

AUDYT EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ MODERNIZACJI OŚWIETLENIA W SZKOLE PODSTAWOWEJ IM. MARII KONOPNICKIEJ W NURZE



Na zlecenie:
Gminy Nur
ul. Drohiczyńska 2
07-322 Nur

Wykonał:
UNI-ESCO
Jarosław Rejlich
ul. 3 Maja 5m111
05-870 Błonie

Nur kwiecień 2023

SPIS TREŚCI:

1. WPROWADZENIE

- 1.1. Cel niniejszego opracowania
- 1.2. Regulacje prawne dotyczące oświetlenia

2. ANALIZA STANU OŚWIETLENIA W ZAKRESIE PRZEWIDZIANYM DO MODERNIZACJI

- 2.1 Sposób wykonania inwentaryzacji
- 2.2 Ocena aktualnego stanu oświetlenia
- 2.3 Wnioski z inwentaryzacji oświetlenia

3. ANALIZA TECHNOLOGICZNO - SPECYFICZNA POD KĄTEM DOSTĘPNYCH ROZWIĄZAŃ W ZAKRESIE EFEKTYWNEGO WYKORZYSTANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ

- 3.1 Sprzęt oświetleniowy - źródła światła
- 3.2 Sprzęt oświetleniowy - oprawy
- 3.5 Kompensacja mocy biernej i soft start
- 3.5.1 Urządzenia kompensacji mocy biernej i soft start

4. WARIANT PRZEWIDZIANY DO MODERNIZACJI

- 4.1 Opis wariantu
- 4.2 Stopień poprawy efektywności energetycznej i ekonomicznej
- 4.3 Stopień redukcji szkodliwych substancji odprowadzanych do atmosfery
- 4.4 Koszt wykonania
- 4.5 SPBT prosty okres zwrotu kosztów inwestycji
- 4.6 Podsumowanie wyników dla analizowanego wariantu modernizacji

5. UTRZYMANIE I ZARZĄDZANIE POWSTAŁĄ INFRASTRUKTURĄ

1. Wprowadzenie

1.1 Cel niniejszego opracowania

Podstawowym celem wykonania opracowania jest zbadanie stanu istniejącego oświetlenia na terenie Szkoły Podstawowej im. Marii Konopnickiej w Nurze w zakresie wskazanym do modernizacji i wskazanie możliwego wariantu prowadzącego do osiągnięcia poniższych celów:

- poprawy oświetlenia do stanu zapewniającego spełnienie wymagań określonych w Normie Polskiej przenoszącej normę europejską PN-EN 12464,
- optymalizacja kosztów ponoszonych przez Gminę na energię elektryczną i zmniejszenie tych wydatków dzięki zastosowaniu nowoczesnych, energooszczędnych rozwiązań w zakresie urządzeń oświetleniowych.
- redukcja emisji CO₂ oraz innych szkodliwych substancji odprowadzanych do atmosfery, związana z ograniczeniem zapotrzebowania systemu oświetleniowego w zakresie przewidzianym do modernizacji na energię elektryczną.

Osiągnięcie tych celów jest możliwe dzięki połączeniu zastosowania najnowocześniejszych rozwiązań w dziedzinie oświetlenia z prawidłowym procesem projektowania oświetlenia, opartym na komputerowych obliczeniach.

1.2 Regulacje prawne dotyczące oświetlenia ogólnego

W zakresie zagadnień specyficznych dla oświetlenia za podstawę opracowania niniejszej Analizy służyły następujące akty prawne, rozporządzenia oraz Polskie Normy:

Ustawy:

- Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. - Prawo budowlane (tekst jednolity Dz. U. 2020, poz. 1333).
- Ustawa z dnia 24 października 2019r.- Prawo zamówień publicznych (tekst jednolity Dz. U. z 2019, poz. 2019).

Rozporządzenia:

- Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 13 października 2017 r. w sprawie szczegółowego zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności energetycznej oraz metod obliczania oszczędności Energii (Dz. U. z 2017 r. poz. 1912).
- Rozporządzenie WE nr 245/2009 w zakresie wartości wskaźnika udziału światła wysyłanego ku górze (ULOR).
- Rozporządzenie WE 1194/2012 w zakresie bezpiecznego dla użytkowników emitowanego widma światła i wskaźnika PF (Power Factor).

Normy:

- Oświetleniowe - PN-EN 12464.
- Bezpieczeństwa - PN-EN 60598-2-3: 2006, (EN 60598-2-3: 2003) oraz PN-EN 60598-1: 2005 (EN60598-1:2004).

2. Analiza stanu oświetlenia w szkole podstawowej w zakresie przewidzianym do modernizacji

2.1 Sposób wykonania inwentaryzacji

Stan aktualny systemu oświetleniowego został określony na podstawie inwentaryzacji z natury. W powyższy sposób dokonano inwentaryzacji elementów oświetlenia dla wszystkich budynków wchodzących w skład szkoły oraz dla hali sportowej. Zlokalizowano 773 oprawy oświetleniowe różnych typów (załącznik: Inwentaryzacja oświetlenia budynków szkoły). Dokonano także określenia geometrii zawieszenia opraw, w tym konstrukcji wsporczych, geometrii pomieszczeń. Przeprowadzono także diagnozę stanu poszczególnych elementów systemu. Zgromadzone dane przedstawiono w tabeli inwentaryzacyjnej, dokonano także pomiarów w celu określenia przedmiaru robót. Kolejnym etapem było ustalenie: na podstawie przeznaczenia pomieszczeń i rodzaju wykonywanej w nich pracy - kategorii oświetleniowych dla poszczególnych charakterystycznych pomieszczeń. Wyznaczono kategorie oświetleniowe zgodnie z PN-EN 12464. Spełnienie wymogów normy dla poszczególnych pomieszczeń wskazano w tabeli i kartach projektowych. Pozyskane dane ekonomiczne dotyczące wydatków szkoły w roku 2022 na cele eksploatacji oświetlenia (energia elektryczna) oraz planowane na rok 2023, a także bilanse mocy systemu przed i po remoncie w zakresie przewidzianym do modernizacji, pozwoliły na wykonanie analizy ekonomicznej potwierdzającej korzyści finansowe z przeprowadzenia inwestycji.

2.2 Ocena aktualnego stanu oświetlenia

Inwentaryzacja oświetlenia znajdującego się na terenie budynków szkoły wskazanym do modernizacji wykazała, iż obecnie istniejący system oświetlenia jest w przeważającej części w stanie wyeksploatowanym, opierającym się na oprawach świetlówkowych starszej generacji wyposażonych w stateczniki elektromagnetyczne z tyrystorowym układem zapłonu oraz w źródła światła świetlówkowe w wersji standard, średni wiek ok. 93% opraw kształtuje się na poziomie ok. 17-25 lat, pozostałe ok. 10% systemu to oprawy sodowe nowszej generacji w wieku od ok. ok. 10 lat. Gmina wykonuje drobne inwestycje w miarę posiadanych środków modernizując istniejące oświetlenie. Średnia statyczna energochłonność istniejących punktów świetlnych na terenie budynków szkoły kształtuje się na poziomie **74,82 W/pkt.św.**, wynik uzyskano przez podzielenie ilości punktów świetlnych przez moc systemu przed modernizacją, z uwzględnieniem strat energii na urządzeniach zapłonowych w oprawie, uzyskany wynik jest na poziomie średnim, z doświadczenia UNI-ESCO w przeprowadzonych Audytach obiektów szkolnych średnia statyczna moc punktu świetlnego w systemach opierającym się na źródłach świetlówkowych waha się na poziomie **65-100 W/pkt.św.**

Informacje związane z systemem oświetleniowym uzyskane podczas inwentaryzacji posłużyły do wykonania projektu fotometrycznego modernizacji oświetlenia w oparciu o najnowsze rozwiązania w bardzo dynamicznie rozwijającej się technologii LED. Dane projektowe posłużyły do określenia kosztu modernizacji oraz do analizy wielkości oszczędności, jakie ona przyniesie i pozwoliły na teoretyczne wyliczenie obniżenia średniej energochłonności punktu świetlnego po modernizacji **do 28,31 W/pkt. św.** W Wariantcie wybranym do realizacji zakładającym montaż opraw LED zgodnie z projektem spełniającym wymogi normy PN-EN 12464.

2.3 Wnioski z inwentaryzacji oświetlenia

Przeprowadzona analiza pozwala na określenie rekomendacji dla zarządzającego oświetleniem. W szczególności:

- **Rekomendacja 1.** Istnieje potrzeba opracowania, kompletnej spójnej i jednolitej, projektowej koncepcji oświetlenia wszystkich pomieszczeń w budynkach szkoły, na podstawie wymagań oświetleniowych, analizy funkcji danego pomieszczenia zgodnej z normą oświetleniową PN-EN 12464. Formalnie stosowanie norm jest dobrowolne, co do zasady. Niemniej dla zamówień publicznych, zgodnie z orzeczeniami Zespołów Arbitrów (ZA) przy prezesie UZP a aktualnie Krajowej Izby Odwoławczej (KIO), Prawo zamówień publicznych art. 30, nie pozwala, aby projekt i wykonanie były w sprzeczności z normą. Spełnienie normy oznacza również, że projekt i wykonanie są bezpieczne dla użytkowników. Analogicznie pożądanym jest, aby wszystkie nowo projektowane, modernizowane i realizowane urządzenia oświetlenia uwzględniały wymagania normy europejskiej PN-EN 12464, gdyż norma ta uwzględnia najnowszy poziom wiedzy i współczesnej techniki oświetleniowej a jej stosowanie narzuca art. 101 Ustawy Pzp.
- **Rekomendacja 2.** Dopuszczać do stosowania w oprawy z kloszem.
- **Rekomendacja 3.** W przypadku wymian, modernizacji, przebudów i dobudów stosować się do ogólnej koncepcji oświetlenia, opracowanej dla całej szkoły.
- **Rekomendacja 4.** W trakcie czynności konserwacyjnych dokonywać czyszczenia kloszy lub w przypadku zniszczenia lub znacznego żółknięcia - wymiany.

3. Analiza technologiczno - specyficzna pod kątem dostępnych rozwiązań w zakresie efektywnego wykorzystania energii elektrycznej

Wynikiem dokonanej analizy jest poszukiwanie, takich rozwiązań technicznych i technologicznych, które zabezpieczyłyby długoterminowy interes inwestora publicznego tak, aby przy umiarkowanych kosztach inwestycyjnych, uzyskać korzyść w postaci wysokiej energooszczędności urządzeń oraz niskich kosztów konserwacji, przy długotrwałym użytkowaniu

3.1 Sprzęt oświetleniowy - źródła światła

Proponowana w Audycie technologia LED jest szeroko stosowana w oświetleniu ogólnym czy architektonicznym. Na rynku pojawia się coraz więcej produktów będących alternatywą dla klasycznego oświetlenia opartego do tej pory na źródłach fotoluminescencyjnych zawierających pary rtęci. Źródła LED mają wiele zalet. Podstawowe to:

- długa żywotność – ok. 100 000 godzin - (dla utraty strumienia światła 20%),
- nie generują promieniowania ultrafioletowego (UV) i podczerwonego (IR),
- posiadają największą ze stosowanych źródeł światła o pełnym spektrum barwowym skuteczność świetlną dochodzącą do 170 lm/W,
- biała barwa światła,
- dobra jakość światła i oddawanie 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,
- Spełnienie wymogów Rozporządzenia WE 1194/2012 w zakresie bezpiecznego dla użytkowników emitowanego widma światła.

Jednak dobierając oprawy LED należy zwrócić szczególną uwagę na fakt, że nie wszyscy producenci opraw publikują dane fotometryczne opraw LED. Uniemożliwia to wykonanie obliczeń parametrów świetlnych i dostosowanie oświetlenia do normy PN-EN 12464. Analizując dane katalogowe wyraźnie widać, iż obecnie proponowane rozwiązania opraw w technologii LED w oświetleniu ogólnym są zdecydowanie bardziej ekonomiczne niż klasyczna technologia oparta na źródłach fotoluminescencyjnych. Porównując sprawność źródła i oprawy ze źródłem świetłówkowym (dla mocy 70W) oraz oprawy ze źródłem LED (70W), uzyskujemy:

Źródło LED 70 W: skuteczność świetlna do 170 lm/W,

Źródło fotoluminescencyjne 70W: skuteczność świetlna do 70 lm/W

Oprawa ze źródłem LED: skuteczność świetlna do 150 lm/W

Oprawa ze źródłem sodowym: skuteczność świetlna do 65 lm/W

Ceny opraw LED są coraz niższe, za oprawę LED dobrej jakości o mocy ok. 70W trzeba zapłacić około 350 PLN, czyli ok. dwukrotnie więcej niż za oprawę świetłówkową, jednak biorąc pod uwagę, że przyjęta do obliczeń fotometrycznych Oprawa LED będzie pobierać 77 W (świetłówkowa 83W) i wytworzy strumień świetlny ok. 10 500 lm (świetłówkowa ok. 4200 lm), już na starcie daje przewagę oprawie LED o ok. 60%. Istotną sprawą jest trwałość źródeł światła, która w przypadku lamp fotoluminescencyjnych kształtuje się na poziomie max. 8 000 godzin, a trwałość źródeł LED dochodzi do 100 000 godzin, co powoduje znaczny spadek kosztów konserwacji i serwisu systemu oświetlenia. Wyższa efektywność opraw sprawia, że spełnienie wymogów normy PN-EN 12464 jest możliwe dla opraw znacznie niższej mocy niż oprawy świetłówkowe, dla przykładu na terenie budynków szkolnych w miejsce opraw o mocy 2X36W (pobór ok. 80W), zaprojektowano spełniając wszystkie wymogi normatywne oprawę o mocy 34 W, co w prostym przeliczeniu daje spadek mocy zainstalowanej o ok. 60%. Oszczędności ekonomiczne wyrównują różnicę w cenie opraw, a trwałość opraw LED zmniejsza koszty utrzymania systemu.

Technologia LED jest ciągle udoskonalana i wciąż trwają prace nad wyprodukowaniem źródła LED o wyższej skuteczności. Pojawiają się na rynku coraz nowsze konstrukcje uznanych producentów sprzętu oświetleniowego (ES-System, Philips, Osram, Thorn, Schreder), które są doskonałą alternatywą dla klasycznego oświetlenia. Oprawy te są w pełni policzalne (producenci udostępniają dane fotometryczne opraw) ich jedynym mankamentem może być tylko wyższa cena niż opraw świetłówkowych.

Można stwierdzić, że dziś oświetlenie LED jest realną i chętnie stosowaną alternatywą dla klasycznego oświetlenia, w szczególności dla opraw o mocach mieszczących się w przedziale od 2X36W czy 4X18W, które najczęściej stosowane są w oświetleniu wnętrzowym.

3.2 Sprzęt oświetleniowy - oprawy

Oprócz źródeł światła, o jakości oświetlenia decyduje także w dużym stopniu, jakość zastosowanej oprawy oświetleniowej. Powinna się ona charakteryzować wysokimi

parametrami technicznymi, gwarantującymi wysoką szczelność układu optycznego i elektrycznego oraz ograniczać powstawanie olśnienia. Poniżej zestawiono wymagane parametry techniczno-użytkowe, jakim winny się charakteryzować oprawy LED stosowane w załączonych obliczeniach fotometrycznych:

Oprawa LED z niskim UGR o mocach :

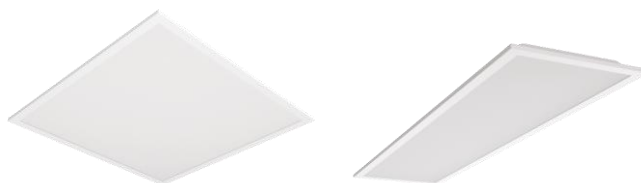
TYP 3 - max moc oprawy 23W i strumieniu świetlnym wychodzącym z oprawy (już po wszystkich stratach) nie mniejszym niż 3000lm

TYP 1 i TYP 4 – max moc oprawy 34W i strumieniu świetlnym wychodzącym z oprawy (już po wszystkich stratach) nie mniejszym niż 4200lm

specyfikacja:

- obudowa wykonana z blachy stalowej malowanej proszkowo
 - montaż dostropowy, natynkowy, zwieszany
 - klosz MPRM
 - temp. barwowa 4000K +/-3%
 - Ra> 80
 - kolor biały
 - UGR<19
 - IP20
 - IK03
 - Zakres temperatury pracy 0°C ... +35°C
 - żywotność oprawy min. (L70B50) 50 000 h
 - wymiary :
- TYP 1: 600x600x35 (+/-10%)
TYP 3 i TYP 4: 1200x300x35 (+/-10%)

Przykładowe zdjęcie oprawy :



Oprawa o podwyższonym stopniu szczelności LED o mocach :

TYP 2 - max moc oprawy 26W i strumieniu świetlnym wychodzącym z oprawy (już po wszystkich stratach) nie mniejszym niż 3250lm

TYP 5 - max moc oprawy 34W i strumieniu świetlnym wychodzącym z oprawy (już po wszystkich stratach) nie mniejszym niż 4500lm

TYP 6 – max moc oprawy 19W i strumieniu świetlnym wychodzącym z oprawy (już po wszystkich stratach) nie mniejszym niż 2450lm

specyfikacja:

- obudowa wykonana z blachy stalowej malowanej proszkowo
- montaż natynkowy
- klosz PMMA
- temp. barwowa 4000K +/-3%
- Ra> 80
- kolor biały
- UGR<24
- IP44
- IK05
- sprawność zasilacza >92%
- Zakres temperatury pracy 0°C ... +30°C
- żywotność oprawy min. (L80B10) 60 000 h
- wymiary :

TYP 5: 1230x95x72 (+-10%)

TYP 2 i TYP 6: 600x90x35 (+-10%)

Przykładowe zdjęcie oprawy :



Oprawa hermetyczna LED o mocach :

TYP 7 - max moc oprawy 32W i strumieniu świetlnym wychodzącym z oprawy (już po wszystkich stratach) nie mniejszym niż 5100lm

TYP 9 - max moc oprawy 48W i strumieniu świetlnym wychodzącym z oprawy (już po wszystkich stratach) nie mniejszym niż 7450lm

TYP 10 – max moc oprawy 40W i strumieniu świetlnym wychodzącym z oprawy (już po wszystkich stratach) nie mniejszym niż 6250lm

specyfikacja:

- obudowa wykonana z poliwęglanu
- montaż natynkowy, zwieszany,
- klosz opalowy PC
- temp. barwowa 4000K +/-3%
- Ra > 80
- kolor jasnoszary
- IP65
- IK08
- cert ENEC
- cert HACCP
- cert PZH
- Grupa ryzyka fotobiologicznego RG0
- Zakres temperatury pracy -20°C ... +35°C
- żywotność oprawy min. (L80B10) 100 000 h
- wymiary : 1240x100x90 (+-10%)

Przykładowe zdjęcie oprawy :



Oprawa hermetyczna LED o mocy max 22W i strumieniu świetlnym wychodzącym z oprawy (już po wszystkich stratach) nie mniejszym niż 2300lm

specyfikacja:

- obudowa wykonana z poliwęglanu
- montaż natynkowy
- klosz opalowy PC
- temp. barwowa 4000K +/-3%
- Ra > 80
- kolor biały
- sprawność zasilacza >90%

- IP65
- IK10
- cert PZH
- Zakres temperatury pracy -20°C ... +30°C
- żywotność oprawy min. (L80B10) 50 000 h
- wymiary : 350x130 (+-10%)

Przykładowe zdjęcie oprawy :



Oprawa hermetyczna LED do zastosowań w salach sportowych o max mocy 128W i strumieniu świetlnym wychodzącym z oprawy (już po wszystkich stratach) nie mniejszym niż 19550lm

specyfikacja:

- obudowa wykonana z aluminium wtryskiwane wysokociśnieniowo
- montaż natynkowy, zwieszany
- klosz: szyba hartowana
- temp. barwowa 4000K +/-3%
- Ra > 80
- kolor jasnoszary
- IP66
- IK07
- cert ENEC
- cert odporności na uderzenia piłką
- Zakres temperatury pracy -25°C ... +45°C
- żywotność oprawy min. (L80B10) 100 000 h
- wymiary : 515x345x90 (+-10%)

Przykładowe zdjęcie oprawy :



3.5 Kompensacja mocy biernej i soft start

Dotychczas powszechnie stosowane oprawy ze źródłami światła fotoluminescencyjnymi wyposażone były w stateczniki indukcyjne dla stabilizacji punktu pracy lampy. Samo źródło światła było odbiornikiem energii czynnej natomiast funkcjonowanie szeregowego elementu indukcyjnego, na którym odkładało się napięcie około połowy wartości napięcia zasilającego (zależnie od typu źródła) powodowało, że cała oprawa oświetleniowa miała charakter odbiornika indukcyjnego. Dla zmniejszenia strat przesyłu energii elektrycznej stosowany był kondensator włączony do układu oprawy równoległe do zasilania i powodował on poprawę współczynnika mocy do ok. 0,83 (wartość $\cos\phi$). Stateczniki indukcyjne (magnetyczne) w osprzęcie opraw oświetleniowych zgodnie z dyrektywami Komisji Europejskiej nie będą już stosowane. Tania technologia i rozwój podzespołów elektronicznych skutkowałam pojawieniem się elementów elektronicznych czynnych (tyrystory, triaki, tranzystory wysokonapięciowe) o parametrach pozwalających na pracę w układach zasilanych bezpośrednio z sieci energetycznych. Układy elektroniczne stabilizacyjno zapłonowe do lamp wyładowczych zaczęto stosować masowo w początkowo układach zasilania świetlówek liniowych głównego szeregu a już na skalę masową z chwilą pojawienia się świetlówek kompaktowej. Już w instalacjach o dużym nasyceniu źródeł światła zasilanych za pomocą przetwornic impulsowych takich jak świetlówkowe zamienniki żarówek pojawiły się problemy ze wzrostem natężenia prądu podczas rozruchu jak i poboru mocy biernej.

Obecnie mamy do czynienia z kolejną rewolucją jaką jest wdrożenie do powszechnego stosowania źródeł światła LED eliminujących wiele negatywnych właściwości wcześniej stosowanych źródeł. Zarówno układy pojedynczych diod jak i zespołów w postaci paneli dla celów optymalnego oświetlenia wyposażonych najczęściej w optykę opartą na soczewkach zasilane są układami elektronicznymi zawierającymi przetwornice impulsowe i zasilacze prądowe.

Oprawy oświetleniowe LED wykazują wysokie wartości współczynników mocy w granicach 0,93 do 0,97. W zależności od rozwiązań układowych zasilaczy można spodziewać się niekorzystnych dużych prądów impulsowych w trakcie rozruchu (dochozących do 250A w czasie pojedynczej ms). Niektórzy producenci podają charakterystyki zasilaczy i ew. wielkości zabezpieczeń dla ilości opraw w określonym typie i mocy. Taki stan nie pozwala na zmniejszenie mocy umownych do poziomów zbliżonych do mocy zainstalowanych opraw.

Najczęściej użytkownik nie jest zaznajomiony z faktem czy zasilacz posiada ograniczenie tego niekorzystnego zjawiska i dobór zabezpieczeń musi być wykonany po przeprowadzeniu prób i pomiarów gotowej instalacji. Dostępność łatwej regulacji mocy oprawy a tym samym strumienia światła skłania do uzyskania dodatkowych oszczędności eksploatacyjnych. Zmniejszenie znacznej mocy pobieranej przez zespół diod LED powoduje istotną zmianę punktu pracy zasilacza i jego współczynnika mocy. Zostaje zmieniona relacja pomiędzy wartością mocy biernej pojemnościowej, a mocą czynną skutkującą przybieraniem wartości wskaźnika $\text{tg}\phi$ powyżej 0,4 dla której naliczane są opłaty za pobór mocy biernej pojemnościowej. Tu pojawia się czynnik podstawowy związany z kosztem opłat za zakłócenia w sieci w postaci energii biernej pojemnościowej.

UWAGA - o ile opłaty za energię bierną indukcyjną stanowiły ułamek kosztu energii czynnej o tyle koszt 1kVh energii biernej pojemnościowej może być i często jest na poziomie energii czynnej.

Taka sytuacja może skutkować znacznym zmniejszeniem oszczędności ekonomicznych związanych z obniżeniem mocy systemu, a w przypadku zainstalowania opraw z zasilaczem niskiej jakości wręcz ich zniwelowanie.

Należy zaznaczyć, że nie są możliwe do przewidzenia konkretne wartości wskaźnika $\text{tg}\phi$ i konsekwencje, ponieważ będą one zależne od wielu czynników takich jak:

- typ oprawy, producent – wynik postępowania przetargowego na obecnym etapie nieznanymi,
- sposób eksploatacji – poziomy redukcji przyjęte przez inwestora,

Rozwiązaniem optymalnym jest ustalenie trybu pracy oświetlenia również z funkcją redukcji mocy, wykonanie pomiarów i na ich podstawie ustalenia:

- odczytu charakterystyki odbioru energii elektrycznej (wielkości mocy biernej),
- obliczenia kosztów energii biernej,
- obliczenia kosztów wykonania kompensacji mocy biernej

Dla Szkoły Podstawowej im. Marii Konopnickiej w Nurze rekomenduje się sposób postępowania polegający na zbadaniu po wykonaniu modernizacji oświetlenia – parametrów : poboru mocy , wartości $\text{tg}\phi$, przeprowadzenia analizy korzyści i strat. Każdy punkt sterowania wymaga oddzielnego podejścia i monitorowania zużycia energii.

W ramach realizacji modernizacji oświetlenia Wykonawca wybrany w drodze przetargu publicznego winien wykonać następujące czynności:

1. Wykonawca modernizacji w dokumentacji powykonawczej przyporządkuje oprawy do właściwych PPE.
2. Wykonawca sporządzi bilans mocy zainstalowanej na poszczególnych PPE i obwodów tych punktów.
3. Wykonawca dokona doboru nowych wartości zabezpieczeń przedlicznikowych i obwodowych uwzględniając specyfikę rozruchu lamp.
4. Wykonawca dokona odczytu mocy czynnej i biernej (ew. wartości $\text{tg}\phi$) z urządzeń zliczających zużycie energii lub wykona pomiar urządzeniem zewnętrznym w stanie pełnego świecenia systemu.
5. Wykonawca zidentyfikuje punkty PPE wymagające instalacji kompensacji mocy biernej i zaprojektuje i zainstaluje urządzenia realizujące wymaganą kompensację.

3.5.1 Urządzenia kompensacji mocy biernej i soft start

Wymagania dotyczące kompensatora mocy biernej:

W celu odpowiedniej kompensacji mocy biernej przewiduję się dobór min. 4 stopniowej kompensacji mocy biernej dla każdej fazy niezależnie, aby zachować $\cos \phi$ na poziomie $<0,93$ i $\text{tg}\phi < 0,4$ (po stronie indukcyjnej).

Wykonawca ma obowiązek do regulowania kompensatora po zabudowaniu opraw LED i wykonaniu pomiarów powykonawczych.

- zabezpieczenie termiczne dławików dla każdej z fazy osobno,
- automatyczna 4-stopniowa kompensacja mocy biernej,
- regulacja histerezy $\cos \varphi$ lub współczynnika mocy PF,
- regulacja opóźnienia przełączenia stopnia regulacji w zakresie od 1s do 120s,
- czytelny wyświetlacz urządzenia w celu odczytu cosinusa φ i współczynnika mocy PF,
- współpraca z systemem sterowania - zdalne lub lokalne zarządzanie i monitoring sieci,
- napięcie zasilające: U_n : 200V do 275V,
- temperatura pracy: od -20°C do $+55^{\circ}\text{C}$,
- stopień ochrony: IP20.

Wymagania dotyczące urządzenia soft start

Ogranicznik prądu rozruchu „Softstart” jest urządzeniem służącym do ograniczenia prądu opraw LED w chwili włączenia systemu oświetlenia w celu nie przeciężenia zabezpieczeń prądowych w skrzynkach SO.

- napięcie zasilające: 230 V $\pm 5\%$ / -10% , 50Hz
- obciążalność prądowa: 20 A/230 V
- maksymalna ilość włączeń : 1 cykl /min
- żywotność elektryczna: 1 milion cykli
- szerokość urządzenia: 2 moduły
- wymiar sterownika (szer./wys./gł.): 35 x 120 x 100 mm
- temperatura pracy: od -30°C do $+80^{\circ}\text{C}$
- stopień ochrony: IP20
- montaż na szynie DIN

4. Wariant przewidziany do modernizacji

W wyniku przeprowadzonego audytu określono parametry pomieszczeń oraz zinwentaryzowano istniejące obecnie oświetlenie. Na podstawie Wytycznych do Projektowania projektant określił poziomy natężenia oświetlenia na płaszczyznach roboczych i dokonał doboru nowoczesnych energooszczędnych opraw (Obliczenia fotometryczne sporządzone dla technologii LED w oparciu o wymogi normy PN-EN 12464 załączono w dalszej części opracowania – Płyta CD). W przekazanej dokumentacji znajduje się zbiorcze zestawienie projektowe z wyszczególnieniem mocy opraw i ilości dla pomieszczeń w zakresie podlegającym modernizacji. Wybrane, najkorzystniejsze w uznaniu audytora i uzgodnione z Zamawiającym rozwiązania z rodziny przedstawianych w rozdziale 3, stanowią podstawę konstruowania wybranego wariantu modernizacji oraz jego dalszej analizy. Mogą stanowić również podstawę do przygotowania dokumentacji projektowej modernizacji.

1. Opis wariantu

Modernizacja systemu oświetlenia wewnętrznego budynków szkolnych w oparciu o technologię źródeł światła LED dla opraw wskazanych w tabeli Inwentaryzacyjnej w łącznej

ilości 755 szt.. Należy zachować spójność i jednorodność oświetlenia całych ciągów oświetleniowych.

4.1 Zakres prac

Opis zakresu prac przewidzianych w tym wariantcie:

- Wymiana istniejących opraw w ilości 755 szt. o mocach **zgodnie z załączonym zestawieniem (Inwentaryzacja oświetlenia budynków szkoły z zestawieniem projektowym opraw)**, oraz pozostałe materiały zgodnie załączonym kosztorysem,

4.2 Stopień poprawy efektywności energetycznej i ekonomicznej

Wykonany projekt fotometryczny oświetlenia wykazał następujące korzyści:

- Modernizacja oświetlenia z wykorzystaniem wysokiej klasy opraw energooszczędnych LED zmniejszy średnią energochłonność punktu świetlnego do **28,31 W/pkt. św.**
- całkowita moc systemu oświetleniowego spadnie o ok. **62,16%**.

ZESTAWIENIE MOCY OPRAW PRZED I PO MODERNIZACJI - WARIANT DO REALIZACJI

Status opraw	Stan przed modernizacją (istniejący)											Stan po modernizacji (projektowany)												
	2x36W / oprawa świetłówkowa	1x26W / oprawa świetłówkowa	2x18W / oprawa świetłówkowa	3x36W / oprawa świetłówkowa	4x18W / oprawa świetłówkowa	250W / oprawa metl-hal	1x36W / oprawa świetłówkowa	40W LED	2x58W / oprawa świetłówkowa	2x80W / oprawa świetłówkowa	Liczba opraw	Moc skorygowana o wskaźnik strat (wielkość wskaźnika 1,15) przed modernizacją w (kW)	Oprawa LED 34W	Oprawa LED 26W	Oprawa LED 23W	Oprawa LED 19W	Oprawa LED 40W	Oprawa LED 128W	Oprawa LED 32W	Oprawa LED 22W	Oprawa LED 48W	Liczba opraw	Moc po modernizacji z uwzględnieniem wskaźnika autonomicznej redukcji mocy w godzinach późnonocnych (wielkość wskaźnika 1,25)	Oszczędność [%]
Wymiana	546	86	19	6	12	15	57		6	8	755	57,11	94	235	274	12	6	15	34	77	8	755	21,16	62,95%
Oprawy bez wymiany								18			18	0,72					18					18	0,72	0,00%
	546	86	19	6	12	15	57	18	6	8	773	57,83	94	235	274	12	24	15	34	77	8	773	21,88	62,16%

OSZCZĘDNOŚCI ZWIĄZANE Z WYKONANIEM MODERNIZACJI OŚWIETLENIA W ANALIZOWANYM ZAKRESIE

Ilość punktów pomiarowych	20
Moc przed remontem	57,83
Moc po remoncie	21,88
Oszczędność mocy	62,16%

Miesiąc	Godzin w taryfie nocnej	Godzin w taryfie dziennej	Koszty przed modernizacją			Koszty po modernizacji		
			Koszt energii nocnej	Koszt energii dziennej	Koszt energii elektrycznej	Koszt energii nocnej	Koszt energii dziennej	Koszt energii elektrycznej
	[h]	[h]	[PLN]	[PLN]	[PLN]	[PLN]	[PLN]	[PLN]
I	91,76	83,83	3 380,71	3 088,44	6 796,54	1 279,16	1 168,57	2 561,72
II	83,15	59,50	3 063,49	2 192,01	5 582,90	1 159,14	829,39	2 102,51
III	86,31	49,44	3 180,05	1 821,49	5 328,94	1 203,24	689,20	2 006,42
IV	81,14	27,01	2 989,47	995,17	4 312,04	1 131,13	376,54	1 621,66
V	73,32	18,50	2 701,16	681,73	3 710,29	1 022,04	257,95	1 393,97
VI	66,52	12,21	2 450,79	449,99	3 228,17	927,31	170,26	1 211,55
VII	72,08	14,32	2 655,49	527,55	3 510,44	1 004,76	199,61	1 318,35
VIII	80,50	23,41	2 965,84	862,35	4 155,59	1 122,19	326,29	1 562,46
IX	87,26	34,96	3 215,08	1 287,99	4 830,46	1 216,49	487,34	1 817,81
X	89,59	60,75	3 300,73	2 238,36	5 866,49	1 248,90	846,93	2 209,81
XI	88,80	76,34	3 271,65	2 812,71	6 411,76	1 237,90	1 064,25	2 416,13
XII	91,76	89,40	3 380,71	3 293,92	7 002,02	1 279,16	1 246,32	2 639,47
	992,19	549,68			60 735,64			22 861,85
	1541,87							

Oszczędność roczna na energii elektr.	37 873,79 zł	62,36%
--	---------------------	---------------

Konsekwencją zmniejszenia mocy zainstalowanej są oszczędności finansowe, wynikające ze zmniejszenia zużycia energii elektrycznej na potrzeby oświetlenia. Do analizy oszczędności finansowych przyjęto, że rozliczenie z Zakładem Energetycznym następuje według taryfy C21. Wysokość stawki za energię elektryczną przyjęto na poziomie wynegocjowanych stawek z dostawcą energii na lata 2022-2023. Z uzyskanych danych można wyliczyć, że podjęcie remontu oświetlenia w zakresie analizowanego wariantu może przynieść oszczędności w wysokości **37 873,79,-zł**, już w pierwszym pełnym roku pracy systemu, w części budżetu przeznaczanego na pokrycie kosztów energii elektrycznej.

4.3 Stopień redukcji szkodliwych substancji odprowadzanych do atmosfery

W Polsce do produkcji energii elektrycznej używa się węgla brunatnego i kamiennego. Spalanie węgla wiąże się z emisją do atmosfery dużych ilości substancji szkodliwych.

Powołując się na dane KOBIZE (wskaźniki emisyjności obowiązujące w roku 2023 dla energii finalnej) można stwierdzić, że wytworzenie 1 MWh energii elektrycznej powoduje wyemitowanie do atmosfery:

- 708 kg CO₂,
- 0,022 kg pyłu całkowitego
- 0,237 kg CO
- 0,505 kg SO₂
- 0,505 kg NO_x

Zakładana wielkość rocznego zużycia energii elektrycznej na oświetlenie w zakresie przewidzianym do modernizacji wynosi **89,17** MWh. Zakładana wielkość rocznego zużycia energii elektrycznej na oświetlenie po modernizacji dla tego wariantu wyniesie **33,74** MWh. Modernizacja oświetlenia spowoduje obniżenie zużycia energii elektrycznej o ok. **55,43** MWh rocznie. Oznacza to przyczynienie się każdego roku do redukcji emisji szkodliwych substancji w ilości podanej w poniższej tabeli:

wskaźniki bazowe	substancje	Przed modernizacją w Mg	Po modernizacji w Mg	Redukcja substancji w Mg	Redukcja substancji w %
708	CO ₂	63,130	23,885	39,24	62,16%
0,022	Pyły	0,002	0,001	0,001	62,16%
0,237	CO	0,021	0,008	0,013	62,16%
0,505	SO ₂	0,045	0,017	0,028	62,16%
0,505	NO ₂	0,045	0,017	0,028	62,16%

Prace związane z montażem opraw będą miały niewielki wpływ na stan zanieczyszczenia powietrza (typowe prace montażowe). W trakcie prowadzenia prac wystąpi nieznaczna emisja zanieczyszczeń pyłowych. Poza możliwością wystąpienia elementów azbestowych, biorąc pod uwagę zakres i czas trwania prac należy stwierdzić, że zanieczyszczenie powietrza związane z nimi jak i z eksploatacją urządzeń monterskich będzie pomijalnie małe.

4.4 Koszt wykonania

Przeprowadzenie remontu wiąże się z nakładem inwestycyjnym, na który złożą się przede wszystkim:

1. koszt zakupu opraw LED.
2. koszt robocizny i sprzętu i drobnych materiałów, przewodów niezbędnych do demontażu starych i montażu nowych opraw.

Obliczając koszty materiałów oparto się na aktualnych cennikach producenckich. W wypadku realizacji remontu w terminie późniejszym niż grudzień 2023 należy się liczyć z możliwością zmiany cen. Koszt robocizny i inne koszty przyjęto kierując się aktualnie proponowanymi cenami dla tego rodzaju usług w Województwie mazowieckim. Koszty wskazane w opracowaniu należy oczywiście przyjąć jako koszty szacunkowe i wynoszą one:

- koszt wykonania modernizacji oświetlenia, który zgodnie z załączonym kosztorysem wyniesie **587 756,85,-zł brutto**,
- **koszt inwestycyjny zmniejszenia rocznego zużycia energii w tym wariantcie wynikający z podziału kosztu inwestycyjnego przez ilość zaoszczędzonych MWh wynosi 587 756,85,-zł/55,43MWh = 10 603,59,-zł/MWh.**

4.5 SPBT prosty okres zwrotu kosztów inwestycji

Przez prosty okres zwrotu kosztów inwestycji należy rozumieć okres w jakim zainwestowane środki zostaną odzyskane z osiągniętych korzyści. W oświetleniu ulicznym prosty okres zwrotu uzyskuje się przez podzielenie kosztów inwestycyjnych wynikających z kosztorysu, który stanowi załącznik do niniejszego opracowania **587 756,85,-zł** przez uzyskane oszczędności na energii elektrycznej, które dla analizowanego wariantu wyniosą **37 873,79,-zł**, a = **SPBT dla całości inwestycji ok. 15,52 roku.**

4.6. Podsumowanie wyników dla analizowanego wariantu modernizacji

warant	całkowity koszt inwestycyjny w zł (brutto)	Całkowity efekt ekonomiczny w zł (brutto)	Obniżenie całkowitej mocy systemu w %	efekt ekologiczny (obniżenie emisji CO2) w Mg/rok	efekt ekologiczny (obniżenie emisji PM10) w Mg/rok	efekt ekologiczny (obniżenie emisji CO2 i PM 10) w %	Prosty okres zwrotu kosztu inwestycyjnego w latach
Wariant do realizacji - wymiana opraw 755 szt., oprawy LED, pozostałe materiały zgodnie z kosztorysem	587 756,85	37 873,79	62,16	39,24	0,001	62,16	15,52

5. Utrzymanie oraz zarządzanie powstałą w wyniku realizacji przedsięwzięcia infrastrukturą

Utrzymanie nowopowstałej infrastruktury opiera się przede wszystkim na zabezpieczeniu środków na utrzymanie systemu w corocznych uchwałach podejmowanych przez JST dotyczących zakupu energii elektrycznej i konserwacji (zgodnie z aktualnymi cenami).

Monitorowanie prawidłowości pracy urządzeń sprowadza się do wzrokowej kontroli przez jednostkę konserwującą.

Konserwacja zainstalowanych urządzeń musi odbywać się zgodnie z zaleceniami producenta, którego sprzęt został zainstalowany, są to najczęściej półroczne przeglądy serwisowe w okresie 5 letniej gwarancji.

Poniżej przedstawione zostały szacunkowe koszty utrzymania systemu w okresie 10 lat trwałości inwestycji:

1. Koszt serwisu gwarancyjnego liczony od zgłoszenia awarii - pierwsze pięć lat (gwarancja)=0zł.
2. Koszt serwisu pogwarancyjnego przez kolejne pięć lat przy awariach ok. 3% rocznie (zgodnie z danymi producentów) z ilości zamontowanych urządzeń ok. 5000zł/rok*5 lat= 25 000zł/10 lat.

Sporządził

Jarosław Rejlich

Załączniki:

1. Załącznik nr 1 - Inwentaryzacja oświetlenia budynków szkoły.
2. Załącznik nr 2 - Inwentaryzacja oświetlenia budynków szkoły z zestawieniem projektowym oprav.
3. Załącznik nr 3 Obliczenia fotometryczne projektowanego oświetlenia zgodne z normą PN-EN 12464 - płyta CD.
4. Załącznik nr 4 Kosztorys.
5. Załącznik nr 5 - Oświadczenie audytora