami na liniach napowietrznych dla opraw oświetleniowych. Opracowanie nie obejmuje wymiany słupów lub linii napowietrznych oraz kablowych oświetleniowych. W razie konieczności dostosowania stanowiska słupowego do obliczonej sytuacji oświetleniowej, należy przewidzieć zastosowanie

odpowiedniej oprawy z uchwytem, który umożliwia zastosowanie odpowiedniego kąta dla oprawy lub wymianę wyścięgnika.

Dla potrzeb analiz w audycie modernizacji punktów świetlnych przyjęto metodologię opartą o:

- Inwentaryzację oświetlenia zgodnie z załącznikiem nr 1,
- Wykonane obliczenia fotometryczne zgodnie z załącznikiem nr 3,
- Informacje przekazane przez Zamawiającego,
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowego zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności energetycznej, wzoru karty audytu efektywności energetycznej oraz metod obliczania oszczędności energii Dz. U. 2012 poz. 962,
- Doświadczenie i wiedzę audytora.

7.2. Zużycie energii elektrycznej.

Dla wyliczeń zużycia energii i oszczędności przyjęto następujące założenia:

- roczny czas świecenia oświetlenia 4150 h zgodnie z rozporządzeniem,
- grupa taryfowa dla dystrybucji energii elektrycznej C12b, stąd przyjęta ilość godzin świecenia w strefie I wynosi 1383 h, w strefie II wynosi 2767 h,
- ilość energii po modernizacji uwzględniając redukcję zgodnie z wariantami opisanymi w rozdziale 6.

Szacowane zużycie energii elektrycznej dla obecnego oświetlenia określono wzorem:

$$E_p = M_p \times T_o$$

Gdzie:

E_p – Roczny wolumen energii elektrycznej dla oświetlenia obecnego [kWh],

M_p – moc zainstalowana opraw przed modernizacją [kW],

T_o – przyjęty czas świecenia opraw w roku w ilości 4150 [h].

Szacowane zużycie energii elektrycznej dla wariantu I określono wzorem:

$$E_I = M_L \times T_o$$

Gdzie:

E_I – Roczny wolumen energii elektrycznej dla oświetlenia wariantu I [kWh],

M_L – moc zainstalowana opraw po modernizacji [kW],

T_o – przyjęty czas świecenia opraw w roku w ilości 4150 [h].

Szacowane zużycie energii elektrycznej dla wariantu II wynosi:

$$E_{II} = M_L \times 2325 [h] + M_{70} \times 1825 [h]$$

Gdzie:

E_{II} – Roczny wolumen energii elektrycznej dla oświetlenia wariantu II [kWh],

M_L – moc zainstalowana opraw po modernizacji [kW],

M_{70} – wartość moc zainstalowanej opraw dla redukcji 30% [kW],

Szacowane zużycie energii elektrycznej dla wariantu III wynosi:

$$E_{III} = M_L \times 2220 [h] + M_{70} \times 1300 [h] + M_{60} \times 630 [h]$$

Gdzie:

E_{II} – Roczny wolumen energii elektrycznej dla oświetlenia wariantu II [kWh],

M_L – moc zainstalowana opraw po modernizacji [kW],

M_{70} – wartość moc zainstalowanej opraw dla redukcji o 30% [kW],

M_{60} – wartość moc zainstalowanej opraw dla redukcji o 40% [kW],

Uzyskana średnioroczna oszczędność energii elektrycznej dla wariantów przedstawia tabela poniżej:

Wariant	Wolumen energii [kWh/rok]			Wartość procentowa oszczędności
	Zużycie obecne	Zużycie wariantu	Średnioroczna oszczędność	
Wariant I	728 906	389 851	339 055	46,5%
Wariant II	728 906	338 419	390 487	53,6%
Wariant III	728 906	329 541	399 365	54,8%

Zestawienie mocy opraw i przewidywanego zużycia energii elektrycznej dla wariantów w strefach C12b przedstawia tabela poniżej.

Oświetlenie	Moc zainstalowana [kW]	Zużycie energii [kWh] w roku		
		Strefa I	Strefa II	Razem
Obecne	175,64	242 910	485 996	728 906
Wariant I	93,94	129 919	259 932	389 851
Wariant II	93,94	129 919	208 500	338 419
Wariant III	93,94	129 919	199 622	329 541

7.3. Koszt energii elektrycznej

Dla określenia opłacalności modernizacji wyliczono koszt energii elektrycznej dla poszczególnych wariantów przy założeniach:

- koszt zakupu energii elektrycznej w części obrotowej przyjęto 230 zł/MWh netto jako średnią cenę spodziewaną na rynku,
- koszt składników zmiennych w części dystrybucji zgodnie z Taryfą ENERGA Operator S.A. dla grupy C12b netto dla strefy I wynosi 0,2842 zł/kWh, dla strefy II

wynosi 0,077 zł/kWh.

Szacowany roczny koszt energii elektrycznej dla części zależnej od ilości energii elektrycznej ponoszony na oprawy wyznaczone do modernizacji przedstawia tabela poniżej:

Oświetlenie	Wolumen roczny zużytej energii [kWh]	Koszt roczny energii brutto
Oprawy przed modernizacją	728 906	337 149 zł
Wariant I	389 851	180 322 zł
Wariant II	338 419	160 901 zł
Wariant III	329 541	157 549 zł

Uzyskana roczna redukcja kosztów na energii elektrycznej dla poszczególnych wariantów określa tabela poniżej:

Oświetlenie	Roczna redukcja kosztów energii elektrycznej
Wariant I	156 827 zł
Wariant II	176 248 zł
Wariant III	179 600 zł

Z powyższego zestawienia wynika, że wariant III uzyskuje najwyższą roczną redukcję kosztów energii elektrycznej.

7.4. Koszt modernizacji.

Koszt modernizacji poszczególnych wariantów, został określony na podstawie kosztorysu inwestorskiego, zawierającego ceny materiałów elektrycznych, stawek robocizny kosztorysowej cenach pracy sprzętu budowlanego zgodnie z publikacją Sekocenbud oraz badania rynku cen opraw.

Zestawienie kosztów modernizacji przedstawia tabela poniżej:

Oświetlenie	Koszt modernizacji brutto
Wariant I	2 975 020,48 zł
Wariant II	2 995 167,88 zł
Wariant III	4 304 748,88 zł

Najdroższy w realizacji jest wariant III wykorzystujący system zarządzania.

7.5. Zwrot z inwestycji

Dla oceny opłacalności inwestycji wykorzystano wskaźnik zwrotu z inwestycji *ROI* obliczony dla każdego wariantu określony wzorem:

$$ROI = \frac{\text{zysk netto}}{\text{zainwestowane środki pieniężne}}$$

Jako zysk netto do analizy przyjęto wartość redukcji kosztów energii elektrycznej w okresie rocznym. Ze względu na duże wahania cen energii elektrycznej, koszty te określono jako niezmiennie w czasie. Takie założenie nie powoduje błędów ze względu na charakter porównawczy wskaźnika dla powyższych wariantów. Wartość zainwestowanych środków stanowi koszt modernizacji poszczególnych wariantów.

Zestawienie wskaźników ROI dla wariantów przedstawia tabela poniżej:

Oświetlenie	Roczna redukcja kosztów energii elektrycznej	Koszt modernizacji brutto [zł]	ROI
Wariant I	156 827 zł	2 975 020,48 zł	0,053
Wariant II	176 248 zł	2 995 167,88 zł	0,059
Wariant III	179 600 zł	4 304 748,88 zł	0,042

Przewidywany okres zwrotu z inwestycji liczony jako iloraz kosztu modernizacji i rocznej redukcji kosztów energii elektrycznej dla wariantów wynosi:

Oświetlenie	Spłata inwestycji w latach
Wariant I	19,0
Wariant II	17,0
Wariant III	24,0

Ze względu na niskie koszty modernizacji i wysokie uzyskiwane oszczędności roczne najwyższy wskaźnik zwrotu z inwestycji ma wariant II.

7.6. Redukcja emisji CO₂

Dla obliczenia wielkości ograniczenia emisji CO₂ wykorzystano metodykę opracowaną przez NFOŚiGW dla przedsięwzięć z zakresu *Energooszczędne oświetlenie uliczne*. Dla energii elektrycznej, metodyka zakłada, że zastępowana energia elektryczna, pochodzi z polskiej sieci elektroenergetycznej. Dla tej sieci, wskaźnik emisji jest obliczany i podawany do stosowania w danym roku przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami KOBIZE.

Dla potrzeb audytu przyjęto wskaźnik podany przez NFOŚiGW wynoszący 0,8158 Mg CO₂/MWh.

Dla oszacowania wielkości redukcji emisji CO₂, przemnożono powyższy wskaźnik z roczną wartością szacowanej energii elektrycznej dla poszczególnych wariantów. Wyniki przedstawiono w tabeli:

Oświetlenie	Wskaźnik [Mg CO ₂ /MWh]	Średnioroczna oszczędność [MWh]	Wielkość redukcji CO ₂ [Mg]
Wariant I	0,8158	339,055	276,600
Wariant II	0,8158	390,487	318,560
Wariant III	0,8158	399,365	325,800

Wielkość redukcji CO₂ jest zależna od wolumenu oszczędności stąd najwyższą wartość uzyskuje wariant III.

7.7. Rekomendacja wariantu realizacji modernizacji.

W tabeli poniżej zestawiono główne wskaźniki i wielkości opisujące warianty:

Wielkość	Wariant I	Wariant II	Wariant III
Średnioroczna oszczędność energii elektrycznej [kWh]	339 055	390 487	399 365
Wartość procentowa oszczędności	46,5%	53,6%	54,8%
Roczna redukcja kosztów energii	156 827,00 zł	176 248,00 zł	179 600,00 zł
Koszt modernizacji	2 975 020,48 zł	2 995 167,88 zł	4 304 748,88 zł
ROI w okresie rocznym	0,053	0,059	0,042
Okres zwrotu z inwestycji w latach	19,0	17,0	24,0
Wielkość redukcji emisji CO ₂ [Mg]	276,6	318,56	325,8

Z powyższego zestawienia wynika, że największe oszczędności uzyskuje wariant III polegający na modernizacji opraw na typu LED wraz z zastosowaniem systemu zarządzania. Wariant ten jest jednak najdroższym i stąd ma najwyższy okres zwrotu z inwestycji. System zarządzania wymaga dodatkowo wykwalifikowanego personelu i wiedzy technicznej.

Wariant I polegający tylko na modernizacji opraw jest najtańszym rozwiązaniem lecz uzyskuje najmniejszą średnioroczną oszczędność energii elektrycznej.

Rekomendujemy zastosowanie wariantu II czyli modernizacji opraw z zastosowaniem autonomicznej redukcji mocy w oprawach o określonych godzinach. Koszt modernizacji jest nieznacznie wyższy niż wariant I, a zastosowanie dodatkowej redukcji mocy programowanej przed montażem oprawy, powoduje znaczne dodatkowe oszczędności w zużyciu energii elektrycznej, a tym samym wielkości redukcji emisji CO₂. Zasadność zastosowania wariantu II jako najbardziej optymalny potwierdza najkrótszy okres zwrotu z inwestycji.

8. Wnioski

Zaproponowane w audycie oprawy, wykorzystujące innowacyjną technikę oświetleniową LED, przewyższają technologicznie obecne przestarzałe oświetlenie bazujące na wysokoprężnych źródłach światła, dzięki następującym właściwościom:

- możliwej, liniowej zmianie strumienia emitowanego światła z opraw LED i indywidualny jego dobór do potrzeb oświetlenia drogi, dając tym samym maksymalne możliwe oszczędności przy spełnionych parametrach oświetleniowych,
- emisji światła z poszczególnych diod oprawy LED, tworzącą płaszczyznę świetlną, skierowaną na drogę za pomocą indywidualnych soczewek, przez co ograniczone jest ośnienie, zwiększona jest równomierność oświetlenia i uzyskiwane są wyższe parametry oświetleniowe dla klas dróg w porównaniu do opraw sodowych o takich samych mocach.
- postępowi w technice świetlnej opraw LED powodująca zwiększoną skuteczność świetlną obecnie osiągającą 140 lm/W oraz zwiększoną trwałość nawet powyżej 100.000 h potwierdzoną uzyskiwanymi gwarancjami producenta

opraw do 10 lat.

W związku z powyższym, rekomendujemy wymianę obecnych opraw oświetleniowych na oprawy typu LED z autonomiczną redukcją mocy, jako najwłaściwsze rozwiązanie pozwalające osiągnąć cele oświetleniowe zgodne z normą PN-EN 13201 oraz oszczędności na zużyciu energii elektrycznej powodując znaczące ograniczenie kosztów eksploatacji oraz obciążenia środowiska emisją CO₂.

Załączniki :

Załącznik 1 – Inwentaryzacja oświetlenia

Załącznik 2 – Klasy oświetleniowe i moc zaprojektowanych opraw

Załącznik 3 – Obliczenia fotometryczne sytuacji drogowych