

AUDYT WYDAJNOŚCI ENERGETYCZNEJ OŚWIETLENIA

**ZESPÓŁ SZKÓŁ W HUCIE MIŃSKIEJ
Z/S CIELECHOWIŹNIE
UL. CIELECHOWIZNA 1A**

WYKONAŁ :

mgr inż. Marek Popielewski
nr uprawnień budowlanych MAZ/0270/POOE/14

mgr inż. Marek Popielewski
uprawnienia budowlane do projektowania, bez ograniczeń
w specjalności instalacyjnej w zakresie sieci, instalacji
i urządzeń elektrycznych i elektroenergetycznych
nr ew. MAZ/0270/POOE/14

Warszawa, grudzień 2015 r

Spis treści:

1. CHARAKTERYZOWANIE WYDAJNOŚCI ENERGETYCZNEJ OŚWIETLENIA WNĘTRZ W BUDYNKACH.....	4
1.1. Parametry charakteryzujące wydajność energetyczną oświetlenia.....	4
1.1.1 Moc instalowana oświetlenia.....	4
1.1.2 Moc jednostkowa oświetlenia	4
1.1.3 Moc jednostkowa skorygowana oświetlenia	4
1.1.4 Energia elektryczna zużyta na oświetlenie.....	5
1.1.5 Energia jednostkowa oświetlenia.....	5
1.1.6 Energia jednostkowa skorygowana oświetlenia.....	5
1.2 Metody określania energii zużywanej na potrzeby oświetlenia	6
1.3 Sposoby ograniczania zużycia energii elektrycznej na potrzeby oświetlenia.....	7
1.3.1 Minimalizowanie mocy instalowanej.....	7
1.3.2 Kontrolowanie stałego poziomu natężenia, na zasadzie zmiennego wykorzystania przewymiarowanej mocy instalowanej.....	8
1.3.3 Sterowanie i regulacja oświetlenia na zasadzie ograniczania czasu świecenia i okresowego obniżania poziomu natężenia oświetlenia.....	9
1.3.4 Wykorzystywanie światła naturalnego przy kontrolowanym doświetlaniu światłem sztucznym w porze dziennej.....	10
2. WYMAGANIA OŚWIETLENIOWE DLA BUDYNKÓW UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ.....	11
2.1. Wyjaśnienie podstawowych parametrów oświetleniowych	11
2.2. Inwentaryzacja oświetlenia	12
3. ANALIZA ISTNIEJĄCEJ INSTALACJI OŚWIETLENIA	13
3.1 Zestawienie zbiorcze istniejącego oświetlenia	13
4. OPRACOWANIE STRATEGII PROWADZĄCYCH DO POPRAWY WYDAJNOŚCI ENERGETYCZNEJ OŚWIETLENIA	16
4.1 Wybór i charakterystyka sprzętu oświetleniowego	16
4.2 Wybór systemu konserwacji	16
4.3 Zestawienie oświetlenia po modernizacji	17
4.4 Zestawienie zbiorcze oświetlenia po modernizacji	19
5. ANALIZA WYNIKÓW I OCENA EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ.....	21
5.1 Charakterystyka finansowa wymiany oświetlenia	22
5.2 Wnioski	23
LITERATURA.....	24
ZAŁĄCZNIKI :	
- karty katalogowe opraw oświetleniowych	

1. CHARAKTERYZOWANIE WYDAJNOŚCI ENERGETYCZNEJ OŚWIETLENIA WNĘTRZ W BUDYNKACH

Wydajne energetyczne oświetlenie wnętrz ma na celu ograniczenie zużycia energii elektrycznej na potrzeby oświetlenia, bez utraty cech ilościowych i jakościowych oświetlenia. Cechy ilościowe wynikają z poziomu natężenia oświetlenia, zaś na cechy jakościowe wpływa równomierność oświetlenia, oddawanie barw, temperatura barwowa, rozkład luminancji, tętnienie oraz ograniczenie olśnienia. Przy minimalizowaniu zużycia energii należy zachować odpowiednie cechy oświetlenia, aby był komfort i wygoda widzenia.

Najbardziej popularnym sposobem zwiększenia wydajności energetycznej, jest ograniczenie mocy instalowanej. Innymi rzadziej stosowanymi sposobami oświetlenia wydajnego energetycznie jest sterowanie czasem działania oświetlenia, jak również regulowaniem mocy związane z częściowym wykorzystaniem mocy zainstalowanej.

1.1. Parametry charakteryzujące wydajność energetyczną oświetlenia

1.1.1 Moc instalowana oświetlenia

Moc instalowana urządzenia oświetleniowego jest to suma mocy wszystkich urządzeń oświetleniowych znajdujących się w pomieszczeniu [2]:

$$P_i = N_{op} \cdot P \quad (1.1)$$

1.1.2. Moc jednostkowa oświetlenia

Moc jednostkowa urządzenia oświetleniowego to moc instalowana oświetlenia do jednostkowej powierzchni oświetlanego wnętrza :

$$P_j = P_i / A \quad (1.2)$$

1.1.3. Moc jednostkowa skorygowana oświetlenia

Moc jednostkowa skorygowana urządzenia oświetleniowego to moc jednostkowa przypadająca na 100 lx realizowanego poziomu natężenia oświetlenia [2]:

$$P_s = P_j \cdot 100 / E_{sr} \quad (1.3)$$

gdzie:

P - moc oprawy oświetleniowej [W]

P_i - moc instalowana urządzenia oświetleniowego [W]

P_j - moc jednostkowa urządzenia oświetleniowego [W/m^2]

P_s - moc jednostkowa skorygowana urządzenia oświetleniowego [W/m^2 | 100 lx]

N_{op} - liczba opraw oświetleniowych

A - pole oświetlanej powierzchni [m^2]

E_{sr} - poziom średni natężenia oświetlenia [lx]

1.1.4 Energia elektryczna zużyta na oświetlenie

Na wartość energii elektrycznej zużytej na oświetlenie w ciągu roku wpływa wartość mocy instalowanej oraz użyteczny czas eksploatacji urządzenia oświetleniowego (t_u) [2] :

$$W = P_i \cdot t_u \quad (1.4)$$

1.1.5 Energia jednostkowa oświetlenia

Energia jednostkowa oświetlenia jest to stosunek energii zużytej na oświetlenie do jednostkowej powierzchni oświetlanego wnętrza :

$$W_j = \frac{W}{A} \quad (1.5)$$

1.1.6 Energia jednostkowa skorygowana oświetlenia

Energia jednostkowa skorygowana oświetlenia jest to energia jednostkowa oświetlenia przypadająca na 100 lx realizowanego poziomu natężenia oświetlenia :

$$W_s = W_j \cdot \frac{100}{E} \quad (1.6)$$

gdzie :

W - Energia elektryczna zużyta na oświetlenie w ciągu roku [kWh/r]

W_j - Energia jednostkowa oświetlenia w ciągu roku [$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{r})$]

W_s - Energia jednostkowa skorygowana oświetlenia w ciągu roku [$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{r})$ | 100 lx]

t_u - czas użytkowania urządzenia oświetleniowego w ciągu roku [h/r]

E - wartość średnia natężenia oświetlenia wnętrza

1.2 Metody określania energii zużywanej na potrzeby oświetlenia

Całkowita energia zużywana na oświetlenie W_t jest sumą energii wykorzystywanej przez oprawy $W_{L,t}$ i energii „pasożytniczej” $W_{P,t}$ – energia pobierana podczas, gdy oprawy oświetlenia podstawowego nie działają. Energia pasożytnicza zużywana jest na ładowanie inwerterów opraw awaryjnych oraz na podtrzymanie systemów sterowania opraw.

Całkowita energia W_t wyrażona jest wzorem [5] :

$$W_t = W_{L,t} + W_{P,t} \quad [\text{kWh}] \quad (1.7)$$

Przyjęty sposób określania energii wynika z poniższych zależności [13] :

$$W_{L,t} = 1/1000 \cdot \{ (P_i \cdot F_c) \cdot [(t_d \cdot F_o \cdot F_d) + (t_n \cdot F_o)] \} [\text{kWh}] \quad (1.8)$$

gdzie:

P_i - moc wszystkich opraw oświetlenia podstawowego [W]

t_d - czas działania oświetlenia w porze dziennej [h];

t_n - czas działania oświetlenia w ciągu pory nocnej [h];

F_d - współczynnik uwzględniający wykorzystanie światła dziennego w oświetleniu;

F_o - współczynnik wynikający z sterowania i regulacji natężenia oświetlenia podczas nieobecności użytkowników w miejscu pracy;

F_c - współczynnik wynikający z utrzymywaniu stałego poziomu natężenia oświetlenia.

$$W_{P,t} = 1/1000 \cdot \{ (P_{pc} \cdot [t_y - (t_d + t_n)] + (P_{em} \cdot t_{em}) \} \quad [\text{kWh}] \quad (1.9)$$

gdzie :

P_{pc} - całkowita moc wszystkich systemów sterujących oprawami oświetleniowymi [W];

P_{em} - całkowita moc ładowania inwerterów opraw oświetlenia awaryjnego [W]

t_{em} - czas ładowania inwerterów opraw oświetlenia awaryjnego [h];

t_y - czas roku standardowego, przyjęty jako 8760 [h];

Jedną z miar wydajnego energetycznie oświetlenia jest wskaźnik LENI (Lighting Energy Numeric Indicator). Wartość wskaźnika LENI określana jest na podstawie rocznej energii zużywanej na oświetlenie (W) do powierzchni jednostkowej pomieszczenia (A) [5]:

$$LENI = W/A \text{ [kWh/(m}^2\cdot\text{rok)]} \quad (1.10)$$

$$LENI = \{ F_c \cdot P_j / 1000 \cdot [(t_d \cdot F_d \cdot F_o) + (t_n \cdot F_o)] \} + M + N \cdot \{ 5/t_y \cdot [t_y - (t_d + t_n)] \} \quad (1.11)$$

Wzór (2.8) uwzględnia również ryczałt rocznej pasożytniczej energii jednostkowej, jeżeli w oświetleniu podstawowym zainstalowane są oprawy z modułem awaryjnym $N = 1$, w przeciwnym razie $N = 0$. Gdy oświetlenie jest sterowane $M = 1$, jeśli nie ma systemu kontroli opraw $M = 0$. [13]

Wartości współczynników F_d , F_o , t_d , t_n , należy przyjmować wg tablic aneksu G normy [5], natomiast wartość współczynnika F_c - wg aneksu E normy [5] .

W przypadku braku systemu kontroli opraw oświetleniowych współczynniki $F_d = F_o = F_c = 1$

1.3 Sposoby ograniczania zużycia energii elektrycznej na potrzeby oświetlenia

Stosowanie oświetlenia wydajnego energetycznie przynosi korzyści wynikające z ograniczenia zużycia energii, a co za tym idzie korzyści ekonomiczne. W przypadku modernizacji oświetlenia najczęściej stosowna jest metoda minimalizacji mocy instalowanej poprzez wymianę opraw tradycyjnych na oprawy nowej generacji. Coraz częściej stosowane są systemy sterowania oświetleniem, które dodatkowo redukują zużycie energii.

1.3.1 Minimalizowanie mocy instalowanej

Najprostszym i najbardziej skutecznym sposobem na ograniczenie energii elektrycznej na potrzeby oświetlenia jest minimalizowanie mocy instalowanej. Taki sposób minimalizacji energii elektrycznej można uzyskać poprzez :

- stosowanie opraw oświetleniowych o wysokiej sprawności świetlnej i bryle fotometrycznej optymalnej w połączeniu z rozmieszczeniem opraw i geometrią pomieszczenia.
- stosowanie źródeł światła o wysokiej wydajności. Stosowanie źródeł światła Led, w porównaniu do powszechnie stosowanych świetlówek o średnicy $\Phi 26$ mm T8 daje ok. 30 % oszczędności energii zużywanej na oświetlenie.
- stosowanie elektronicznych układów zapłonowych. Stosowanie elektronicznych układów zapłonowych, w porównaniu do konwencjonalnych (magnetycznych) daje o 50% mniejsze straty energii na dławiku. Stateczniki elektroniczne posiadają wiele innych zalet takich jak :

szybki start bez migotania światła, zwiększenie o 50% trwałości źródła światła oraz natychmiastowe wyłączenie układu w przypadku uszkodzenia lub zestarzenia się świetlówki (brak efektu uciążliwego dla oczu załączania i wyłączania uszkodzonej świetlówki).

- stosowanie oświetlenia bezpośredniego
- stosowanie racjonalnego systemu konserwacji
- stosowanie oświetlenia zlokalizowanego lub złożonego
- projektowanie instalacji oświetlenia w taki sposób, aby nie przewymiarować poziomu natężenia oświetlenia dla danego pomieszczenia wymaganego w normie [3]. Projektowany poziom natężenia oświetlenia nie powinien przekraczać 10% wartości poziomu natężenia oświetlenia podana w normie[3].

1.3.2 Kontrolowanie stałego poziomu natężenia oświetlenia, na zasadzie zmiennego wykorzystania przewymiarowanej mocy instalowanej [2]

Przewymiarowanie mocy instalowanej opraw oświetleniowych wynika z przyjętego w projekcie oświetleniowym systemu konserwacji. Automatyczny system kontroli oświetlenia zapewnia utrzymywanie natężenia oświetlenia na płaszczyźnie roboczej na stałym wymaganym poziomie. Oprawy oświetleniowe początkowo zasilane są nie pełną mocą znamionową opraw. W miarę upływu czasu eksploatacji oświetlenia wykorzystuje się coraz większą część mocy instalowanej. Czas uzyskania pełnego wykorzystania mocy instalowanej powinien oznaczać koniec cyklu konserwacji. Wykonanie planowanych czynności konserwacyjnych początkuje okres następnego cyklu konserwacji oświetlenia.

Uzyskany efekt energetyczny określono poprzez współczynnik stałego poziomu natężenia oświetlenia F_c , przez który mnoży się instalowaną moc opraw przy obliczaniu energii zużywanej/potrzebnej na oświetlenie.

Wartość współczynnika F_c jest wartością uśrednioną, zależną od wartości współczynnika utrzymania. Jest obliczana na podstawie dwóch brzegowych wartości współczynnika utrzymania, początkowej i końcowej .

$$F_c = (1+MF)/2 \quad (1.12)$$

gdzie:

MF - założona w projekcie wartość współczynnika utrzymania.

W przypadku stosowania tej metody minimalizacji energii, wartość współczynnika $F_c = 0,9$ odczytana z tablicy F1 aneksu F normy (jeśli nie, to $F_c = 1$).

Koncepcja omawianej techniki związana jest z jednorocznym cyklem konserwacji. W takim też znaczeniu została uwzględniona przy określaniu kryterialnych wartości LENI. Z praktyki wynika, że często cykl jest okresem kilku letnim. Nie zawsze zatem może być uzasadnione przyjmowanie $F_c = 0,9$.

1.3.3 Sterowanie i regulacja oświetlenia na zasadzie ograniczania czasu świecenia i okresowego obniżania poziomu natężenia oświetlenia [2]

System kontroli oświetlenia reguluje okresowe obniżanie poziomu natężenia oświetlenia oraz czas świecenia opraw dostosowane do obecności użytkowników w pomieszczeniu. Uzyskany efekt energetyczny określono współczynnikiem pobytu F_0 , przez wartość którego mnoży się tak roczny czas t_d świecenia w porze dziennej, jak i roczny czas t_n świecenia w porze nocnej.

Współczynnik F_0 charakteryzuje użycie całej instalowanej mocy opraw oświetleniowych w odniesieniu do okresu obecności w pomieszczeniu. Zależy od rodzaju zastosowanego systemu kontroli oświetlenia oraz od stopnia nieobecności użytkowników. Wprowadzono go w celu minimalizowania czasu wykorzystywania mocy instalowanej lub jej części. Gdy w pomieszczeniu nie ma systemu kontroli oświetlenia współczynnik $F_0 = 1$, zaś gdy oświetlenie sterowane jest takim systemem $F_0 < 1$. Wartości $F_0 < 1$ są obliczane wg empirycznych wzorów, przy użyciu pomocniczych wskaźników: nieobecności F_A oraz regulacji oświetlenia F_{oc} .

Wskaźnik F_A charakteryzuje stopień nieobecności użytkowników. Jego wartości są proporcjonalne do czasu, w którym nieobecni są użytkownicy w pomieszczeniu.

Wskaźnik F_A charakteryzuje sposoby kontroli oświetlenia, dokonywane w zależności od obecności użytkowników.

Wartości F_0 można obliczyć wg niżej podanych równań empirycznych na podstawie danych wartości F_A oraz F_{oc} .

$$F_0 = 1 - [(1 - F_{oc}) \cdot F_A / 0,2] \quad \text{gdy} \quad 0 \leq F_A < 0,2 \quad (1.13)$$

$$F_0 = F_{oc} + 0,2 - F_A \quad \text{gdy} \quad 0,2 \leq F_A \leq 0,9 \quad (1.14)$$

$$F_0 = [7 - (10 \cdot F_{oc})] \cdot (F_A - 1) \quad \text{gdy} \quad 0,9 \leq F_A \leq 1 \quad (1.15)$$

Powyższe równania służą do obliczania energii wg metody pełnej. Przy stosowaniu metody szybkiej, służącej dla określenia rocznej energii, także wartości LENI należy stosować wartości domyślne F_0 podane w tabeli G3 aneksu G lub tabeli F1 aneksu F, normy [5].

1.3.4 Wykorzystywanie światła naturalnego przy kontrolowanym doświetlaniu światłem sztucznym w porze dziennej [2]

W porze dziennej gdy niewystarczające jest oświetlenie światłem dziennym, następuje kontrolowane doświetlenie wnętrza światłem sztucznym. Regulacja następuje na zasadzie utrzymywania stałego, wymaganego poziomu natężenia oświetlenia na płaszczyźnie roboczej.

Poziom natężenia oświetlenia na płaszczyźnie roboczej tworzy składowa oświetlenia dziennego oraz składowa oświetlenia elektrycznego. System sterowania oświetleniem polega na monitorowaniu poziomu natężenia oświetlenia i regulowaniu poprzez strumień świetlny oprawy.

Uzyskany efekt energetyczny określono współczynnikiem wykorzystania światła naturalnego F_d , przez wartość którego mnoży się czas t_d świecenia opraw w porze dziennej w godzinach pracy, przy obliczaniu energii zużywanej na oświetlenie.

Współczynnik F_d określa związek między wykorzystaniem w porze dziennej mocy instalowanej opraw oświetleniowych a dostępnością światła naturalnego. Jest określony dla okresu rocznego na podstawie dwóch wskaźników: wskaźnika dostępności światła naturalnego ($F_{d,s}$) oraz wskaźnika regulacji oświetlenia elektrycznego ($F_{d,e}$) wg poniższego równania.

$$F_d = 1 - (F_{d,s} \cdot F_{d,e}) \quad (1.16)$$

Gdy światło dzienne nie dociera do pomieszczenia bądź jego strefy lub jego wpływ na tworzenie wymaganego poziomu natężenia oświetlenia jest praktycznie pomijany, to $F_d = 1$.

2. WYMAGANIA OŚWIETLENIOWE DLA BUDYNKÓW UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ

Wymagania oświetleniowe przyjęto na podstawie polskiej normy PN-EN 12464-1:2012 [3].

Tabela nr 2.1

Rodzaj wnętrza, zadania lub czynności	E_m [lx]	UGR_L [-]	R_a [-]	δ (*) [-]
Korytarz	100	22	80	0,4
Klatka schodowa	100	22	80	0,4
Szatnie ,umywalnie, toalety	200	22	80	0,4
Sala lekcyjna	500	22	80	0,6
Kuchnia	500	22	80	0,6
Stółówka	200	22	80	0,4
Pokoje opieki medycznej	500	16	90	0,6
Magazyn	100	25	60	0,4
Pomieszczenia socjalne	100	22	80	0,4
Świetlica	300	22	80	0,4
Jadalnia	200	22	80	0,4
Pomieszczenie gospodarcze	100	22	80	0,4

2.1. Wyjaśnienie podstawowych parametrów oświetleniowych

Natężenie oświetlenia E [1] w danym punkcie powierzchni jest to iloraz elementarnego strumienia świetlnego ($d\Phi$) padającego na powierzchnię (dS)

$$E = d\Phi / dS. \quad (2.1)$$

Jednostką natężenia oświetlenia jest lux [lx].

Równomierność oświetlenia δ jest to stosunek najmniejszej wartości natężenia oświetlenia w punkcie (E_{min}) do średniej wartości natężenia oświetlenia (E_m)

$$\delta = E_{min} / E_m \quad (2.2)$$

Temperatura barwowa T_c danego źródła światła jest to temperatura ciała czarnego, które promieniuje światło o barwie identycznej z barwą tego źródła [1]. Jednostką temperatury barwowej jest Kelwin [K]. Norma [4] podaje zakresy temperatury barwowej :

$T_c \leq 3300 \text{ K}$	– barwa światła ciepła
$3300 \text{ K} \leq T_c \leq 5300 \text{ K}$	– barwa światła naturalna
$T_c \geq 5300 \text{ K}$	– barwa światła zimna

Wskaźnik oddawania barw Ra - informuje o tym, w jakim stopniu dane źródło światła umożliwia obserwację kolorów [6]. Im wyższy stopień oddawania barw tym lepiej postrzegane są kolory. Maksymalna wartość wskaźnika $R_a = 100$.

Olśnienie - warunki widzenia powstałe na skutek niewłaściwego rozkładu, bądź zakresu luminancji, bądź też występowania zbyt dużych kontrastów, powodujące uczucie przykrości i niewygody, lub obniżenie zdolności rozpoznawania szczegółów, lub przedmiotów, lub oba te wrażenia jednocześnie [6].

Parametrem charakteryzującym olśnienie jest wskaźnik olśnienia UGR, który wyrażony jest wzorem:

2.2. Inwentaryzacja oświetlenia

Inwentaryzacja oświetlenia polega na sprawdzeniu instalacji oświetleniowej. Sprawdzenie instalacji oświetleniowej powinno obejmować :

- charakterystykę pomieszczeń - typ i wymiary pomieszczenia, rozmieszczenie stanowisk pracy, wysokość płaszczyzny pracy, pozycja pracy, kierunki obserwacji, klasyfikacje czystości pomieszczenia, czas pracy oświetlenia w ciągu roku
- rozmieszczenie opraw oświetleniowych wraz z wysokością ich zawieszenia.
- rozmieszczenie stanowisk pracy
- typ, liczba oraz rozmieszczenie opraw oświetleniowych
- typ, liczba źródeł światła
- typ statecznika (elektroniczny czy magnetyczny)

3. ANALIZA ISTNIEJĄCEJ INSTALACJI OŚWIETLENIA

Instalację oświetlenia wykonano na oprawach świetlówkowych z elektronicznymi statecznikami prądu. Oprawy te charakteryzują się przeciętną skutecznością świetlną. Istniejące oświetlenie nie we wszystkich pomieszczeniach spełnia wymagania normatywne. Pomieszczenia na I piętrze oraz klatka schodowa nie spełniają wymagań normatywnych.

3.1 Zestawienie istniejącego oświetlenia

Tabela nr 3.1 Charakterystyka oświetleniowa pomieszczeń szkoły (parter) przed modernizacją.

L.p	Rodzaj pomieszczenia	Typ oprawy	Moc oprawy P [W]	Ilość opraw [szt.]	Moc całkowita instalowana Pi [W]	Czas użytkowania w roku t [h]	Zużycie energii całkowite/rok [kWh/rok]
PARTER							
1	Wydawanie posiłków	Oprawa 2x36W	79	1	79	2000	158
2	Sala lekcyjna nr 1	Oprawa 2x36W	79	4	316	2000	632
3	Gabinet Dyrektora	Oprawa 4x18W	79	4	316	2000	632
4	Korytarz	Oprawa 4x18W	79	8	632	2000	1264
5	Szatnia	Oprawa 4x18W	79	4	316	2000	632
6	Pokój Nauczycieli (2)	Oprawa 2x36W	79	4	316	2000	632
7	Sala lekcyjna nr 3	Oprawa 2x36W	79	4	316	2000	632
8	Sala lekcyjna nr 4	Oprawa 2x36W	79	4	316	2000	632
9	Sala lekcyjna nr 5	Oprawa 2x36W	79	4	316	2000	632
10	Sala lekcyjna nr 6	Oprawa 4x18W	79	6	474	2000	948
11	Łazienka	Oprawa 4x18W	79	2	158	2000	316
12	Łazienka	Oprawa 100W	100	2	200	2000	400
13	Łazienka	Oprawa 4x18W	79	2	158	2000	316
14	Sala lekcyjna nr 7	Oprawa 2x36W	79	4	316	2000	632
15	Sala lekcyjna nr 8	Oprawa 4x18W	79	8	632	2000	1264
16	Zaplecze Sali nr 8	Oprawa 100W	100	1	100	1000	100
17	Pracownia Komputerowa (9)	Oprawa 2x36W	79	3	237	2000	474
18	Zaplecze Pracowni komputerowej	Oprawa 100W	100	1	100	1000	100
19	Korytarz do Sali komputerowej	Oprawa 4x18W	79	4	316	2000	632
20	Korytarz do Sali gimnastycznej	Oprawa 2x54W	119	5	595	2000	1190
21	Biblioteka	Oprawa 4x18W	79	4	316	2000	632
22	Pokój Nauczycielski	Oprawa 2x36W	79	2	158	2000	316

Tabela nr 3.1 Charakterystyka oświetleniowa pomieszczeń szkoły (parter) c.d. przed modernizacją.

L.p	Rodzaj pomieszczenia	Typ oprawy	Moc oprawy P [W]	Ilość opraw [szt.]	Moc całkowita instalowana Pi [W]	Czas użytkowania w roku t [h]	Zużycie energii całkowite/rok [kWh/rok]
PARTER							
23	Przebieralnia Dziewcząt	Oprawa 2x36W	79	3	237	2000	474
24	Natryski	Oprawa 100W	100	8	800	1000	800
25	Łazienka	Oprawa 100W	100	1	100	2000	200
26	Korytarz przebieralnia	Oprawa 100W	100	2	200	2000	400
27	Łazienka	Oprawa 100W	100	1	100	2000	200
28	Korytarz przebieralnia	Oprawa 100W	100	1	100	2000	200
29	Przebieralnia chłopców	Oprawa 2x36W	79	3	237	2000	474
30	Magazynek sprzętu	Oprawa 2x36W	79	4	316	1000	316
31	WC	Oprawa 100W	100	1	100	2000	200
32	Sala gimnastyczna	Oprawa 250W	265	14	3710	2000	7420
33	Korytarz przy sali gimnastycznej	Oprawa 2x36W	79	8	632	2000	1264
34	Wiatrołap(*)	Oprawa 4x18W	79	1	79	1200	94,8
35	Pokój nauczycieli	Oprawa 4x18W	79	2	158	2000	316
36	Łazienka (*)	Oprawa 2x18W	39	2	78	1200	93,6
37	Łazienka (*)	Oprawa 2x18W	39	2	78	1200	93,6
38	Korytarz (*)	Oprawa 4x18W	79	4	316	1200	379,2
39	Sala zajęć	Oprawa 4x18W	79	16	1264	2000	2528
RAZEM :				154	15 188	-	28 619,2

(*) istniejące sterowanie oświetleniem

Tabela nr 3.2 Charakterystyka oświetleniowa pomieszczeń szkoły (piętro I) przed modernizacją.

L.p	Rodzaj pomieszczenia	Typ oprawy	Moc oprawy P [W]	Ilość opraw [szt.]	Moc całkowita instalowana Pi [W]	Czas użytkowania w roku t [h]	Zużycie energii całkowite/rok [kWh/rok]
PIETRO I							
1	Klatka Schodowa	Oprawa 100W	100	1	100	2000	200
2	Sala lekcyjna (22)	Oprawa 2x36W	79	1	79	2000	158
3	WC	Oprawa 100W	100	1	100	1500	150
5	Sala lekcyjna (21)	Oprawa 2x36W	79	4	316	2000	632
6	WC	Oprawa 100W	100	1	100	1500	150
7	Korytarz	Oprawa 2x36W	79	1	79	2000	158
8	Sala Lekcyjna (20)	Oprawa 2x36W	79	5	395	2000	790
RAZEM :				14	1 169	-	2 238,0

3.2 Zestawienie zbiorcze istniejącego oświetlenia w budynku szkoły

Tabela 3.3 Zbiorcze zestawienie oświetlenia pomieszczeń szkoły przed modernizacją

L.p.	Rodzaj pomieszczenia	Moc całkowita instalowana Pi [W]	Zużycie energii całkowite/rok [kWh/rok]	Cena energii za 1 kWh [zł]	Koszt energii elektryczne za oświetlenie na rok [zł/rok]	Liczbowy wskaźnik energii oświetlenia LENI [kWh/m ² .rok]	Powierzchnia pomieszczeń wyposażonych w system instalacji oświetlenia A _L [m ²]
1	Parter	15 188	28 619,2	0,476 zł	13 622,74 zł	23,23	1232,21
2	I Piętro	1 169	2 238,0	0,476 zł	1 065,29 zł	13,85	161,54
RAZEM :		16 357	30 857,2	-	14 688,03 zł	22,14	1393,75

4. OPRACOWANIE STRATEGII PROWADZĄCYCH DO POPRAWY WYDAJNOŚCI ENERGETYCZNEJ OŚWIETLENIA

4.1 Wybór i charakterystyka sprzętu oświetleniowego

Do modernizacji oświetlenia zastosowano ledowe oprawy oświetleniowe firmy Plexiform. Sprzęt oświetleniowy zastosowany charakteryzuje się dużą wydajnością oraz bezpieczeństwem użytkowania.

Do sterowania i regulacji oświetlenia na zasadzie ograniczania czasu świecenia i okresowego obniżania poziomu natężenia oświetlenia zastosowana te same oprawy oświetleniowe sterowane poprzez czujnik ruchu

4.2 Wybór systemu konserwacji

Przyjęty system konserwacji przewiduje :

- czyszczenie opraw oświetleniowych co 12 miesięcy
- odnawianie pomieszczeń co 48 miesięcy

Współczynnik konserwacji $k = 0,80$

4.3 Zestawienie oświetlenia po modernizacji

Tabela nr 4.1 Charakterystyka oświetleniowa pomieszczeń szkoły (parter) po modernizacji

L.p	Rodzaj pomieszczenia	Typ oprawy	Moc oprawy P [W]	Ilość opraw [szt.]	Moc całkowita instalowana Pi [W]	Czas użytk. w roku t [h]	Zużycie energii całkowite/rok k [kWh/rok]	Średnie natężenie oświetlenia E [lx]
PARTER								
1	Wydawanie posiłków	LED 45W	45	2	90	2000	180	305
2	Sala lekcyjna nr 1	3x13,5W LED	40,5	4	162	2000	324	495
3	Gabinet Dyrektora	3x13,5W LED	40,5	3	121,5	2000	243	515
4	Korytarz (*)	29W LED	29	6	174	1200	208,8	120
5	Szatnia (*)	29W LED	29	3	87	1200	104,4	254
6	Pokój Nauczycieli (2)	3x13,5W LED	40,5	3	121,5	2000	243	330
7	Sala lekcyjna nr 3	3x13,5W LED	40,5	6	243	2000	486	575
8	Sala lekcyjna nr 4	3x13,5W LED	40,5	6	243	2000	486	575
9	Sala lekcyjna nr 5	3x13,5W LED	40,5	6	243	2000	486	575
10	Sala lekcyjna nr 6	3x13,5W LED	40,5	6	243	2000	486	480
11	Łazienka (*)	24W LED	24	3	72	1200	86,4	221
12	Łazienka (*)	18W LED	18	1	18	1200	21,6	223
13	Łazienka (*)	24W LED	24	3	72	1200	86,4	221
14	Sala lekcyjna nr 7	3x13,5W LED	40,5	6	243	2000	486	575
15	Sala lekcyjna nr 8	3x13,5W LED	40,5	10	405	2000	810	510
16	Zaplecze Sali nr 8	18W LED	18	1	18	1000	18	115
17	Pracownia Komputerowa (9)	3x13,5W LED	40,5	4	162	2000	324	535
18	Zaplecze Pracowni komputerowej	18W LED	18	1	18	1000	18	120
19	Korytarz do Sali komputerowej (*)	29W LED	29	4	116	1200	139,2	135
20	Korytarz do Sali gimnastycznej (*)	29W LED	29	5	145	1200	174	142
21	Biblioteka	3x13,5W LED	40,5	4	162	2000	324	502
22	Pokój Nauczycielski	3x13,5W LED	40,5	2	81	2000	162	485
23	Przebieralnia Dziewcząt (*)	LED 36W	36	2	72	1200	86,4	265

Tabela nr 4.1 Charakterystyka oświetleniowa pomieszczeń szkoły (parter) po modernizacji

L.p	Rodzaj pomieszczenia	Typ oprawy	Moc oprawy P [W]	Ilość opraw [szt.]	Moc całkowita instalowana Pi [W]	Czas użytk. w roku t [h]	Zużycie energii całkowite/rok [kWh/rok]	Średnie natężenie oświetlenia E [lx]
PARTER								
24	Natryski	██████ LED 45W	45	2	90	1000	90	235
25	Łazienka (*)	██████ LED 18W	18	1	18	1200	21,6	221
26	Korytarz przebieralnia (*)	██████ LED 19W	19	1	19	1200	22,8	152
27	Łazienka (*)	██████ LED 18W	18	1	18	1200	21,6	221
28	Korytarz przebieralnia (*)	██████ LED 19W	19	1	19	1200	22,8	152
29	Przebiernia chłopców (*)	██████ LED 36W	36	2	72	1200	86,4	265
30	Magazynek sprzętu	██████ LED 36W	36	1	36	1000	36	175
31	WC (*)	██████ LED 18W	18	1	18	1200	21,6	221
32	Sala gimnastyczna	██████ LED 112W Z SIATKĄ IK 10	112	12	1344	2000	2688	401
33	Korytarz przy sali gimnastycznej (*)	██████ ECO LED 29W	29	7	203	1200	243,6	132
34	Wiatrołap (*)	██████ LED 29W	29	1	29	1200	34,8	175
35	Pokój nauczycieli	██████ LED 3x13,5W	40,5	1	40,5	2000	81	388
36	Łazienka (*)	██████ LED 24W	24	1	24	1200	28,8	222
37	Łazienka (*)	██████ LED 24W	24	2	48	1200	57,6	222
38	Korytarz (*)	██████ ECO LED 29W	29	2	58	1200	69,6	175
39	Sala zajęć	██████ LED 3x13,5W	40,5	6	243	2000	486	360
RAZEM				133	5 592	-	9 995,4	-

(*) - sterowanie oświetleniem

Tabela nr 4.2 Charakterystyka oświetleniowa pomieszczeń szkoły (I piętro) po modernizacji

L.p	Rodzaj pomieszczenia	Typ oprawy	Moc oprawy P [W]	Ilość opraw [szt.]	Moc całkowita instalowana Pi [W]	Czas użytk. w roku t [h]	Zużycie energii całkowite/rok [kWh/rok]	Średnie natężenie oświetlenia E [lx]
I PIĘTRO								
1	Klatka Schodowa	LED 19W	19	2	38	2000	76	165
2	Sala lekcyjna (22)	LED 3x13,5W	40,5	2	81	2000	162	575
3	WC (*)	LED 18W	18	1	18	900	16,2	221
4	Sala lekcyjna (21)	LED 3x13,5W	40,5	3	121,5	2000	243	543
5	WC (*)	LED 18W	18	1	18	900	16,2	215
6	Korytarz (*)	LED 36W	36	1	36	1200	43,2	145
7	Sala Lekcyjna (20)	LED 3x13,5W	40,5	5	202,5	2000	405	521
RAZEM				15	515	-	961,6	-

(*) - sterowanie oświetleniem

4.4 Zestawienie zbiorcze oświetlenia po modernizacji

Tabela 4.3 Charakterystyka oświetleniowa pomieszczeń szkoły po modernizacji

L.p	Rodzaj pomieszczenia	Moc całkowita instalowana Pi [W]	Zużycie energii całkowite/rok [kWh/rok]	Cena energii za 1 kWh [zł]	Koszt energii elektryczne za oświetlenie na rok [zł/rok]	Liczbowy wskaźnik energii oświetlenia LENI [kWh/m ² ·rok]	Powierzchnia pomieszczeń wyposażonych w system instalacji oświetlenia A _L [m ²]	Cząstkowa maksymalna wartości wskaźnika ΔEP _L [kWh/m ² ·rok]
1	Parter	5 592	9 995,4	0,476 zł	4 757,81 zł	8,11	1232,21	24,33
2	I Piętro	515	961,6	0,476 zł	457,72 zł	5,95	161,54	17,85
RAZEM :		6 107	10 957,0	-	5 215,53 zł	7,86	1393,75	23,58

Tabela 4.4. Zapotrzebowanie na energię końcową na oświetlenie po modernizacji oświetlenia

$E_L = LENI \cdot A_F$ [kWh/rok] – roczne zapotrzebowanie na energię końcową na oświetlenie $E_L = 10957$ [kWh/rok] – roczne zapotrzebowanie na energię końcową na oświetlenie $LENI = \{ F_o \cdot P_j / 1000 \cdot [(t_d \cdot F_d \cdot F_o) + (t_n \cdot F_o)] \} + M + N \cdot \{ 5/t_y \cdot [t_y - (t_d + t_n)] \}$ $LENI = 7,86$ [kWh/m²·rok]	
$P_j = 4,38$ W/m ²	Moc jednostkowa opraw oświetlenia podstawowego w budynku
$P_i = 6107$ W	Moc instalowana oświetlenia podstawowego w budynku
$A_f = 1393,75$ m ²	Powierzchnia użytkowa poszczególnych pomieszczeń
$t_d = 1800$ h/rok	Czas użytkowania oświetlenia w ciągu dnia
$t_n = 200$ h/rok	Czas użytkowania oświetlenia w ciągu nocy
$t_o = 2000$ h/rok	Czas użytkowania oświetlenia będący sumą czasów t_d i t_n
$t_y = 8760$ h/rok	Liczba godzin w ciągu roku
$F_D = 1$	Współczynnik uwzględniający wykorzystanie światła dziennego
$F_o = 1; 0,6^*$	Współczynnik uwzględniający nieobecności użytkowników w miejscu pracy
$F_C = 1$	Współczynnik uwzględniający obniżenie natężenia oświetlenia do poziomu wymaganego
$M = 0$	Gdy stosowane jest oświetlenie awaryjne, w przeciwnym razie 0
$N = 1$	Gdy stosowane jest sterowanie opraw oświetleniowych, w przeciwnym razie 0
$\Delta EP_L = 23,58$ [kWh/m ² ·rok]	Częstkowa maksymalna wartości wskaźnika EP na potrzeby oświetlenia, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Transportu, budownictwa i gospodarki Morskiej w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 5 lipca 2013 r maksymalna wartość $\Delta EP_L = 25$ kWh/m ² ·rok (wartość ΔEP_L od 2021 r.)

* - oprawy sterowane poprzez czujnik ruchu

5. ANALIZA WYNIKÓW I OCENA EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ

Tabela 5.1 Zestawienie wyników instalacji oświetleniowej po modernizacji oraz istniejącego oświetlenia

Wybrany sposób oświetlenia	Oświetlenie stan istniejący	Oświetlenie po modernizacji	Oszczędność energii elektrycznej po modernizacji	Oszczędność energii elektrycznej po modernizacji oświetlenia [%]	Oszczędność finansowe po modernizacji oświetlenia [zł/rok]
Moc całkowita Pi [W]	16 357,00	6 106,50	10 250,50	62,67%	-
Zużycie energii całkowite/rok [kWh/rok]	30 857,20	10 957,00	19 900,20	64,49%	9 472,50 zł

Jak wynika z tabeli 5.1 wymiana opraw oświetleniowych oraz zastosowanie lokalnego sterowania oświetleniem zapewnia oszczędności energii elektrycznej w wysokości 19 900,2 kWh w stosunku rocznym co stanowi 64,49% zużywanej energii elektrycznej na potrzeby istniejącego oświetlenia. Wymiana opraw oświetleniowych zmniejszy o 9472,5 zł roczne koszty energii elektrycznej.

5.1 Charakterystyka finansowa wymiany oświetlenia

Tabela 5.1 Koszt wymiany opraw oświetleniowych

L.p.	Typ oprawy oświetleniowej	Producent	Ilość	Cena jednostkowa brutto	Cena całkowita
			[szt.]	[zł]	[zł]
1	████████ LED 19W	██████████	4	241,00	964,00
2	████████ LED 36W	██████████	6	330,00	1 980,00
3	████████ LED 29W	██████████	28	369,00	10 332,00
4	██████████ LED 3x13,5W	██████████	77	440,00	33 880,00
5	████████ LED 18W	██████████	8	258,00	2 064,00
6	████████ LED 24W	██████████	9	302,00	2 718,00
7	████████ LED 112W Z SIATKĄ IK 10	██████████	12	1 468,00	17 616,00
8	████████ LED 45W	██████████	4	372,00	1 488,00
9	Czujnik ██████████	██████████	36	35,00	1 260,00
10	KOSZT ROBOCIZNY I OKABLOWANIA		148	180,00	26 640,00
			RAZEM		98 942,00

Tabela 5.2 Charakterystyka finansowa wymiany opraw oświetleniowych

L.p.	Koszt modernizacji oświetlenia [zł]	Ilość zaoszczędzonej energii/rok [kWh/rok]	Cena energii elektrycznej za 1 kWh [zł]	Kwota oszczędności na energii elektrycznej/rok [zł]	Czas zwrotu z inwestycji t [rok]
1	98 942,00	19 900,20	0,476	9 472,50	10,45

Czas zwrotu inwestycji 10,45 roku

5.2. Wnioski

Audyt energetyczny oświetlenia powinien polegać na wykryciu ewentualnych niezgodności w oświetleniu oraz opracowaniu najbardziej korzystnej pod względem energetycznym, jak i ekonomicznym, metody poprawy istniejącego systemu oświetlenia.

W audycie wykazano korzyści wynikające z modernizacji istniejącego oświetlenia przy jednoczesnym spełnieniu wymagań normatywnych. Jak wykazano, należy modernizować nieefektywne oświetlenie, co przyczynia się do dużych oszczędności. Koszt wymiany oświetlenia zwróci się już po 10,45 roku, a roczny rachunek za energię elektryczną zmniejszy się o 9 472,5 zł.

Zastosowane oświetlenie ledowe cechuje się dużą trwałością ok. 50 000 godzin świecenia, co przy tak długo sprawnych źródłach światła pozwala użytkować ok. 25 lat bez wymiany źródeł światła. W przeciągu 25 lat użytkowania istniejącego oświetlenia opartego na świetłówkach należałoby czterokrotnie wymienić wszystkie źródła światła. W szkole zainstalowanych jest ok. 336 źródeł światła. W przypadku jednorazowej wymiany źródeł światła i założeniu że koszt pojedynczej świetłówki wynosi ok. 10 zł, to koszt wymiany źródeł światła wyniósłby 3 360 zł. Powyższa kwota nie była uwzględniona w charakterystyce finansowej wymiany opraw oświetleniowych, co stanowi dodatkowe oszczędności finansowe.

Zmodernizowane oświetlenie poprawia jakość oświetlenia i komfort użytkowania. Poprzez zastosowanie systemów sterowania oświetleniem ułatwia użytkowanie instalacji oświetleniowej. Zmodernizowane oświetlenie cechuje się nowoczesnym wyglądem, wysoką sprawnością opraw, dużą trwałością oraz natychmiastowym zapaleniem się światła, bez efektu migotania czy rozświecania się źródeł światła.

Zaproponowany system oświetlenia spełnia wymagania rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [7]. Maksymalna wartości wskaźnika ΔEP_L zaproponowanego systemu oświetlenia wynosi 23,58 kWh/m²·rok, a zgodnie z rozporządzeniem [7] wymagana maksymalna wartość $\Delta EP_L = 25$ kWh/m²·rok.

Literatura

- [1] Pracki P., Efektywność energetyczna oświetlenia obiektów użyteczności publicznej, Przegląd Elektrotechniczny, 9/2009.
- [2] J. Bąk, „Wydajne energetycznie oświetlenie wnętrz”. Wydawnictwo COSIW, Warszawa 2009.
- [3] PN-EN 12464-1:2012. Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach.
- [4] PN-84/E-02033. Oświetlenie wnętrz światłem elektrycznym.
- [5] PN-EN 15193:2007. Energetyczne właściwości użytkowe budynków – Wymagania energetyczne dotyczące oświetlenia (org.).
- [6] Pracki P., Energetyczne aspekty oświetlenia wnętrz budynków użyteczności publicznej, Materiały budowlane, 1/2006
- [7] Rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie