

AUDYT WYDAJNOŚCI ENERGETYCZNEJ OŚWIETLENIA

**ZESPÓŁ SZKÓŁ SZKOŁA PODSTAWOWA
I GIMNAZJUM IM.KS. A. TYSZKI
JANÓW, UL. STRAŻACKA 18**

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	21
5. ANALIZA WYNIKÓW I OCENA EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ.....	22
5.1 Charakterystyka finansowa wymiany oświetlenia	23
5.2 Wnioski	24
LITERATURA.....	25

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. Mocy 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 ($F_{d,c}$) wg poniższego równania.

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

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
Stolówka	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 Ra =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 świetłówkowych z elektronicznymi statecznikami prądu. Oprawy te charakteryzują się przeciętną skutecznością świetlną. Istniejące oświetlenie spełnia wymagania normatywne.

3.1 Zestawienie istniejącego oświetlenia

Tabela nr 3.1 Charakterystyka oświetleniowa pomieszczeń szkoły (piwnica) 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]
PIWNICA							
1	Klatka schodowa	Oprawa 100W	100	1	100	2000	200
2	Sala lekcyjna	Oprawa 4x18W	79	3	237	2000	474
3	Korytarz	Oprawa 100W	100	2	200	2000	400
4	Pomieszczenie gospodarcze	Oprawa 100W	100	2	200	1000	200
5	Szatnia	Oprawa 100W	100	17	1700	2000	3400
6	Pomieszczenie gospodarcze	Oprawa 100W	100	3	300	1000	300
7	Pomieszczenie gospodarcze	Oprawa 100W	100	4	400	1000	400
8	Pomieszczenie gospodarcze	Oprawa 100W	100	4	400	1000	400
9	Szatnia	Oprawa 2x36W	79	12	948	2000	1896
10	Klatka schodowa	Oprawa 2x36W	79	1	79	2000	158
RAZEM :				49	4 564	-	7 828,0

Tabela nr 3.2 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	Przedsionek	Oprawa 2x36W	79	1	79	2000	158
2	Sala lekcyjna nr 2	Oprawa 2x36W	79	2	158	2000	316
3	Sekretariat	Oprawa 2x36W	79	5	395	2000	790
4	Gabinet Dyrektora	Oprawa 2x36W	79	5	395	2000	790
5	Sala Lekcyjna nr 3	Oprawa 2x36W	79	10	790	2000	1580
6	Biblioteka	Oprawa 2x36W	79	9	711	2000	1422
7	Sala Lekcyjna nr 4	Oprawa 2x36W	79	12	948	2000	1896
8	Korytarz przy Sali lekcyjnej nr 3	Oprawa 2x36W	79	6	474	2000	948
9	Korytarz	Oprawa 2x36W	79	15	1185	2000	2370
10	Sala Lekcyjna nr 5	Oprawa 2x36W	79	15	1185	2000	2370
11	Sala Lekcyjna nr 6	Oprawa 2x36W	79	15	1185	2000	2370

Tabela nr 3.2 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							
12	Łazienka	Plafon 100W	100	3	300	2000	600
13	Pomieszczenie gospodarcze	Plafon 100W	100	1	100	1000	100
14	Łazienka	Plafon 100W	100	3	300	2000	600
15	Gabinet lekarski	Oprawa 2x36W	79	5	395	2000	790
16	Sala Lekcyjna nr 12	Oprawa 2x36W	79	15	1185	2000	2370
17	Sala Lekcyjna nr 13	Oprawa 2x36W	79	15	1185	2000	2370
18	Klatka schodowa	Oprawa 2x36W	79	2	158	2000	316
19	Korytarz przy Sali gimnastycznej	Oprawa 2x36W	79	8	632	2000	1264
20	Sala Gimnastyczna	Oprawa 250W	265	16	4240	2000	8480
21	Magazyn Sportowy	Oprawa 2x36W	79	4	316	1000	316
22	Przeds. przebieralnia	Oprawa 100W	100	1	100	2000	200
23	Przebiegalnia	Oprawa 2x36W	79	3	237	2000	474
24	Natryski	Oprawa 100W	100	4	400	1000	400
25	Przedsionek przebieralnia	Oprawa 100W	100	1	100	2000	200
26	Przebiegalnia	Oprawa 2x36W	79	3	237	2000	474
27	Magazyn Sprzętu	Oprawa 2x36W	79	2	158	1000	158
28	Sala Rytmiki	Oprawa 2x36W	79	4	316	2000	632
29	Stółówka	Plafon 36W	36	9	324	2000	648
30	Korytarz	Oprawa 2x36W	79	3	237	2000	474
31	Sala Lekcyjna nr 51	Oprawa 2x36W	79	9	711	2000	1422
32	Korytarz	Oprawa 2x36W	79	6	474	2000	948
33	Sala Lekcyjna nr 52	Oprawa 2x36W	79	8	632	2000	1264
34	Klatka schodowa	Oprawa 2x36W	79	2	158	2000	316
35	WC	Oprawa 2x18W	39	4	156	2000	312
36	WC	Oprawa 2x18W	39	4	156	2000	312
37	Świetlica	Oprawa 2x36W	79	4	316	2000	632
38	Kuchnia	Oprawa 2x36W	79	4	316	2000	632
39	Pom. gospodarcze	Oprawa 100W	100	1	100	2000	200
RAZEM :				239	21 444	-	41 914,0

Tabela nr 3.3 Charakterystyka oświetleniowa pomieszczeń szkoły (I piętro) 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]
I PIĘTRO							
1	Klatka schodowa	Oprawa 2x36W	79	2	158	2000	316
2	Sala Lekcyjna nr 33	Oprawa 2x36W	79	10	790	2000	1580
3	Sala Lekcyjna nr 32	Oprawa 2x36W	79	21	1659	2000	3318
4	Sala Komputerowa	Oprawa 2x36W	79	5	395	2000	790
5	Łazienka	Oprawa 100W	100	3	300	2000	600
6	Pomieszczenie gospodarcze	Oprawa 100W	100	1	100	1000	100
7	Łazienka	Oprawa 100W	100	3	300	2000	600
8	WC	Oprawa 100W	100	1	100	2000	200
9	Sala Lekcyjna nr 26	Oprawa 2x36W	79	15	1185	2000	2370
10	Sala Lekcyjna nr 25	Oprawa 2x36W	79	15	1185	2000	2370
11	Klatka schodowa	Oprawa 2x36W	79	3	237	2000	474
12	Korytarz	Oprawa 2x36W	79	12	948	2000	1896
13	Sala komputerowa nr 22	Oprawa 2x36W	79	10	790	2000	1580
14	Pokój Nauczycielski	Oprawa 2x36W	79	5	395	2000	790
15	Magazyn	Oprawa 1x36W	36	2	72	1000	72
16	Sala lekcyjna nr 55	Oprawa 2x36W	79	2	158	2000	316
17	WC	Oprawa 2x18W	39	4	156	2000	312
18	WC	Oprawa 2x18W	39	4	156	2000	312
19	Korytarz	Oprawa 2x36W	79	10	790	2000	1580
20	Klatka Schodowa	Oprawa 2x36W	79	1	79	2000	158
21	Sala Lekcyjna	Oprawa 2x36W	79	8	632	2000	1264
22	Sala Lekcyjna nr 54	Oprawa 2x36W	79	8	632	2000	1264
RAZEM :				145	11 217	-	22 262,0

3.2 Zestawienie zbiorcze istniejącego oświetlenia w budynku szkoły

Tabela 3.4 Zbiorcze zestawienie oświetlenia pomieszczeń szkoły przed modernizacją

L.p.	Rodzaj pomieszczenia	Moc całkowita instalowana P_i [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	Piwnica	4 564	7 828,0	0,421 zł	3 295,59 zł	26,01	301
2	Parter	21 444	41 914,0	0,421 zł	17 645,79 zł	27,04	1550
3	I Piętro	11 217	22 262,0	0,421 zł	9 372,30 zł	28,91	770
	RAZEM :	37 225	72 004,0	-	30 313,68 zł	27,47	2621

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 charakteryzują 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 [REDACTED]

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 (piwnica) 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]
PIWNICA								
1	Klatka schodowa (*)	██████ LED 36W	36	1	36	1200	43,2	165
2	Sala lekcyjna	██████ LED 3x13,5W	40,5	6	243	2000	486	475
3	Korytarz (*)	██████ LED 36W	36	2	72	1200	86,4	141
4	Pomieszczenie gospodarcze	██████ LED 36W	36	2	72	1000	72	170
5	Szatnia (*)	██████ LED 36W	36	9	324	1200	388,8	212
6	Pomieszczenie gospodarcze	██████ LED 36W	36	2	72	1000	72	162
7	Pomieszczenie gospodarcze	██████ LED 36W	36	4	144	1000	144	175
8	Pomieszczenie gospodarcze	██████ LED 36W	36	4	144	1000	144	175
9	Szatnia (*)	██████ LED 36W	36	12	432	1200	518,4	202
10	Klatka schodowa (*)	██████ LED 36W	36	1	36	1200	43,2	165
RAZEM				43	1 575	-	1 998,0	-

(*) - sterowanie oświetleniem

Tabela nr 4.2 Charakterystyka oświetleniowa pomieszczeń szkoła (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	Przedśionek (*)	██████ LED 19W	19	1	19	1200	22,8	185
2	Sala lekcyjna nr 2	██████ LED 3x13,5W	40,5	2	81	2000	162	505
3	Sekretariat	██████ LED 3x13,5W	40,5	3	121,5	2000	243	525
4	Gabinet Dyrektora	██████ LED 3x13,5W	40,5	3	121,5	2000	243	525
5	Sala Lekcyjna nr 3	██████ LED 3x13,5W	40,5	6	243	2000	486	538
6	Biblioteka	██████ LED 3x13,5W	40,5	4	162	2000	324	524
7	Sala Lekcyjna nr 4	██████ LED 3x13,5W	40,5	6	243	2000	486	535
8	Korytarz przy Sali lekcyjnej nr 3 (*)	██████ LED 36W	36	3	108	1200	129,6	165
9	Korytarz (*)	██████ LED 36W	36	8	288	1200	345,6	142
10	Sala Lekcyjna nr 5	██████ LED 3x13,5W	40,5	8	324	2000	648	545
11	Sala Lekcyjna nr 6	██████ LED 3x13,5W	40,5	8	324	2000	648	545
12	Łazienka (*)	██████ LED 16W	16	3	48	1200	57,6	221
13	Pomieszczenie gospodarcze	██████ LED 18W	18	1	18	1000	18	162
14	Łazienka (*)	██████ LED 16W	16	3	48	1200	57,6	221
15	Gabinet lekarski	██████ LED 3x13,5W	40,5	3	121,5	2000	243	501
16	Sala Lekcyjna nr 12	██████ LED 3x13,5W	40,5	8	324	2000	648	545
17	Sala Lekcyjna nr 13	██████ LED 3x13,5W	40,5	8	324	2000	648	545
18	Klatka schodowa (*)	██████ LED 36W	36	2	72	1200	86,4	165
19	Korytarz przy Sali gimnastycznej (*)	██████ LED 36W	36	4	144	1200	172,8	145
20	Sala Gimnastyczna	██████ LED 112W Z SIATKĄ IK10	112	12	1344	2000	2688	355
21	Magazyn Sportowy	██████ LED 36W	36	1	36	1000	36	110
22	Przedśionek przebieralnia (*)	██████ LED 19W	19	1	19	1200	22,8	175
23	Przebiegalnia (*)	██████ LED 36W	36	2	72	1200	86,4	215

Tabela nr 4.2 Charakterystyka oświetleniowa pomieszczeń szkoła (parter) c.d. 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 36W	36	4	144	1000	144	205
25	Przedśionek przebieralnia (*)	██████ LED 19W	19	1	19	1200	22,8	175
26	Przebieralnia (*)	██████ LED 36W	36	2	72	1200	86,4	215
27	Magazyn Sprzętu Sportowego	██████ LED 36W	36	1	36	1000	36	110
28	Sala Rytmiki	██████ LED 36W	36	3	108	2000	216	291
29	Stolówka	██████ LED 36W	36	3	108	2000	216	285
30	Korytarz (*)	██████ LED 36W	36	2	72	1200	86,4	185
31	Sala Lekcyjna nr 51	██████ LED 3x13,5W	40,5	8	324	2000	648	501
32	Korytarz (*)	██████ LED 36W	36	3	108	1200	129,6	165
33	Sala Lekcyjna nr 52	██████ LED 3x13,5W	40,5	8	324	2000	648	501
34	Klatka schodowa (*)	██████ LED 36W	36	2	72	1200	86,4	165
35	WC (*)	██████ LED 16W	16	3	48	1200	57,6	205
36	WC (*)	██████ LED 16W	16	3	48	1200	57,6	205
37	Świetlica	██████ LED 3x13,5W	40,5	3	121,5	2000	243	350
38	Kuchnia	██████ LED 44W	44	3	132	2000	264	502
RAZEM				149	6 342	-	11 444,4	-

(*) - sterowanie oświetleniem

Tabela nr 4.3 Charakterystyka oświetleniowa pomieszczeń szkoła (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 36W	36	2	72	1200	86,4	165
2	Sala Lekcyjna nr 33	██████ LED 3x13,5W	40,5	8	324	2000	648	545
3	Sala Lekcyjna nr 32	██████ LED 3x13,5W	40,5	8	324	2000	648	545
4	Sala Komputerowa	██████ LED 3x13,5W	40,5	3	121,5	2000	243	501
5	Łazienka (*)	██████ LED 16W	16	3	48	1200	57,6	221
6	Pomieszczenie gospodarcze	██████ LED 18W	18	1	18	1000	18	162
7	Łazienka (*)	██████ LED 16W	16	3	48	1200	57,6	221
8	WC (*)	██████ LED 16W	16	1	16	1200	19,2	203
9	Sala Lekcyjna nr 26	██████ LED 3x13,5W	40,5	8	324	2000	648	545
10	Sala Lekcyjna nr 25	██████ LED 3x13,5W	40,5	8	324	2000	648	545
11	Klatka schodowa (*)	██████ LED 36W	36	1	36	1200	43,2	165
12	Korytarz (*)	██████ LED 36W	36	7	252	1200	302,4	145
13	Sala komputerowa nr 22	██████ LED 3x13,5W	40,5	4	162	2000	324	500
14	Pokój Nauczycielski	██████ LED 3x13,5W	40,5	2	81	2000	162	390
15	Magazyn	██████ LED 19W	19	1	19	1000	19	145
16	Sala lekcyjna nr 55	██████ LED 3x13,5W	40,5	3	121,5	2000	243	525
17	WC (*)	██████ LED 16W	16	3	48	1200	57,6	221
18	WC (*)	██████ LED 16W	16	3	48	1200	57,6	221
19	Korytarz (*)	██████ LED 36W	36	3	108	1200	129,6	165
20	Klatka Schodowa (*)	██████ LED 36W	36	1	36	1200	43,2	165
21	Sala Lekcyjna	██████ LED 3x13,5W	40,5	8	324	2000	648	515
22	Sala Lekcyjna nr 54	██████ LED 3x13,5W	40,5	8	324	2000	648	515
RAZEM				89	3 179	-	5 751,4	-

(*) - 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 P_i [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]	Częstkowa maksymalna wartości wskaźnika ΔEP_L [kWh/m ² ·rok]
1	Piwnica	1 575,0	1 998,0	0,421 zł	841,16 zł	6,64	301	19,92
2	Parter	6 342,0	11 444,4	0,421 zł	4 818,09 zł	7,38	1550	22,14
3	I Piętro	3 179,0	5 751,4	0,421 zł	2 421,34 zł	7,47	770	22,41
RAZEM :		11 096,0	19 193,8	-	8 080,59 zł	7,32	2621	21,96

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	
$E_L = 19193,8$ [kWh/rok] – roczne zapotrzebowanie na energię końcową na oświetlenie	
$LENI = \{F_c \cdot P_j / 1000 \cdot [(t_d \cdot F_d \cdot F_o) + (t_n \cdot F_o)]\} + M + N \cdot \{5/t_y \cdot [t_y - (t_d + t_n)]\}$	
$LENI = 7,32$ [kWh/m²·rok]	
$P_j = 4,23$ W/m ²	Moc jednostkowa opraw oświetlenia podstawowego w budynku
$P_i = 11096$ W	Moc instalowana oświetlenia podstawowego w budynku
$A_f = 2621$ 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
$\Delta EP_L = 21,96$ [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]	37 225,00	11 096,00	26 129,00	70,19%	-
Zużycie energii całkowite/rok [kWh/rok]	72 004,00	19 193,80	52 810,20	73,34%	22 233,09 zł

Jak wynika z tabeli 5.1 wymiana opraw oświetleniowych oraz zastosowanie lokalnego sterowania oświetleniem zapewnia oszczędności energii elektrycznej w wysokości 52 810,2 kWh w stosunku rocznym co stanowi 73,34% zużywanej energii elektrycznej na potrzeby istniejącego oświetlenia. Wymiana opraw oświetleniowych zmniejszy o 22 233,09 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	██████	87	330,00	28 710,00
3	██████ LED 36W	██████	4	232,00	928,00
4	██████ LED 3x13,5W	██████	144	440,00	63 360,00
5	██████ LED 18W	██████	2	258,00	516,00
6	██████ LED 16W	██████	25	191,00	4 775,00
7	██████ LED 112W Z SIATKĄ IK10	██████	12	1 468,00	17 616,00
8	██████ LED 44W	██████	3	372,00	1 116,00
9	Czujnik ██████	██████	62	35,00	2 170,00
10	KOSZT ROBOCIZNY I OKABLOWANIA		281	180,00	50 580,00
			RAZEM		170 735,00

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	170 735,00	52 810,20	0,421	22 233,09	7,68

Czas zwrotu inwestycji 7,68 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 7,68 roku, a roczny rachunek za energię elektryczną zmniejszy się o 22 233 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. 866 źródeł światła. W przypadku jednorazowej wymiany źródeł światła i założeniu że koszt pojedynczej świetlówki wynosi ok. 10 zł, to koszt wymiany źródeł światła wyniósłby 8 660 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 wartość wskaźnika ΔEP_L zaproponowanego systemu oświetlenia wynosi 21,96 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