PREMIUM LIGHT PRO

Oświetlenie wewnętrzne w sektorze publicznym i prywatnym

Poradnik

H2020-EE-2014-2015 / H2020-EE-2015-3-Market Uptake
Umowa finansowania nr 695931 Premium Light-Pro

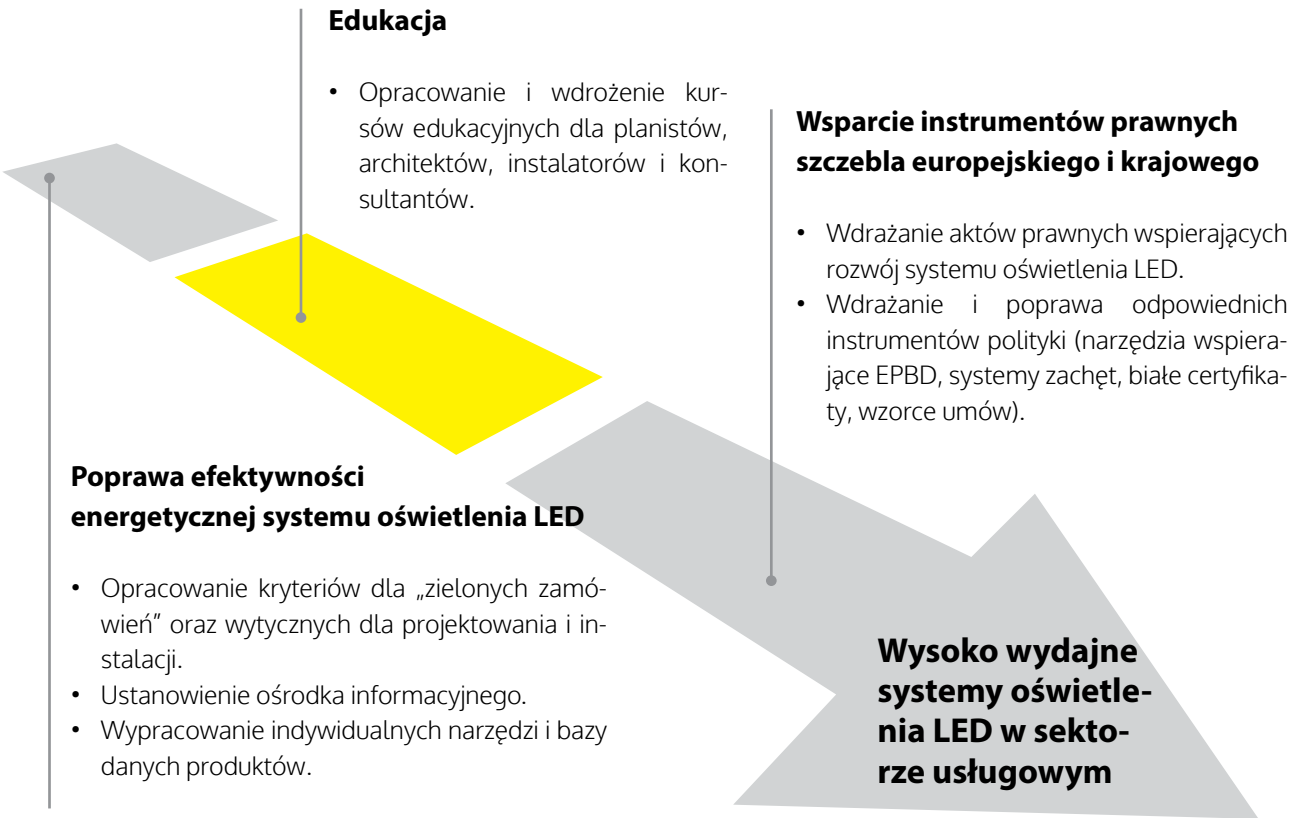
O projekcie PremiumLight-Pro

Unijny projekt PremiumLight-Pro, realizowany w ramach programu Horizon 2020, ukierunkowany jest na wspieranie najlepszych rozwiązań w zakresie poprawy efektywności energetycznej oświetlenia LED (zarówno wewnętrznego, jak i zewnętrznego) w sektorze prywatnym i publicznym.
Zadaniem projektu jest dostarczenie narzędzi nakierowanych na efektywne wdrażanie energooszczędnych systemów oświetleniowych nowej generacji. Działania realizowane w ramach projektu to m.in.:

- Opracowanie kryteriów dla „zielonych zamówień" oraz wytycznych dla projektowania instalacji
- Opracowanie poradników dla oświetlenia wewnętrznego i zewnętrznego
- Ustanowienie ośrodka informacyjnego
- Określenie i spopularyzowanie najlepszych przykładów zrealizowanych projektów oświetleniowych
- Wypracowanie indywidualnych narzędzi i bazy danych produktów
- Opracowanie i wdrażanie kursów edukacyjnych dla projektantów, architektów, instalatorów i konsultantów.

Projekt ma na celu wspieranie rozwoju energooszczędnego oświetlenia w kontekście polityki na szczeblu unijnym, w tym we wdrażaniu nowych rozwiązań w zakresie ekoprojektu i etykietowania, dyrektywy EPBD i innych instrumentów. Szczegółowe informacje znajdują się na portalu www.premiumlightpro.eu (strona unijna) oraz www.efektywneoswietlenie.pl (strona polska).

Zadania realizowane w ramach projektu PremiumLight-Pro



Istnieje duże prawdopodobieństwo uzyskania znacznych oszczędności energii dzięki wdrożeniu odpowiedniej polityki umożliwiającej wejście na rynek wysoko wydajnych systemów oświetlenia LED.

Spis treści

O projekcie PremiumLight-Pro **1**
Spis treści **3**
Wykaz skrótów **4**

1. Wprowadzenie **5**
1.1 Korzyści oświetlenia LED **5**
1.2 Potrzeba opracowania przewodnika **5**
1.3 Jak korzystać z poradnika **6**

2. Projektowanie oświetlenia **7**
2.1 Wprowadzenie **7**
2.2 Reakcja oka na światło **7**
2.3 Światło dzienne **8**
2.4 Rodzaje oświetlenia **9**
2.5 Oświetlenie miejsc pracy i jego zastosowania **9**
2.6 Równomierność światła **10**
2.7 Kontrast luminacji **11**
2.8 Olśnienie i fotobiologiczne bezpieczeństwo **11**
2.9 Temperatury barwowe i ich tolerancja **12**
2.10 Oddawanie barw **13**
2.11 Trwałość **13**
2.12 Temperatura otoczenia **13**
2.13 Konserwacja **14**
2.14 Bezpieczeństwo **15**

3. Efektywność energetyczna i koszty w okresie życia **16**
3.1 System oświetlenia - podejście całościowe **16**
3.2 Modernizacja oświetlenia z lampami fluorescencyjnymi **17**
3.3 Wybór opraw LED **17**
3.4 Koszt w cyklu życia (LCC) i okres zwrotu nakładów **18**

4. Sterowanie i regulacja oświetleniem 20
4.1 Wybór strategii regulacji i sterowania **20**
4.2 Wykorzystanie światła dziennego **21**
4.3 Sterowanie ręczne **22**
4.4 Sterowanie automatyczne **23**
4.5 Wyłączniki czasowe **23**
4.6 Sterownik sprzężony z czujnikiem obecności **24**
4.7 Czujniki światła dziennego **25**
4.8 Kompatybilność sterowników z systemami LED **25**
4.9 Inteligentne oświetlenie **26**
4.10 Naturalny cykl oświetlenia **26**

5. Kryteria zamówień publicznych 28
5.1 Zapotrzebowanie na moc i zużycie energii w nowych budynkach **28**
5.2 Efektywność lamp i źródeł światła **29**
5.3 Zużycie energii w trybie gotowości **29**
5.4 Temperatura barwowa światła, zakres i jej utrzymanie **30**
5.5 Oddawanie barw **30**
5.6 Nominalna trwałość **30**
5.7 Współczynnik mocy i zakłócenia harmoniczne **31**
5.8 Kompatybilność ściemniaczy i transformatorów **31**
5.9 Temperatura otoczenia i rodzaj sterownika **31**
5.10 Migotanie **32**
5.11 Olśnienia i świetlne bezpieczeństwo biologiczne **32**
5.12 Regulacja oświetlenia **32**
5.13 Utrzymanie i konserwacja **33**
5.14 Koszty w cyklu życia (LCC) **33**
5.15 Doświadczenie i obowiązki kontrahenta **33**
5.16 Wstępna kwalifikacja **34**
5.17 Ocena ofert **34**

6. Najlepsze praktyki 36
6.1 Budynki biurowe **37**
6.2 Szkoły **42**
6.3 Muzea i sale wystaw **45**
6.4 Handel detaliczny **47**
6.5 Służba zdrowia **50**

Terminologia zastosowana w poradniku **54**

Źródła **58**

Wykaz skrótów

ANSI	Instytucja ustalająca normy techniczne obowiązujące w USA (American National Standards Institute)
BRE	Building Research Establishment
CCT	Skorelowana temperatura barwowa (Correlated Colour Temperature)
CEN	Europejski Komitet Normalizacyjny
CIE	Commission Internationale de l'Éclairage (Illumination)
Cd	Kandela, jednostka światłości źródła światła w układzie SI
CFL	Świetlówka kompaktowa (Compact Fluorescent Lamps)
CRI	Wskaźnik oddawania barw (Colour Rendering Index)
DALI	Protokół umożliwiający komunikację między oprawami oświetleniowymi a systemem sterującym (Digital Addressable Lighting Interface control protocol)
DSE	Urządzenia wyposażone w monitory ekranowe (Display Screen Equipment)
Duv	Parametr określający różnicę pomiędzy chromatycznością źródła światła a chromatycznością ciała doskonale czarnego
EC	Komisja Europejska (European Commission)
ECEEE	Europejska Rada ds. Gospodarki Efektywnej Energetycznie (European Council for an Energy Efficient Economy)
EPBD	Dyrektywa w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (Energy Performance of Buildings Directive)
ESCO	Firma usług energetycznych (Energy Service Company)
GLS	Standardowe żarowe źródła światła (General Lighting Service)
HCL	Oświetlanie uwzględniające dobowy rytm aktywności człowieka (Human Centric Lighting)
IEA SSL	Międzynarodowa Agencja Energetyczna Oświetlenie Półprzewodnikowe (International Energy Agency 4E Solid State Lighting Annex)
IEC	Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna (International Electrotechnical Commission)
IET	Instytut Inżynierii i Technologii (Institution of Engineering and Technology)
K	Kelvin, jednostka temperatury barwowej światła
LCC	Koszt w cyklu życia (Life Cycle Cost)
LED	Dioda elektroluminescencyjna (Light Emitting Diode)
LEF	Współczynnik efektywności oprawy (Luminaire Efficiency Factor)
LFL	Fluorescencyjna świetlówka liniowa (Linear Fluorescent Lamps)
LiFi	Bezprzewodowa technologia transmisji danych wykorzystująca promieniowanie elektromagnetyczne - światło widzialne
LLMF	Współczynnik zachowania strumienia świetlnego (Lamp Lumen Maintenance Factor)
LMF	Współczynnik utrzymania (Luminaire Maintenance Factor)
LOR	Sprawność eksploatacyjna (Light Output Ratio)
LSF	Współczynnik trwałości lampy
lm	Lumen, jednostka miary strumienia świetlnego w układzie SI
lux	Jednostka natężenia oświetlenia w układzie SI; 1 lux = 1 lm/m^2.
PIR	Czujnik obecności reagujący na ruch ciała emitującego promieniowanie podczerwone (Passive InfraRed)
Ra	Wskaźnik oddawania barw (Colour rendering index)
RGB	Czerwony Zielony Niebieski, model barwny połączenia kolorów w źródłach LED (Red Green Blue)
t_a	Nominalna temperatura otoczenia = najwyższa utrzymująca się temperatura dla której zachowane są normalne parametry pracy
t_q	Temperatura graniczna jakościowa = najwyższa nominalna temperatura otoczenia dopuszczalna dla zachowania określonego poziomu efektywności
TCO	Całkowity koszt
UGR	Ujednolicony wskaźnik olśnienia
W	Watt = 1 J/s (jednostka mocy)

1. Wprowadzenie

1.1 Korzyści oświetlenia LED

Oświetlenie LED daje szerokie możliwości uzyskania systemów oświetleniowych o wysokiej efektywności energetycznej i jakości, zarówno w prywatnym, jak i publicznym sektorze usług. Technologia LED znacząco różni się od pozostałych technologii oświetleniowych i niesie ze sobą duże możliwości innowacji. Dzięki niej można uzyskać lepsze warunki pracy i wyższe standardy ogólne, a wszystko to poprzez optymalizację natężenia oświetlenia, elastyczność regulacji oświetlenia, oświetlanie w miejscach wymagających zmiany widma spektralnego i temperatury barwowej, dostosowanie oświetlenia zewnętrznego do dobowych zmian oświetlenia naturalnego, oświetlenie inteligentne oraz lepsze wykorzystanie światła dziennego..

Skuteczność świetlna dobrych produktów LED wynosi ponad 100 lm/W i wykazuje tendencję wzrostową z roku na rok. Unijne regulacje dotyczące ekoprojektowania (244/2009, 245/2009 oraz 1194/2012) obejmują technologię LED, jednakże powstały one jeszcze zanim osiągnęła ona obecny poziom rozwoju technicznego. Krajowe opcje dyrektywy EPBD nie zapewniają kompletnego wsparcie dla projektów efektywnych energetycznie systemów oświetleniowych w budynkach.

Znaczna część wewnętrznych systemów oświetleniowych w budynkach prywatnych i publicznych bazuje na nieefektywnych i przestarzałych technologiach, takich jak świetlówki (lampy fluorescencyjne) T8 mające balast elektromagnetyczny oraz lampy halogenowe. Te techniki oświetleniowe można z korzyścią zastąpić systemami LED, wyposażonymi w układy regulacyjne. Coraz częściej również lampy typu T5 można korzystnie zastępować źródłami LED.

Na poziomie krajowym, wdrożono dobre inicjatywy pilotażowe z zastosowaniem efektywnych lamp LED w sektorze usługowym, ale równocześnie wielu uczestników rynku, w wyniku braku koniecznych informacji i kryteriów wyboru właściwego rozwiązania, dokonało wyboru systemów niezoptymalizowanych.

1.2 Potrzeba opracowania przewodnika

Zainteresowane strony rynku sektora usług, zarówno prywatnego, jak i publicznego, oczekują opracowania wytycznych, które pomogą im w tworzeniu zamówień w oparciu o odpowiednie kryteria przetargowe, innowacyjne rozwiązania oraz pomogą wybierać wysokiej jakości, efektywne systemy oświetleniowe LED.

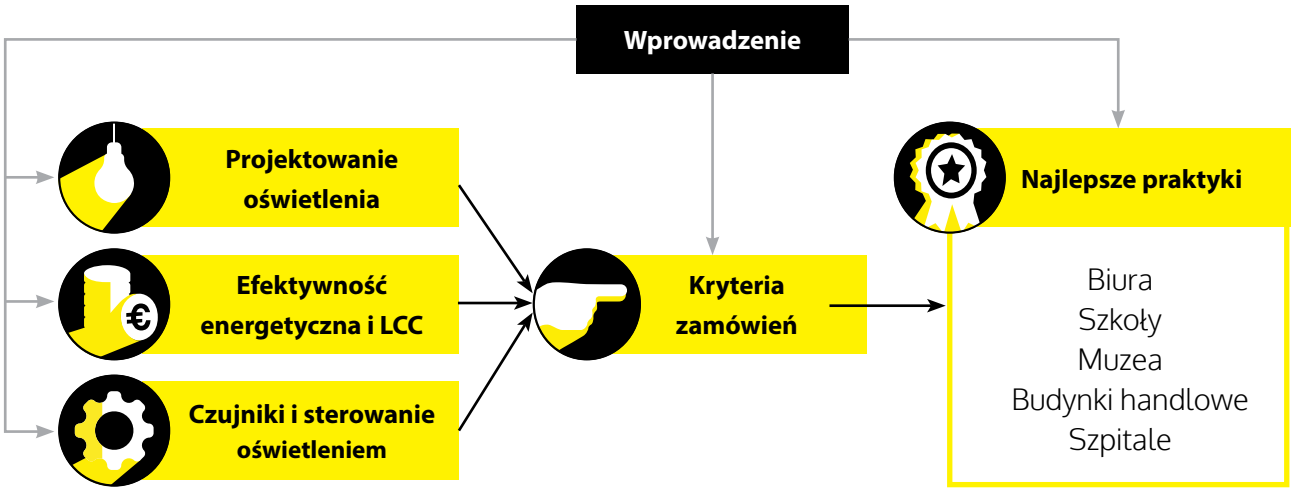
Rozwój technologii oświetleniowej LED następuje bardzo szybko. W efekcie, co pół roku, nowe i lepsze produkty pojawiają się na rynku. Międzynarodowe standardy dotyczące oświetlenia również podnoszą się bardzo szybko. Poradniki oraz wytyczne dla zamówień publicznych, muszą uwzględniać ten dynamiczny postęp techniczny, a zatem muszą zapewniać bieżące aktualizacje techniczne, gdyż realizacja projektów oświetleniowych ma charakter długoterminowy.

Wytyczne powinny koncentrować się na głównych obszarach zastosowań w obrębie sektora usług i powinny dotyczyć takich obiektów, jak:

- Biura
- Szkoły
- Muzea i galerie
- Budynki handlowe
- Szpitale.

1.3 Jak korzystać z poradnika

Poradnik ma strukturę przedstawioną na poniższym schemacie:



Rysunek 1 *Kryteria zamówień publicznych jako rdzeń poradnika*

Po zapoznaniu się z wprowadzeniem o ogólnych korzyściach wynikających z zastosowania oświetlenia LED, zainteresowani mogą skorzystać z poradnika na rozmaite sposoby:

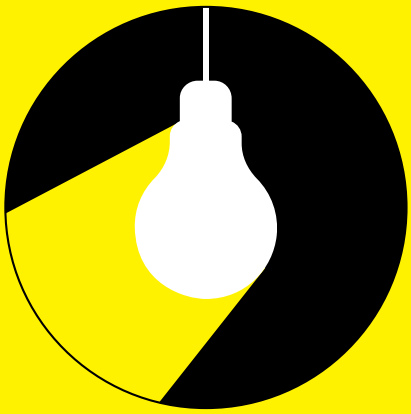
1 **Osoby opracowujące zamówienia publiczne i decydenci** mogą przejść bezpośrednio do rozdziału 5. **Kryteria zamówień publicznych** (przetargi). Przy okazji można zapoznać się z podstawowymi informacjami, w następującym zakresie:
   - **a** Projektowanie oświetlenia (jakość oświetlenia)
   - **b** Efektywność energetyczna i koszty w okresie życia (oszczędności, nakłady inwestycyjne, porównanie rozwiązań technicznych)
   - **c** Sterowanie i regulacja oświetleniem (regulatory, oświetlenie inteligentne, oświetlenie punktowe dostosowane do potrzeb użytkownika)
   - **d** Najlepsze praktyki (dla różnego rodzaju budynków i pomieszczeń ujętych w zamówieniach publicznych).

2 **Instalatorzy** znajdą w rozdziale 6. **Najlepsze praktyki praktyczne** wskazówki oraz kryteria jakościowe. Przydatny jest też rozdział 5. **Kryteria zamówień publicznych**.

3 **Doradcy energetyczni** oraz inżynierowie oświetleniowi z firm ESCO mogą zasięgnąć informacji w rozdziale 3. **Efektywność energetyczna i koszty w okresie życia** oraz w rozdziale 6. **Najlepsze praktyki**.

4 **Planiści, architekci i projektanci wnętrz oraz konsultanci** konsultanci mogą korzystać z różnych części poradnika, w zależności od bieżącego zapotrzebowania na informacje.

2. Projektowanie oświetlenia



2.1 Wprowadzenie

Projekt oświetlenia ma przede wszystkim zapewnić korzystne warunki świetlne dla użytkowników budynku. Celem jest zapewnienie "właściwego światła we właściwym czasie i we właściwym miejscu". Ma to na celu zagwarantowanie:

- Skutecznego działania oświetlenia tak, aby wykonywanie zadań było możliwe również w trudnych warunkach i w długim okresie czasu,
- Komfortu wizualnego, który zapewnia dobre samopoczucie i przyczynia się do lepszej wydajności pracy.

Efekt wizualny dla podkreślenia przedmiotów w pomieszczeniu zależy przede wszystkim od:

- **Natężenia oświetlenia**, które jest miarą ilości światła padającego na powierzchnię płaską. Jednostką wielkości natężenia oświetlenia jest luks (lx),
- **Luminacji**, która jest miarą ilości światła padającego w danym kierunku. Jednostką wielkości luminacji jest kandela na metr kwadratowy (cd/m^2),
- **Rodzaju obiektu**, jeśli obiekt ma trójwymiarowość i / lub jest kolorowy.

Istnieje wiele innych czynników decydujących o dobrej widoczności i oświetleniu. Są to:

- Dostosowanie do właściwości dynamicznej adaptacji oka
- Dostępność światła dziennego
- Rodzaj oświetlenia
- Rodzaj powierzchni oraz kształt obiektów
- Zapotrzebowanie na oświetlenie ogólne i jednorodność oświetlenia
- Jasność względna obiektu i jego otoczenia (kontrast)
- Kierunek oświetlenia
- Korzystne oświetlenie przestrzeni wewnętrznych budynku
- Zmienność oświetlenia (poziomy natężenia i barwy)
- Oddawanie barw światła i ich zmienianie
- Olśnienie i migotanie światła
- Zapewnienie bezpieczeństwa.

2.2 Reakcja oka na światło

Rozprowadzenie światła w polu widzenia uruchamia mechanizmy adaptacyjne oka, tworząc obraz na siatkówce. Prawidłowo zrównoważone oświetlenie adaptacyjne wymagane jest w celu polepszenia:

1 **Ostrości widzenia**.

2 **Wrażliwości na kontrast** (pomijanie małych, względnych różnic w oświetleniu).

3 **Efektywności działania optyki oka** (akomodacja, zbieżność, odruch źrenicowy, ruchy gałki ocznej itd).

Należy unikać sytuacji, w których dystrybucja światła ma następujące cechy:

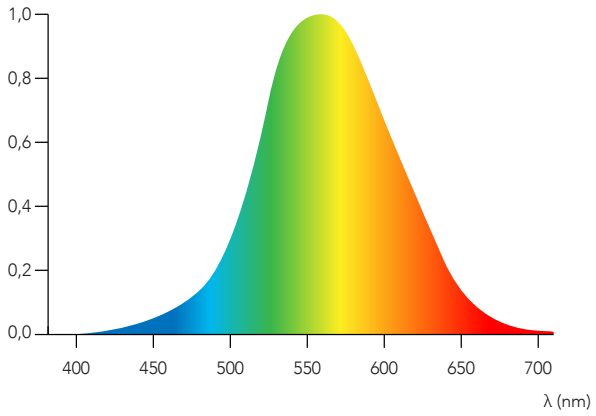
- Zbyt jasne oświetlenie, dające efekt olśnienia,
- Zbyt duży kontrast światła, powodujący zmęczenie wzroku z powodu ciągłej akomodacji oka,
- Zbyt słabe oświetlenie i / lub mały kontrast skutkujące monotonią środowiska pracy i negatywnym wpływem na organizm.

Prawidłowo zrównoważony rozkład oświetlenia wymaga przeprowadzenia oceny rozwiązań oświetlenia na wszystkich powierzchniach (determinowanych przez ich refleksyjność i natężenie oświetlenia). **Warunki oświetleniowe komfortowe dla oka ludzkiego uzyskuje się dzięki jasnym powierzchniom wewnętrznym**, szczególnie dotyczy to ścian i sufitu, przy równoczesnym wyborze dla nich właściwej refleksyjności i natężenia oświetlenia.

Natężenie oświetlenia i jego rozkład (dystrybucja) na zadanej powierzchni, a także na powierzchniach otaczających, ma duży wpływ na to, jak szybko, jak bezpiecznie i na ile komfortowo, dana osoba przyswaja i realizuje zadanie wymagające użycia wzroku. Norma PN-EN 12464-1 obejmuje wartości natężenia oświetlenia, które zapewniają komfort dla wzroku i spełniają warunki jego prawidłowego funkcjonowania (p. część 2.5).

Dobrze zaprojektowane oświetlenie uwzględnia również wiek użytkowników obiektu. Wraz z wiekiem, soczewka oka traci swoją elastyczność, co skutkuje zmniejszeniem się zdolności akomodacyjnej oka i wielu ludzi zaczyna używać okularów korekcyjnych do czytania. Z biegiem lat, w ciele szklistym oka gromadzą się zanieczyszczenia w postaci białek i innych substancji, co powoduje rozproszenie promieni świetlnych wpadających do oka, na skutek czego oko staje się bardziej wrażliwe na odbłyski światła (olśnienia). W miarę starzenia, mięśnie kontrolujące źrenicę słabną, zarazem słabnie reakcja na światło, co sprawia, że źrenica staje się nieco węższa i zmniejsza się jej reakcja na zmiany w oświetleniu zewnętrznym. W wyniku zmniejszonej transmisji światła przez soczewkę oka, rogówkę i ciało szkliste, dla zapewnienia sobie komfortu czytania, po 60-tce potrzebujemy wokół siebie trzy razy więcej światła w otoczeniu niż w wieku lat 20-tu [17]. Należy zatem uwzględnić średni wiek użytkowników pomieszczeń.

Równie ważną funkcją wzroku jest percepcja barw. Różne barwy nie są widoczne jednakowo. Dla ludzkiego oka niektóre kolory mogą być bardziej widoczne od pozostałych. Wrażliwość oka ludzkiego osiąga maksimum dla barw w zakresie widmowym żółć-zieleń Ważny jest również kontrast pomiędzy poszczególnymi barwami.



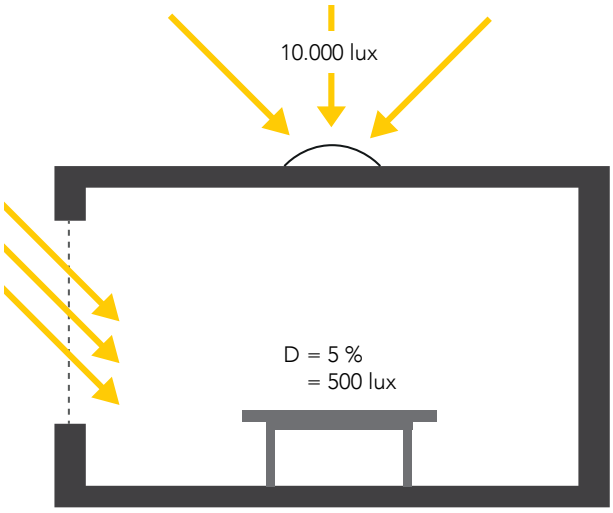
Rysunek 2 *Względna czułość spektralna oka ludzkiego na warunki fotopowe, tzw. krzywa V(λ)*

2.3 Światło dzienne

Przez tysiące lat nasz wzrok ewoluował w obecności światła dziennego, jako pierwotnego źródła światła. W ciągu dnia i roku, ruch Ziemi wokół Słońca powoduje ogromne zmiany oświetlenia światłem dziennym w zakresie jasności, kierunku, rozkładu widmowego i barwy. Nasz wzrok ma wyjątkową zdolność dostosowania się do wahań jasności od kilku luksów do 100 000 luksów.

Oświetlenie dzienne powinno być wykorzystywane jak najdłużej i w sposób efektywny. Efektywne sztuczne oświetlenie musi być zaprojektowane i regulowane w zależności od dostępności światła dziennego. Minimalne wymogi dla sztucznego oświetlenia wewnętrznego powinny uwzględniać zarówno warunki dzienne, jak i nocne. Ilość światła dziennego wpadającego do pomieszczenia zależy od ilości światła docierającego ze Słońca, światła odbijającego się od otaczających budynków, zewnętrznych ekranów świetlnych, osłon przeciwsłonecznych a także od przejrzystości okien.

Współczynnik oświetlenia światłem dziennym „D" zdefiniowany dla zachmurzonego nieba wskazuje, jaka ilość światła dziennego dociera do powierzchni lub wybranego punktu w pomieszczeniu. Przykładowy Rys. 3 pokazuje, że dla współczynnika światła dziennego wynoszącego 5%, osiąga się typową, akceptowalną ilość światła (więcej o rekomendowanych wartościach natężenia oświetlenia w rozdziale 2.5).



Rysunek 3 *Ilustracja i obliczenie współczynnika oświetlenia światłem dziennym [35].*

2.4 Rodzaje oświetlenia

Oświetlenie wewnętrzne dzieli się na trzy główne typy [22]:

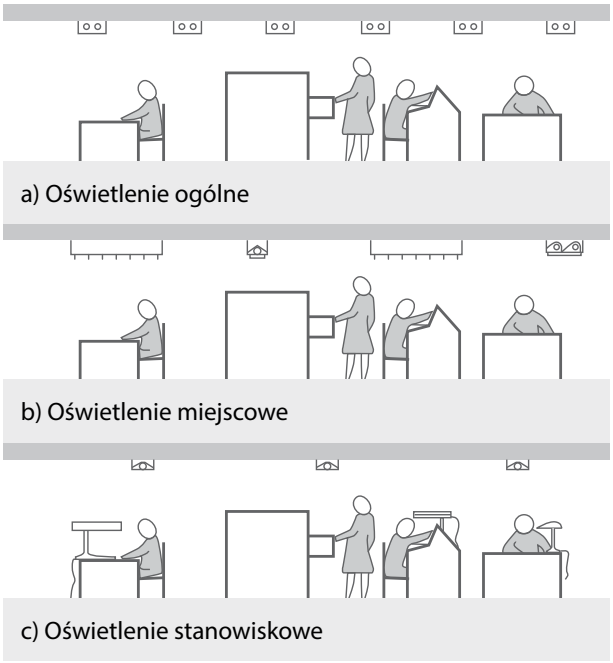
1 **Oświetlenie ogólne** – zazwyczaj obejmuje **oprawy** równomiernie **przymocowane do sufitu** zazwyczaj w połowie odległości od ścian. Oświetlenie ogólne zapewnia dopływ światła w każde miejsce i stanowi uzupełnienie umeblowania. Rozwiązania ogólne mogą być niewystarczające, a ich zużycie energii jest wyższe, niż w przypadku dwóch następnych typów oświetlenia, ponieważ oświetlenie ogólne nie jest dostosowane do różnorodnego zapotrzebowania na światło w pomieszczeniu.

2 **Oświetlenie miejscowe** obejmuje **oprawy przymocowane do sufitu nad każdym stanowiskiem pracy**, co zapewnia dostateczne naświetlenie oraz wystarczająco szeroką wiązkę światła w przejściach. W porównaniu do oświetlenia ogólnego, zużycie energii jest mniejsze, ale ograniczona jest też możliwość zmiany rozmieszczenia stanowisk pracy. Oświetlenie miejscowe obejmuje również oświetlenie dekoracyjne, np. podkreślające szczegóły architektoniczne, umeblowanie i / lub obrazy.

3 **Oświetlenie stanowiskowe** obejmuje **oświetlenie miejscowe stanowisk pracy** oraz oświetlenie ogólne przejść i korytarzy. Korzyści wynikające z takiego rozwiązania są następujące: 1) zachowana pozostaje elastyczność rozmieszczenia miejsc pracy, 2) efektywność energetyczna jest lepsza, niż w przypadku samego tylko oświetlenia ogólnego, 3) pracownicy mają możliwość regulacji oświetlenia. Koszty instalacyjne mogą być wyższe. Oświetlenie stanowiskowe może stanowić np. lampka biurkowa, oprawy wbudowane w meble.

Wiele instalacji oświetleniowych stanowią instalacje oświetlenia ogólnego, które zapewniają elastyczność w sytuowaniu stanowisk pracy, ale zużycie energii jest często wyższe niż w przypadku oświetlenia miejscowego.

Ponadto, badania [26] wykazały, że pod względem wydajności i preferencji pracownika, bardziej efektywne jest oświetlenie charakteryzujące się pewnym stopniem "nie-uniwersalności". Wiszące lampy LED o regulowanym i zazwyczaj mniejszym strumieniu światła można zastosować w celu uzyskania oszczędności energii, ponieważ takie rozwiązanie zmniejsza zapotrzebowanie na oświetlenie ogólne [27].



Rysunek 4 *Rodzaje oświetlenia wewnętrznego [22]: a) ogólne, b) miejscowe c) stanowiskowe.*

2.5 Oświetlenie miejsc pracy i jego zastosowania

Norma **PN-EN12464-1:2011 „Światło i Oświetlenie – Oświetlenie miejsc pracy – Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach"** zawiera **zalecenia** dotyczące rozwiązań oświetlenia dla **większości miejsc pracy w pomieszczeniach, pod względem ilości i jakości oświetlenia, dla osób widzących normalnie**. Wszystkie państwa Unii Europejskiej są członkami CEN i z tego względu powinny stosować się do tych zaleceń.

Norma zawiera wymogi oświetlenia **dla różnych rodzajów i stanowisk wykonywanej pracy, zadanych warunków widzialności wraz z DSE** (z ang. urządzenia wyposażone w monitory ekranowe) **oraz czasem trwania danej aktywności**. Opracowano również zalecenia dotyczące dobrych praktyk oświetlenia, z wyłączeniem zagadnień bezpieczeństwa i zdrowia.

Wyszczególnione średnie natężenia oświetlenia dla poszczególnych rodzajów i stanowisk pracy, mają znaczny wpływ na projektowanie oświetlenia.

Norma wprowadza rozróżnienie pomiędzy miejscem / obszarem pracy, jego otoczeniem bezpośrednim (co najmniej 0,5 metra wokół miejsca pracy) oraz obszarem tła (co najmniej 3 metry na szerokość wokół obszaru otoczenia bezpośredniego). Zalecane proporcje pomiędzy tymi obszarami, w aspekcie natężenia oświetlenia, wynoszą jak 5:3:1.

Tabela 1 *Wyciąg z zaleceń dotyczących warunków oświetlenia wewnętrznego*

Rodzaj powierzchni, zadania i działania	Średnie trwałe natężenie światła lx	Maksymalne olśnienie (UGR_L)	Minimalna jednorodność natężenia światła (U_O)	CRI (Ra)
Biuro: Pisanie, czytanie, przetwarzanie danych	500	19	0.40	80
Biuro: Punkt przyjęć (sekretariat)	300	22	0.60	80
Sprzedaż detaliczna: Obszar sprzedaży	300	22	0.40	80
Obiekt publiczny: Wejścia	100	22	0.40	80
Obiekt publiczny: Korytarze	100	25	0.40	80
Obiekt publiczny: Sale konferencyjne	500	19	0.60	80
Budynki szkolne: Sale lekcyjne	300	19	0.60	80
Budynki szkolne: Edukacja dorosłych	500	19	0.60	80
Budynki szkolne: Rysunek techniczny	750	16	0.70	80
Służba zdrowia: Oświetlenie ogólne na oddziałach	100	19	0.40	80
Służba zdrowia: Badania i leczenie	1000	19	0.70	90
Skróty UGR_L, U_O oraz CRI objaśniono w kolejnych rozdziałach.				

Natężenie oświetlenia określa ilość światła padającego na powierzchnię i jest mierzone w luksach (lx). Norma PN-EN 12464-1 zawiera tabele szczegółowo określające wymagania dla prawie wszystkich rodzajów powierzchni wewnątrz pomieszczeń, zadań i działalności. Niektóre przykłady zaleceń dotyczących warunków oświetlenia wewnętrznego przedstawiono w tabeli 1.

Jeśli miejsce pracy nie zostało ściśle zdefiniowane albo właściciel budynku wymaga odpowiedniej elastyczności, to projektant może wybierać pomiędzy 1) najlepszym natężeniem oświetlenia na całej powierzchni przeznaczonej do wykonywania pracy lub 2) usytuowaniem miejsc pracy wyposażonych w miejscowe oświetlenie zadaniowe i równoczesne podstawowe oświetlenie na pozostałej powierzchni.

2.6 Równomierność światła

Równomierność oświetlenia dotyczy **jednorodnego natężenia światła**, odpowiednio na powierzchni roboczej, podłodze lub ścianach. Równomierne, jednorodne oświetlenie jest szczególnie ważne w przypadku powierzchni stanowiska pracy. Jeśli światło rozchodzi się zbyt nierównomiernie, to oczy pracownika są zmuszone do niezamierzonego dostosowywania się do różnych natężeń światła. Równocześnie oko stara się zachować ostrość widzenia. W efekcie powstaje niecelowe napięcie, które ostatecznie prowadzi do otępiającego zmęczenia umysłu.

Norma PN-EN 12464-1 określa dodatkowe kryterium projektowe mające na celu zapobieganie nadmiernej nierównomierności oświetlenia. W ujęciu czysto matematycznym, nierównomierność oświetlenia jest stosunkiem minimalnego natężenia oświetlenia na danej powierzchni do wartości średniej na tej powierzchni. Minimalną nierównomierność oświetlenia oznacza się przez UO. Jeśli wymóg nierównomierności UO określono jako 0.6, a wymagane natężenie oświetlenia tego miejsca ma wynosić 300 luksów, to natężenie oświetlenia w każdym punkcie tej powierzchni musi wynosić co najmniej 180 luksów.

Rozproszenie światła dziennego w pomieszczeniu posiadającym okna jest zazwyczaj nierównomierne, co może być odbierane jako stymulujące i przyjemne, dopóki nie obniża komfortu i czytelności tablicy lub wyświetlacza. Jeśli nierównomierność jest nadmierna, to dla jej zmniejszenia można zastosować jakąś formę osłony przeciwsłonecznej.

Główny kierunek padania światła decyduje o możliwości widzenia głębi, kształtu i tekstury obiektu (lub osoby). Wpływa również na naszą zdolność oceny odległości. **Całkowita kierunkowość** padającego światła **jest bardzo ważna wtedy, kiedy należy rozpoznać trójwymiarowość obserwowanego obiektu**. Gradacja oświetlenia na zakrzywionych powierzchniach i obecność cieni na ich granicach, potwierdza to, że obiekt jest ciałem stałym.

Oświetlenie pochodzące ze „wszystkich" kierunków, zwane również rozproszonym, nie wywołuje cieni i powoduje, że wszystkie obiekty wyglądają płasko. Oświetlenie bezpośrednie powoduje, że obiekty rzucają cień, a widzialność ich szczegółów może zanikać. Generalnie, najlepsze oświetlenie uzyskuje się poprzez **zmieszanie oświetlenia rozproszonego i bezpośredniego**.

Projektanci i inne zainteresowane osoby mogą wybierać pomiędzy rozmaitymi typami reflektorów stosowanych dla oświetlania technologią LED, stosując następujące zmienne: kształt reflektora, jego barwa, lokalizacja lampy. Wszystkie te czynniki wpływają na równomierność oświetlenia. Także soczewki (klosze) mogą różnicować osiągane efekty. Przykładowo soczewki „mrożone/ mleczne" zapewniają bardziej równomierne światło, ale zmniejszają jego jasność. Ważne jest wyważenie wszystkich tych czynników przed przystąpieniem do wyboru rodzaju oświetlenia.

2.7 Kontrast luminacji

Kontrast luminacji jest określany jako różnica barwy i jasności obiektu oraz tła za tym obiektem, w tym samym polu widzenia. Projekt oświetlenia, który zakłada rozświetlenie pewnych powierzchni przy zacienieniu innych, można rozumieć jako nową interpretację, łatwiejszą do przyswojenia.

Wielu specjalistów od oświetlenia zaleca, aby stosunek oświetlenia rozproszonego i bezpośredniego wynosił 5:1 lub mniej.

Na rozkład luminacji w pomieszczeniu składa się rozmieszczenie okien, źródeł światła i jego nakierowanie, a także właściwości refleksyjne powierzchni pomieszczenia. Dobrze zrównoważona luminacja wspomaga ostrość widzenia i wrażliwość na efekty kontrastu.

Zazwyczaj **prawidłowy dobór kontrastu i barwy daje lepsze efekty, niż bardzo silna luminacja**, gdyż zmysł wzroku u człowieka jest bardziej wrażliwy na kontrast niż na jasność bezwzględną. Ludzie mają zdolność percepcji otoczenia w podobny sposób, niezależnie od bardzo dużych zmian oświetlenia, jakie występują w ciągu doby lub w zależności od miejsca. Źródła światła można nakierować wprost na miejsce pracy, na prowadzącego prelekcję, na znak lub inny ważny obiekt, bez zwiększania siły oświetlenia ogólnego. **Dobre ustawienie kontrastu pozwala wzmocnić wrażenia wzrokowe, zapobiega olśnieniu i odblaskom oraz pozwala na zmniejszenie zużycia energii**.

Oświetlenie może również powodować interferencję / odbicia światła na nowoczesnych wyświetlaczach komputerowych. Z tego względu norma PN-EN 12464-1 definiuje średnie granice parametrów dla źródeł światła, aby zapobiec odbiciom od płaskich wyświetlaczy. Te wartości graniczne ustalono dla górnego kąta padania światła wynoszącego 65° lub więcej i wynoszą one zazwyczaj <1000 lub 1500 cd/m^2. W skrajnych warunkach pracy wyświetlacza komputerowego, ograniczenia rozpoczynają się od 55°.

2.8 Olśnienie i fotobiologiczne bezpieczeństwo

Zjawisko olśnienia (oślepiającym blaskiem) następuje w wyniku bardzo silnego oświetlenia lub dużego kontrastu luminescencji w wyniku braku zasłon w oknie lub w wyniku odbitego lub bezpośredniego spojrzenia na źródło światła LED. Zwykle oko dostosowuje się do każdej sytuacji związanej z oświetleniem, ale jeśli światło pochodzące z danego obiektu lub tła jest zbyt jasne, lub gdy kontrast jest zbyt duży, to wzrok doznaje:

- **Olśnienia uniemożliwiające widzenie (oślepienie):** gdy trudno jest dostrzec dany obiekt, np. gdy oczy dostosowały się do światła sztucznego, a światło słoneczne pada na kartkę białego papieru, uniemożliwiając czytanie.
- **Olśnienia powodującego dyskomfort (olśnienie przykre)** gdy widok jest dyskomfortowy, np. gdy światło 'tnie' prosto w oczy i trzeba je zasłonić. Taki stan może powodować zmęczenie lub ból głowy. Poziom olśnienia określa ujednolicony wskaźnik oceny olśnienia (UGR, Unified Glaring Rate). Graniczne wartości UGR, oznaczane jako UGRL są określane indywidualnie dla rozmaitych odbiorów. Wartości UGRL zawierają się w zakresie od UGRL 10 (niezauważalne) poprzez UGRL 16 (nieprzyjemne, ale nie oślepiające) do UGRL 28 (oślepiające i groźne dla zdrowia). Norma PN-EN 12464-1 zaleca różne wartości graniczne wskaźnika UGR w zależności od rodzaju pomieszczenia (patrz Tabela 1).

W przypadku instalacji wewnętrznych oślepienie występuje rzadko, natomiast olśnienie dyskomfortowe może występować często. Narząd wzroku ustala wzorzec ruchu w sposób optymalizujący widzenie, a odblask olśnienia może spowodować, że dana osoba może przyjąć niewłaściwą ergonomicznie pozycję siedzenia lub pracy.

W przypadku małych źródeł światła LED o odpowiednio dużej jasności, zaleca się, aby pamiętać o możliwym dyskomforcie olśnienia, pogarszającym widzenie, albo, co gorsza, mogącym spowodować uszkodzenie wzroku w przypadku zbyt długiego patrzenia bezpośrednio w źródło LED.

Efektu olśnienia można uniknąć, poprzez:

- Łagodną zmianę / kontrastowanie świateł
- Kontrolowanie strumienia światła wpadającego przez okna (np. za pomocą żaluzji lub cienkich firan
- Wyposażenie budynku w osłony przeciwsłoneczne w kierunku 'wysokiego' słońca
- Ręczne ustawianie zasłon okiennych (np. gdy ktoś chce widzieć światło słoneczne w dni zimowe)
- Zainstalowanie w oknach szyb refleksyjnych lub absorpcyjnych. Należy unikać szkła barwionego, gdyż zmniejsza ilość światła i osłabia jasne barwy w pochmurne dni
- Jasne sufity, panele i ściany
- Zastosowanie łagodnego, rozproszonego światła w pomieszczeniach z wyświetlaczami ekranowymi oraz dodatkowego światła nakierowanego na miejsce pracy
- Zastosowanie większych źródeł światła o mniejszej koncentracji jego wiązki
- Częściowe zastosowanie światła rozproszonego
- Zastosowanie rozpraszaczy na źródłach światła
- Zasłonięcie lamp w taki sposób, aby w normalnej sytuacji światło nie padało bezpośrednio w oczy
- W przypadku uciążliwości olśnienia od strony lampy można umieścić też niewielkie zwierciadło, a samą lampę przesunąć poza pole widzenia.

Pozostaje jeszcze kwestia **bezpieczeństwa optycznego. Promieniowanie** (widmo) niebieskie penetruje rogówkę oka, skąd jest kierowane na siatkówkę przez soczewkę. To zjawisko zwane jest ryzykiem światła niebieskiego. Zgodnie z obecnie obowiązującymi standardami międzynarodowymi, nie ma źródeł światła uważanych za niebezpieczne dla siatkówki oka u zdrowych, dorosłych osób w związku z emisją światła białego ze źródeł światła ogólnego stosowania. Jednakże lampy specjalistyczne lub źródła światła barwnego należy rozpatrywać indywidualnie, a źródła światła stosowane w skupiskach wrażliwych użytkowników, takich jak małe dzieci lub dorośli cierpiący na schorzenia narządu wzroku, wymagają odrębnej oceny.

Normy IEC 62471 / CIE S009 oraz IEC / TR 62778: 2014: Zastosowanie IEC 62471 określają cztery grupy ryzyka RG [13]. W celu zapewnienia bezpieczeństwa fotobiologicznego, zaleca się, aby lampy LED i oprawy znalazły się w grupie **RG0** lub **RG1 [1]**.

2.9 Temperatury barwowe i ich tolerancja

Systemy oświetleniowe LED posiadają różne wartości CCT (skorelowanych temperatur barwowych):

- Ciepłe, prawie biało-żółte (2700 - 3000 K), które wytwarzają intymny klimat odpowiedni dla pomieszczeń mieszkalnych, restauracji i podobnych miejsc.
- Białe, neutralne (około 4000 K) odpowiednie dla pomieszczeń biurowych, gdyż poprawiają produktywność pracowników.
- Chłodne, niebieskawo-białe (około 6500 K i więcej), które w dolnym zakresie widma można łączyć z oświetleniem dziennym.

Wybór odpowiedniej barwy oświetlenia zależy głównie od rodzaju pomieszczenia. Jak wykazano w badaniach, wysoka temperatura barwowa (CCT) jest korzystna przy dużych natężeniach światła. Wysokie CCT preferowane jest w cieplejszych strefach klimatycznych, podczas gdy w rejonach o chłodniejszym klimacie oraz w takich, gdzie brakuje światła dziennego, bardziej preferowane są niższe wartości CCT (światło „cieplejsze" wizualnie).

Produkcja elementów LED odbywa się w obrębie pewnej tolerancji parametrów, której efektem jest, między innymi, rozrzut temperatur barwowych. Należy zwrócić uwagę na to, aby zapewnić jak najmniejsze różnice barw, zwłaszcza w miejscach, gdzie poszczególne źródła światła znajdują się blisko siebie i są widoczne równocześnie. Z tego względu źródła LED są poddawane próbom technicznym po wyprodukowaniu, po czym są sortowane według klas tolerancji temperatur barwowych.

Taki sposób doboru barw odpowiada poszczególnym polom na obszarze elipsy MacAdama. Elipsy te określają obszary na diagramie chromatyczności CIE, wskazujące barwy niemożliwe do odróżnienia przez oko ludzkie od barwy znajdującej się w środku elipsy. Kontur elipsy stanowi granicę dostrzeganych przez oko ludzkie różnic chromatyczności. Elipsy MacAdama umożliwiają ukazanie różnic chromatyczności między dwoma źródłami światła, a ich krotności progowe mogą być użyte do ustalenia tolerancji chromatyczności światła lamp [9].

Norma ANSI C78.377: 2015 „Specyfikacje dotyczące chromatyczności półprzewodnikowych produktów oświetleniowych" zaleca wybór **nominalnych jednostek CCT określonych przez kwadraturę chromatyczną i tolerancje Duv** (patrz tabela 2, rozdział 5). Technicznie tolerancja chromatyczności jest odległością chromatyczności światła od ciała doskonale czarnego (stała Plancka) i docelowego CCT. Ta metoda jest zalecana przez IEA 4E SSL [1], jest też wykorzystywana do pomiarów w laboratoriach.

Oświetlenie LED, w połączeniu z regulacją, daje możliwość zmiany luminacji i dostosowania temperatury barwowej, dzięki czemu naśladuje naturalne oświetlenie. Porady dotyczące tego rodzaju oświetlenia przedstawiono w rozdziale 4. Sterowanie i regulacja oświetleniem.

2.10 Oddawanie barw

Oddawanie barw oznacza zdolność źródła światła białego do dokładnego odwzorowania barw obiektu. Właściwość tę opisuje się współczynnikiem oddawania barw (CRI) o wartościach w zakresie od 0 do 100, gdzie wartość 100, jako najlepsza, odpowiada odwzorowaniu barw w świetle dziennym.

Znakomity stopień oddawania barw osiągają źródła światła posiadające CRI powyżej 90. Znajdują one zastosowanie w klinikach, szpitalach, muzeach, teatrach i w niektórych sklepach. Zazwyczaj współczynnik CRI o wartości powyżej 80 uważa się za wystarczający dla dokładnego ukazania barw w większości pomieszczeń.

Norma PN-EN 12464-1 określa warunki minimalne w zakresie oddawania barw dla praktycznie wszystkich rodzajów zadań. Tabela 1 Wyciąg z zaleceń dotyczących warunków oświetlenia wewnętrznego" przedstawia konkretne wartości i informacje na temat zalecanych poziomów współczynnika CRI 80 w prawie wszystkich rodzajach pomieszczeń i zastosowań, za wyjątkiem CRI 90 dla placówek opieki zdrowotnej: diagnostyka i leczenie.

Współczynnik CRI został określony przez CIE, jako średnia dla wskaźników oddawania barw uzyskana dla ośmiu barw testowych o niskim nasyceniu chromatycznym. Niemniej jednak, istnieje 15 wskaźników kolorów. Badania nad źródłami LED wykazały, że specyficzny wskaźnik oddawania barw – R9 (który dotyczy barwy czerwonej) jest bardzo ważny dla oddawania barw przez źródła LED. Źródła LED wysokiej jakości osiągają możliwą do zaakceptowania wartość R9, natomiast źródła LED niższej jakości osiągają najsłabsze wyniki w zakresie wiernego oddawania rzeczywistej barwy czerwonych obiektów. Norma IEA 4E SSL [1] wymaga R9>0.

Ważnym jest, aby pamiętać o tym, że właściwości światła z danego źródła w zakresie oddawania barw mogą się pogorszyć w wyniku zastosowania elementów optycznych, szklenia i na kolorowych powierzchniach.

2.11 Trwałość

Źródła LED wysokiej jakości mogą zachować wydajność świecenia przez dziesiątki tysięcy godzin. Wbudowany sterownik elektroniczny może jednak ulec nagłemu uszkodzeniu, co oznacza, że należy brać pod uwagę trwałość całego urządzenia, a nie tylko źródła. Lampy LED używane w miejscach pracy zawodowej, działają przez znacznie więcej godzin rocznie niż lampy stosowane w domach.

Trwałość lamp LED definiuje się jako czas ich działania, w którym dany odsetek całkowitej liczby lamp (Fx) zapewnia większy niż przyjęty wstępnie udział procentowy nominalnego strumienia światła (Lx) w standardowych warunkach testowych, np. $L_{70}B_{50}$ > 25,000 godzin oznacza, że 50% lamp daje więcej niż 70% nominalnego strumienia światła po okresie użytkowania wynoszącym 25 000 godzin.

Parametr czas życia źródła LED powinien być zbalansowany z jego ceną. Należy pamiętać o tym, że czasami może być korzystniejsza wymiana źródła LED przed upływem nominalnego okresu trwałości na nowe źródła LED o znacznie lepszej skuteczności niż obecnie. Nowe i bardziej energooszczędne produkty w technologii LED pojawiają się na rynku co pół roku.

2.12 Temperatura otoczenia

Efektywność działania źródeł LED zależy od temperatury otoczenia. Nominalna temperatura otoczenia (t_a) jest to najwyższa utrzymująca się temperatura, w której źródło światła może działać zachowując swoje normalne parametry pracy.

Temperatura graniczna jakościowa tq wskazuje najwyższą nominalną temperaturę otoczenia dopuszczalną dla zachowania określonego poziomu efektywności (z uwzględnieniem trwałości i charakterystyki światła).

Dla różnych charakterystyk pracy można zdefiniować różne wartości temperatury t_q.

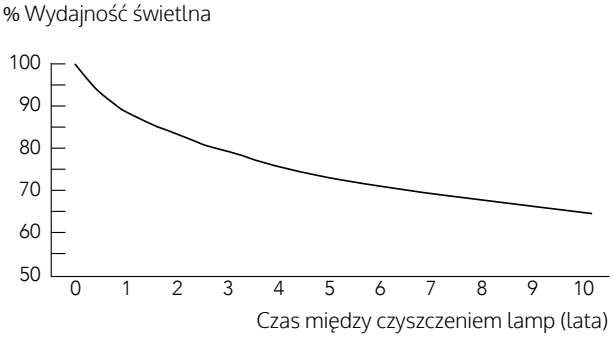
Jeśli t_a = 25°C, to nie są wymagane gwarancje (deklaracje) dla danego źródła, przy każdej innej nominalnej temperaturze otoczenia należy podać jej wartość (taka sama zasada obowiązuje dla wartości t_q) [14].

2.13 Konserwacja

W nowych instalacjach wszystkie powierzchnie lamp są czyste, więc lampy emitują pełny strumień światła, a powierzchnie lampy i pomieszczenia mają optymalne właściwości refleksyjne.

W miarę upływu czasu na lampach i ścianach gromadzą się zanieczyszczenia. Również skuteczność lampy maleje z biegiem czasu – następuje dyfuzja elementów z tworzyw sztucznych oraz odbarwienia pryzmatów i reflektorów. Pogorszenie jakości oświetlenia zależy od stopnia zanieczyszczenia otoczenia oraz od konstrukcji lamp. Na przykład źródła służące do podświetlania obiektów są bardziej podatne na zanieczyszczenia niż lampy skierowane w dół.

W szczególności istotny jest stopień ochrony lamp przed dostępem zanieczyszczeń. Po trzech latach pogorszenie jakości oświetlenia na skutek osiadania zanieczyszczeń może sięgać 10% w przypadku opraw zamkniętych i pracujących w czystych pomieszczeniach, aż do 60% w oprawach otwartych, umieszczonych w zanieczyszczonym środowisku [28].



Rysunek 5 *Przykład oczekiwanych strat światła w wyniku nagromadzenia zanieczyszczeń na zamkniętych oprawach zainstalowanych w czystym środowisku biurowym [23].*

Norma PN-EN 12464-1 przewiduje, że podczas projektowania oświetlenia należy uwzględnić współczynnik konserwacji tak, aby skompensować straty światła. Współczynnik konserwacji ma znaczny wpływ na efektywność energetyczną i zależy od charakterystyki lampy oraz urządzeń sterujących, lampy, środowiska pracy i konserwacji.

Wydajność źródła światła mierzona po upływie zadanego czasu, wyrażona w postaci ułamka wartości dla stanu wyjściowego, gdy lampa jest czysta, nazywa się **współczynnikiem utrzymania źródła (LMF)**.

Względna wydajność świecenia lampy po upływie zadanej liczby godzin działania nazywana jest **współczynnikiem utrzymania strumienia świetlnego lamp (LLMF)**.

Instalacje oświetleniowe projektuje się na podstawie wymaganego poziomu oświetlenia dla konkretnego zastosowania, według obowiązujących norm i zaleceń. Spadek wydajności świecenia, następujący w miarę upływu czasu, jest zwykle zakładany podczas projektowania, aby w efekcie zapewnione było odpowiednie minimum wydajności źródła światła w funkcji czasu. **Nowe źródła światła zwykle mają więc wydajność świecenia wyższą od wymaganej**.

Wiele instalacji oświetleniowych podlega niewystarczającej konserwacji i dlatego w normach zazwyczaj zakłada się zużycie lamp i spadek ich wydajności świetlnej na poziomie 20-30%. Projektanci również interpretują normy z uwzględnieniem tego podejścia.

Na początku cyklu konserwacji, kiedy wydajność świetlna przekracza wymagania, nadmiarowe ilości światła ogranicza się poprzez zastosowanie regulacji, co pozwala również na zaoszczędzenie energii.

Podobnie zastosowanie układów regulacji w systemach oświetleniowych pozwala na utrzymanie stałego strumienia światła poprzez kompensację efektu zabrudzenia lamp i / lub spadek jasności źródeł.

Czyszczenie lamp LED należy przeprowadzać w założonych, regularnych odstępach czasu, zgodnie z wymaganiami producenta. Pomiary oświetlenia należy przeprowadzać łącznie z okresowym czyszczeniem lamp. Bardzo ważne jest prowadzenie konserwacji w sposób odpowiedzialny.

Częstotliwość procesów czyszczenia jest również bezpośrednio podyktowana przez warunki otoczenia i wskaźnik IP (stopień ochrony). Należy zadbać o to, aby nie uszkodzić źródeł światła LED w trakcie czyszczenia.

Kontrahent powinien przedłożyć ofertę obejmującą plan konserwacji, z podaniem odstępów czasowych dla konserwacji i czyszczenia.

2.14 Bezpieczeństwo

Urządzenia oświetleniowe w technologii LED muszą spełniać warunki bezpieczeństwa podczas ich montażu, użytkowania oraz po upływie ich okresu trwałości.

Podstawowy kryterium dla specyfikacji i wyboru urządzeń w technologii LED jest posiadanie przez nie znaku CE.

Obecnie, na terenie UE obowiązują normy bezpieczeństwa IEC oraz wymogi bezpieczeństwa PN-EN 60061, PN-EN 60598, PN-EN 61347, EN 62031, PN-EN 62471, PN-EN 62560 i PN- EN 62663-1. Przepisy te są ujęte w licznych Dyrektywach UE, m.in. w sprawie urządzeń niskonapięciowych i kompatybilności elektromagnetycznej oraz w przepisach „Ecodesign" (ekoprojekt), gdzie warunkiem zapewniającym zgodność jest posiadanie znaku CE przez produkty LED.

Aby skuteczniej zapewnić kompatybilność, przyszłą dostępność i wsparcie dla IET, w Wielkiej Brytanii [9] zaleca się, aby projektanci i instalatorzy przeprowadzili badania swoich systemów dostaw i zatrudniali renomowane firmy, które mogą wykazać się odpowiedzialnym podejściem do kwestii jakości, dostępności, bieżącego utrzymania i gwarancji.

Należy sprawdzać, czy zapewniono spełnienie deklaracji CE i zgodności oraz czy dostarczono wyniki testów dla poszczególnych produktów i typów. Zaleca się, aby żądać i uzyskiwać formalne kopie dokumentów certyfikacyjnych CE dla każdego systemu LED, ponieważ na rynku znajdują się w obrocie liczne podróbki produktów posiadających ten znak.

Dodatkowe zabezpieczenie można również uzyskać przeprowadzając testy w niezależnej instytucji zewnętrznej.

3. Efektywność energetyczna i koszty w okresie życia

Przy projektowaniu systemu oświetlenia, zarówno ważna jest jego jakość, jak najwyższa jego efektywność energetyczna.

W kolejnych podrozdziałach omawiane są następujące zagadnienia:
- System oświetlenia – podejście całościowe
- Wymiana liniowych źródeł fluorescencyjnych
- Wybór źródeł LED
- Kost cyklu życia okres zwrotu nakładów.

3.1 System oświetlenia – podejście całościowe

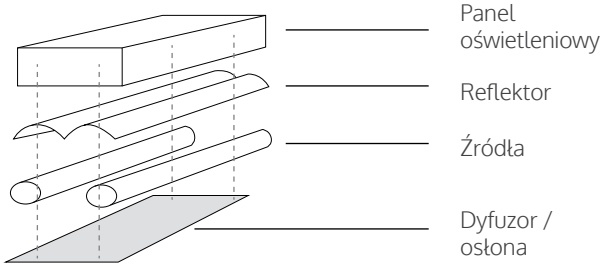
Podejście całościowe do systemu oświetlenia jest tutaj definiowane jako oprawa, źródła światła, balast/zasilacze wraz z opcjonalnymi regulatorami.
Tradycyjne lampy (oprawy) obejmują:

1 **Panel oświetleniowy**, który zawiera wszystkie podzespoły, w razie konieczności również **balast/zasilacze.**

2 **Reflektor**, który skupia światło w żądanym kierunku.

3 **Źródła** i ich odpowiedni uchwyt lub gniazdo.

4 **Osłona/Dyfuzor** (soczewka, klosz, żaluzja itp.) w celu zmniejszenia dyskomfortu związanego z olśnieniem lub często w celu regulacji natężenia światła wyjściowego.



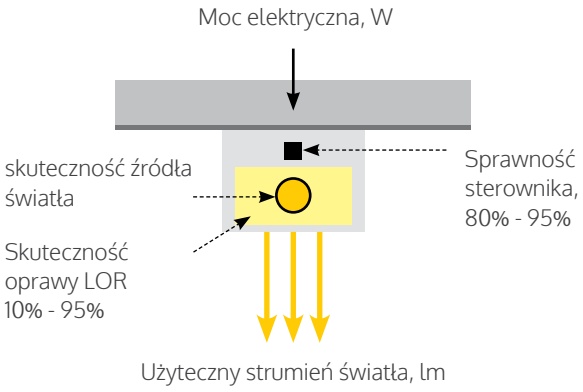
Rysunek 6 *Budowa lampy*

Skuteczność oprawy (lampy) zależy od sprawności eksploatacyjnej LOR[1] (Lumen Output Ratio):

LOR = Suma liczby strumieni emitowanych przez oprawę
= Suma strumieni świetlnych emitowanych przez lampy w określonych warunkach

Skuteczność całościowa systemu oświetlenia określana jest współczynnikiem efektywności oprawy (lampy) LEF (Luminaire Efficiency Factor), czyli:

LEF = skuteczność źródła światła * LOR * sprawność sterownika



Rysunek 7 *Całkowita skuteczność systemu oświetlenia i użyteczny strumień światła*

1 Może być określony jako ULOR (wskaźnik udziału światła wysyłanego ku górze) i DLOR (wskaźnik udziału światła wysyłanego ku dołowi).

W niektórych przypadkach LEF jest nazywany efektywnością strumienia świetlnego [lm/W], η_L

W przypadku **przypadku oświetlenia „zadaniowego"** nie wystarcza uwzględnienie tylko całkowitej (ogólnej) skuteczności systemu oświetlenia. Konieczne jest również **rozważenie rozkładu natężenia światła** w funkcji odległości od źródła, np. nieosłonięte źródło LED świecące we wszystkich kierunkach lub moduł mają współczynnik LOR równy 100%, ale może dostarczać znacznie mniej światła w miejscu przeznaczenia niż dobrze dopasowane źródło w oprawie posiadające LOR równy 80%.

Dla nowych budynków lub nowych instalacji oświetleniowych wymagane są różne wskaźniki efektywności. Zazwyczaj stosuje się:

- **Maksymalną wartość W/m²** dla projektowanych nowych instalacji oświetleniowych zawierających: źródła, balast/zasilacze, regulatory (oświetlenie również musi spełniać wymagania PN-EN 12464-1:2011) [3,6]
- **Maksymalną wartość kWh/m², rok** przy użyciu metodologii i zużycia energii według PN-EN 15193 „Charakterystyka energetyczna budynków – Wymagania energetyczne dotyczące oświetlenia" przy wykorzystaniu wskaźnika LENI (Lighting Energy Numeric Index). Niektóre kraje, takie jak Polska, mają przepisy, które odnoszą się do wymagań zużycia energii pierwotnej dla zadanej wartości czasu pracy. W załączniku G powyższej normy zawarto wartości domyślne dla poszczególnych typów budynków.

3.2 Modernizacja oświetlenia z lampami fluorescencyjnymi

Podczas wymiany lamp fluorescencyjnych posiadających balast elektromagnetyczny na dwukońcówkowe LED-y, należy wymienić lub usunąć istniejący zapłonnik (starter), zgodnie z instrukcjami producenta. Jako, że sama lampa nie podlega modernizacji, pomoc elektryka nie jest konieczna.

Jeśli zachodzi konieczność technicznej modernizacji oprawy/ lampy, na przykład poprzez jej zastąpienie lub modyfikację urządzeń, podzespołów lub okablowania, to takie prace powinny być wykonane przez elektryka, aby zapewniona była zgodność wyników prac z normami bezpieczeństwa i eksploatacji i aby zostały spełnione niezbędne wymogi w zakresie kompatybilności parametrów elektromagnetycznych.

Pierwszy rodzaj modernizacji zazwyczaj wiąże się ze zmianą dystrybucji światła. Po modernizacji należy osiągnąć minimalny stopień oświetlenia w każdym miejscu pomieszczenia. Kąt promieniowania światła z większości źródeł LED wynosi 135o, co nie równoważy kąta 360o, jaki zapewniają lampy fluorescencyjne, do których można dobrać reflektor lub inny sprzęt powodujący ukierunkowanie strumienia światła. Jeśli bierze się pod uwagę tylko poziom oświetlenia pod lampą, w pomieszczeniu mogą pojawić się ciemne, niedoświetlone miejsca. Korzystnym rozwiązaniem byłoby przeprowadzenie technicznej kontroli poprzez odpowiednie pomiary po zakończeniu modernizacji.

Generalnie, zaleca się instalację opraw i źródeł światła zgodnie z zaleceniami podanymi w kolejnych rozdziałach. Największe oszczędności energii można osiągnąć dzięki zastosowaniu dedykowanych opraw LED, które zapewnią optymalny rozkład światła i odbicie w pomieszczeniu. Rozwiązanie to stwarza możliwość stosowania również sterowania oświetleniem LED.

3.3 Wybór opraw LED

Stosowanie lamp LED w zasadniczy sposób zwiększa możliwości projektowe i wykonawcze systemów oświetleniowych. Źródła światła oparte na technologii LED mają bardzo małe rozmiary, a sama technologia oferuje wiele możliwości co do efektów kolorystycznych i dynamiki oświetlenia, których nie dają inne konwencjonalne technologie oświetlenia, np. przy projektowaniu oświetlenia o charakterze ekspozycyjnym, czy w celu uzyskania odpowiedniego nastroju. Zastosowanie dynamicznego oświetlenia barwnego ma duży, pozytywny wpływ na poczucie komfortu, a nawet prowadzi do osiągania lepszych efektów przy wykonywaniu zadań.

Mając na celu uzyskanie dobrej jakości oświetlenia oraz wysoką sprawność energetyczną, należy uwzględnić i zrównoważyć kilka istotnych parametrów:

- Wygląd lampy
- Niezbędną dystrybucję światła
- Czy zachodzi potrzeba połączenia oświetlenia bezpośredniego i pośredniego?
- Czy zachodzi potrzeba nakierowania światła przy użyciu reflektorów?
- Czy trzeba ograniczać efekt olśnienia poprzez rozpraszanie światła, stosując odpowiednie przesłony?
- Czy zachodzi potrzeba regulacji i kontroli oświetlenia?

Rysunek 8 *Typy lamp*

- Uwzględnić łatwość konserwacji, a przede wszystkim odporność na zabrudzenia, możliwość czyszczenia, wymiany elementów, konstrukcję i możliwość napraw w systemie modułowym
- Poszukać w katalogach i broszurach optymalnych lamp i źródeł światła, które zapewnią osiągnięcie wymaganego strumienia światła, jego dystrybucji i iluminacji (natężenia w luksach [lx])
- Jaka jest sprawność / efektywność energetyczna lampy / oprawy?
- Czy należy przywiązywać wagę do ceny? Tańsze oferty nie zawsze są najbardziej korzystne.

3.4 Koszt w cyklu życia (LCC) i okres zwrotu nakładów

Często występuje sytuacja, gdy wysoki koszt inwestycyjny w systemach oświetlenia LED znajduje swoje uzasadnienie w wyniku odpowiednio przeprowadzonej analizy kosztów w cyklu żywotności.

LCC = Koszty inwestycyjne (projektowanie oświetlenia, zakup i instalacja systemu oświetleniowego i sterowania) + koszty eksploatacyjne (koszt energii elektrycznej) + koszty utrzymania (konserwacja i wymiana opraw/źródeł światła i/lub zasilaczy) – oszczędności kosztów energii.

$$\textbf{LCC} = n \times (C_L + C_I) + \frac{(n \times h \times P_L \times C_E)}{1000} + a \times n \times \frac{L_P}{L_L} \times C_{m1} + C_{m2} - W \times C_T$$

n Liczba opraw/źródeł
C_L Jednostkowa cena oprawy lub źródła światła
C_I Jednostkowa cena montażu oprawy/źródła
P_L Jednostkowa moc oprawy (źródło i zasilacz)
C_E Cena energii elektrycznej
C_T Cena zaoszczędzonej jednostki energii elektrycznej
W Roczne oszczędności energii w porównaniu do zastępowanego systemu oświetlenia
h Roczny czas pracy
a Roczny czas pracy "
L_L Czas życia źródła/oprawy
L_P Czas życia projektu
C_{m1} Koszt wymiany źródeł światła lub oprawy
C_{m2} Pozostałe koszty utrzymania w czasie życia projektu

Koszty zakupu są zazwyczaj wyższe niż dla tradycyjnych systemów oświetlenia, natomiast koszty całkowite, uwzględniające utrzymanie i eksploatację, często są niższe. Podejście analityczne obejmujące koszt w okresie żywotności lub łączne koszty eksploatacyjne często pozwala usprawiedliwić „kosztowną" inwestycję, jeśli uwzględni się koszty i oszczędności, jakie następują w okresie eksploatacji systemu oświetleniowego.

Obliczenie kosztów w cyklu życia (LCC) powinno uwzględniać parametry takie jak: koszty robocizny, koszty energii elektrycznej, cenę zakupu, przewidywany okres trwałości lampy, koszty utrzymania (okresy czyszczenia lamp przy porządkach ogólnych, czas wymiany lampy przy zmianie miejsca użytkowania, częstość przeprowadzania czyszczenia itp.).

Podczas modernizacji oświetlenia, okres zwrotu nakładów jest prostym i często wystarczającym miernikiem opłacalności zmiany systemu na system z wykorzystaniem technologii LED. Obliczenie okresu zwrotu nakładów obejmuje następujące kroki:

$$\textbf{Prosty okres zwrotu} = \frac{\Delta IC}{\Delta OC + \frac{\Delta MC}{L_P / h}}$$

ΔIC Różnica w kosztach inwestycyjnych
ΔOC Różnica w rocznych kosztach operacyjnych ()
ΔMC Różnica w kosztach utrzymania w czasie życia projektu
L_P Czas życia projektu (wyrażony w godzinach)
h Roczny czas użytkowania
(L_P/h) Czas życia projektu (wyrażony w latach)

Prosty okres zwrotu inwestycji nie obejmuje rocznej stopy dyskonta, która uwzględnia spadek wartości pieniądza w czasie. Stopa dyskonta ma bardzo duże znaczenie jeśli stopa procentowa jest wysoka oraz czas życia projektu przekracza 5 lat. Zdyskontowany okres zwrotu można obliczyć podsumowując zdyskontowane oszczędności w rok do roku. Okres zwrotu określa rok, w którym sumaryczne zdyskontowane oszczędności są równe ΔIC.

$$\textbf{Zdyskontowane roczne oszczędności kosztów} = \text{roczne oszczędności kosztów} / (1+i)^n$$

i stopa dyskontowa
n rok w czasie życia projektu

Alternatywnie koszt cyklu życia może być obliczony przy użyciu następujących podejść:

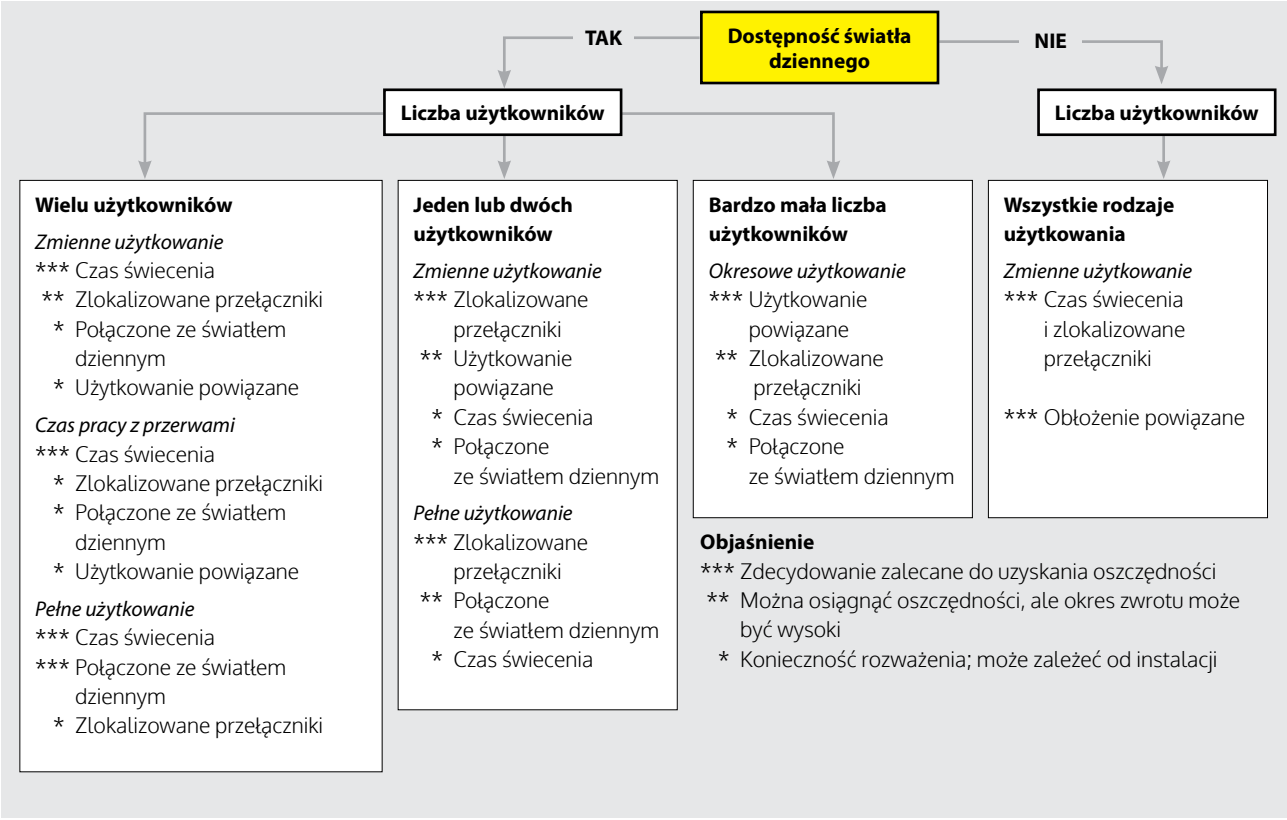
- Metoda **wartości bieżącej netto** (NPV) według CIE 115:2010 Technical Report, str. 24, [CIE] z uwzględnieniem zdyskontowanych wartości oszczędności rocznych,
- Metoda średnich kosztów rocznych według CIE 115:2010 Technical Report, str. 24,
- Metoda opisana w **Requirement ID:10677:1** szwedzkiej instytucji Swedish National Agency for PublicProcurement (Uphandlings myndigheten) [UM].

4. Sterowanie i regulacja oświetleniem

Koszty oświetlenia stanowią znaczącą pozycję w kosztach energii elektrycznej w sektorze usług. Czas pracy systemów oświetlenia w sektorze usług często jest długi i obejmować może nawet całą dobę. Z tego względu potencjał oszczędności energii może być bardzo duży. W wyniku zastosowania systemów regulacji i sterowania oświetlenia modernizacja przyniesie dodatkowe korzyści.
W tym rozdziale przedstawiono informacje i wskazówki dotyczące strategii regulacji, wykorzystania światła dziennego, różnych rodzajów układów regulacji i sterowania, oświetlenia dedykowanego.

4.1 Wybór strategii regulacji i sterowania

Regulację oświetlenia można realizować poprzez:
- Regulację ręczną z wykorzystaniem wyłączników i ściemniaczy
- Regulację automatyczną z zastosowaniem regulatorów czasowych, czujników ruchu i czujników światła dziennego
- Połączenie regulacji ręcznej i automatycznej, pozwalające na optymalizację oszczędności.



Rysunek 9 *Wybór systemu sterowania*

Na Rysunku 9 przedstawiono schemat czteroetapowego wyboru strategii regulacji, który polega na sprawdzaniu kilku parametrów sytuacji wyjściowej, takich jak [1]:

1 Dostępność światła dziennego
2 Wzorzec użytkowania
3 Liczba użytkowników
oraz na określeniu rodzaju wykorzystania budynku lub pomieszczenia [1]:
4 Rodzaj użytkowania, obejmujący:
- Użytkowanie w trybie zmiennym – użytkownicy spędzają wewnątrz pomieszczenia część czasu
- Ustalone użytkowanie wg konkretnego wzorca – stosunkowo krótkie okresy pobytu (np. pomieszczenia klasowe w szkołach)
- Pełne użytkowanie – użytkownicy spędzają w pomieszczeniu cały dzień roboczy
- Okresowe użytkowanie przestrzeni – okazyjnie i przez krótki czas.

4.2 Wykorzystanie światła dziennego

Światło dzienne uważa się za działające odświeżająco, zapewniające lepszą jakość oświetlenia niż światło sztuczne, a także zapewniające lepszy odbiór barw, w wyniku tego, że zmiany natężenia oświetlenia, jego kierunku i składu widmowego następują w sposób ciągły [32]. Światło dzienne zapewnia to, że przestrzenie wewnętrzne są „zdrowsze" (patrz podrozdział 4.4 o oświetleniu dostosowanym do potrzeb konkretnego odbiorcy) oraz bardziej komfortowe dla użytkowników, co z kolei prowadzi do lepszej wydajności pracy i większej produktywności [31].

Potencjał oszczędności energii osiągany w wyniku wykorzystania światła dziennego do oświetlania budynków zależy od czynników architektonicznych (np. wielkości okien i przepuszczania światła przez przegrody oszklone), zacienienia sąsiadujących budynków, szerokości geograficznej i warunków meteorologicznych.

W niektórych budynkach można odnieść wrażenie, że architekt zapomniał o tym, że okna mają szczególne znaczenie dla zapewnienia dostępu światła dziennego oraz dla kontaktu wzrokowego z otoczeniem zewnętrznym. Jednakże ważne jest i to, aby światło wpadające przez okna nie powodowało dyskomfortu dla wzroku (olśnienia) lub dyskomfortu cieplnego [30] albo uszczerbku dla prywatności. Aby uniknąć takich pułapek, lokalne możliwości wykorzystania światła dziennego należy uwzględnić już na wczesnym etapie projektowania budynku.

Podejście zintegrowane obejmujące skorupę budynku oraz systemy oświetlenia pozwoli na osiąganie lepszych wyników oszczędności energii i równocześnie przyczyni się do poprawy komfortu, w porównaniu do konwencjonalnych praktyk niezintegrowanych, kiedy to architekci odpowiedzialni za bryłę budynku, rzadko analizują projekt wg kryteriów jego integracji w kontekście dostępności światła dziennego przez okna i rzadko konsultują projekt ze specjalistami od oświetlenia [15 i 16].

W nowoczesnych budynkach, optymalne wykorzystanie światła dziennego prowadzące do oszczędności energii i zapewniające wysoki komfort wymaga, aby **bryła budynku i system oświetlenia były projektowane równocześnie**.

Wykorzystanie w pełni potencjału efektywności energetycznej budynku wymaga również zapewnienia dobrej regulacji i wykorzystania światła sztucznego. Często wystarczająco skuteczne są proste środki regulacji. Jak wykazano w badaniach [35], jest bardziej prawdopodobne, że użytkownik będzie włączał światło w chwili wchodzenia z jaśniejszej strefy, niż z ciemniejszej. Ponieważ najpowszechniejsze jest ręczne włączanie światła, prosty sposób na uzyskanie oszczędności może polegać na zapewnieniu takich warunków, aby oświetlenie korytarzy było znacznie słabsze, niż oświetlenie pomieszczeń roboczych.

Najpopularniejszym środkiem zapewniania dostępu światła dziennego do pomieszczeń są typowe, pionowe okna. Dla większości zadań wymagających użycia wzroku w budynkach użyteczności, **powierzchnia okien wynosi około 20% powierzchni podłogi, co wystarcza dla zapewnienia prawidłowego oświetlenia światłem dziennym w głąb pomieszczenia na dystansie równym około 1,5-krotności ich wysokości. [21]**

W praktyce, dominującym rozwiązaniem, jest zwiększanie do maksimum powierzchni okien, mające na celu zapewnienie skuteczności dostępu do światła dziennego. Taka praktyka może jednak utrudniać uzyskanie oszczędności energii jakie daje światło dzienne z powodu powstawania w pomieszczeniu stref o silnie zróżnicowanym stopniu oświetlenia, co w rezultacie przekłada się na wymóg stosowania większej ilości światła sztucznego celem wyrównania różnic w oświetleniu [21] lub wymaga zastosowania złożonych systemów przekierowania światła, takich jak przesłony, osłony [36] i systemy nakierowujące lub odbijające światło i / lub odpowiednio profilowane sufity (stropy) [38]. **Prowadzi to do wniosku, że zbyt duża powierzchnia okien może skutkować koniecznością zastosowania dodatkowych środków technicznych i konstrukcyjnych.**

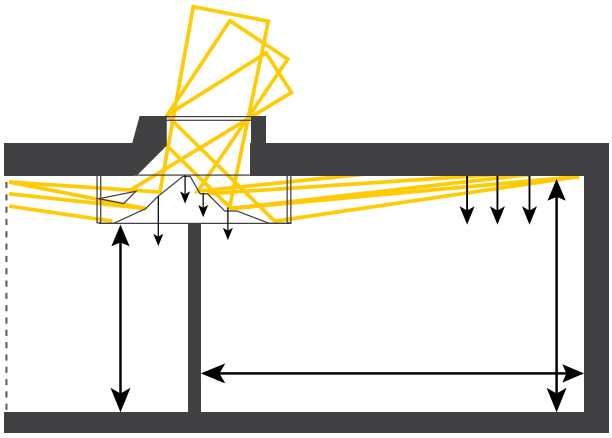
W pomieszczeniach **mających okna pionowe, oświetleniem należy sterować w układach sytuowanych szeregowo, równolegle do okien**, tak aby poszczególne szeregi systemu były włączane i wyłączane indywidualnie.

Proste systemy wykorzystania światła dziennego (np. dachowe i fasadowe) często sprawdzają się lepiej niż projektowane zaawansowane systemy oświetleniowe. Zapewniają one bezpośrednią penetrację światła głęboko do wnętrza budynku poprzez zainstalowanie dodatkowych powierzchni odbijających światło [30].

Działanie systemów bazujących na świetle dziennym **jest zmienne w zależności od ich konserwacji oraz trwałości materiałów konstrukcyjnych. Kurz, skropliny lub utlenianie się powierzchni szybko zmniejszają efektywność** optyczną, niekiedy o ponad **50%** [12].

Zastosowanie poziomych świetlików dachowych zapewnia około trzykrotnie więcej światła dziennego w porównaniu do okien pionowych o takiej samej powierzchni [21]. Świetliki można zainstalować bliżej środka oświetlanej powierzchni i dzięki temu można osiągnąć bardziej równomierne rozprowadzanie światła. Jednakże świetliki poziome zbierają więcej światła i ciepła latem niż zimą, co na ogół jest sprzeczne z wymaganymi warunkami oświetlania. W rezultacie, najczęściej stosuje się pionowe lub prawie pionowe świetliki, takie jak clerestorium.

Świetliki pionowe lub **ukośne** zaprojektowane z ukierunkowaniem na kąt zenitalny Słońca, **pozwalają regulować ilość światła poprzez przysłanianie** bezpośredniego **światła słonecznego latem i dopuszczanie lub odbijanie światła słonecznego** do wnętrza pomieszczenia **zimą**.



Rysunek 10 *Przykład świetlika, który na powierzchni sufitu rozprasza wpadające światło dzienne i przekierowuje je do pozbawionych okien pomieszczeń [33]*

Kanały świetlne dostarczają światło dzienne przez zbieranie światła słonecznego w heliostatach, skupianiu go za pomocą zwierciadeł lub soczewek i przekierowaniu do praktycznie dowolnej przestrzeni wewnątrz budynku za pomocą szybów lub światłowodów. Ponadto, kanały świetlne mają olbrzymią zaletę polegającą na tym, że przesyłają światło, nie przesyłając równocześnie ciepła [21] [31].

4.3 Sterowanie ręczne

W miejscach, w których przebywa wielu użytkowników, wskazane są wyłączniki z regulacją zmienności natężenia światła. Badania, przeprowadzone w biurach zaprojektowanych na planie otwartym, wykazały, że zachodzą znaczne różnice w zakresie preferencji użytkowników co do poziomu oświetlenia, przy czym jedne osoby włączają światło w prawie każdych warunkach, a inne tylko przy okazji. [6].

Indywidualna regulacja oświetlenia przestrzeni zwykle **zapewnia znacząco większe oszczędności energii**, w porównaniu do regulacji centralnej, z jednym wyłącznikiem.

Pojedyncze wyłączniki są zwykle korzystne w pomieszczeniach z kilkoma osobami.

Pojedyncze stałe wyłączniki, o różnych stopniach złożoności i zaawansowania technicznego, można instalować na rozmaite sposoby:

- Sterowane ręcznie
- Obsługiwane ręcznie wyłączniki na podczerwień (pilot)
- Sterowanie poprzez sieć wewnętrzną połączoną z centralnym systemem sterowania [18].

Łatwość użytkowania i szybkość działania wpływają na sposób, w jaki użytkownicy korzystają z tych urządzeń, np. jeśli urządzenia sterujące są trudne w użyciu, to użytkownicy mogą wybrać warunki oświetleniowe, które minimalizują potrzebę korzystania z tych urządzeń – zazwyczaj użytkownicy pozostają przy wysokim poziomie oświetlenia.

Zgodnie z niepisaną regułą, liczba wyłączników w danej przestrzeni użytkowej nie powinna być mniejsza niż pierwiastek kwadratowy z liczby lamp. Przykładowo 16 lamp wymaga co najmniej 4 wyłączników.

4.4 Sterowanie automatyczne

Automatyczne sterowanie oświetleniem – z odpowiednio nadanymi priorytetami dla urządzeń sterowanych ręcznie – daje sporo możliwości poprawy zarówno efektywności energetycznej, jak i samopoczucia użytkowników.

Jednakże, zdarza się, że takie układy rozczarowują swym działaniem ze względu na niedostateczne zwrócenie uwagi na sposób w jaki ludzie reagują i wykorzystują opcje regulacji [32], [37]. Często pojawiają się problemy z powodu zastosowania samej technologii, spowodowane brakiem dostatecznego rozeznania i zrozumienia tego, w jaki sposób zarząd, użytkownicy, goście i inne osoby (tacy, jak konserwatorzy) zareagują na system i będą go użytkować.

Studium opracowane przez BRE [34] wskazuje na to, że wysoki poziom zadowolenia i wysoka efektywność są zwykle związane z zainstalowaniem regulatorów o wysokim stopniu regulacji miejscowej, bogatym oprogramowaniu i łatwości korzystania z urządzeń regulacji.

Istnieją trzy główne rodzaje regulacji automatycznej:

1 **Scentralizowane układy regulacji** (systemy regulacji oświetlenia typu Bus-Based) mają za zadanie regulację oświetlenia w kilku pomieszczeniach, na piętrze lub w całym budynku. Lampy, czujniki i komputery są połączone w sieć. Pracą lamp steruje dedykowany komputer lub system zarządzania budynkiem. Włączanie i / lub ściemnianie może być powiązane z porą dnia, oświetleniem światłem dziennym i obecnością ludzi. Lampy mogą być połączone w grupy lub sterowane według ustalonej sekwencji. Czas włączenia lampy może być monitorowany, dzięki czemu uzyskuje się cenne informacje z poziomu zarządzania obiektem, dotyczące zużycia energii i utrzymania. **Ze względów bezpieczeństwa, oświetlenie awaryjne nie może być podłączone do systemu scentralizowanego w budynku [29]**.

2 **Wyspowe systemy sterowania** są podobne do systemów scentralizowanych, ale są przeznaczone do sterowania oświetleniem tylko w jednym pomieszczeniu, lub w niektórych jego częściach.

3 **Oświetlenie inteligentne** ma własne czujniki, które mogą wysyłać sygnał włączenia, ściemniania lub inny. Sterownik może być pominięty przez posiadający priorytet wyłącznik ręczny (np. pilot na podczerwień). Pracę lamp można programować podczas okresowej konserwacji instalacji w celu utrzymania stałego poziomu oświetlenia. Poziom oświetlenia i długość okresu opóźnienia, które ma miejsce, gdy czujnik nie nadąża z wykrywaniem ruchu, można regulować ręcznie na urządzeniu lub zdalnie, pilotem.

4.5 Wyłączniki czasowe

Istnieją dwa rodzaje sterowania / regulacji za pomocą wyłączników czasowych

1 Włączanie czasowe, w którym działanie oświetlenia **programuje się tak, aby po upływie zadanego czasu następowało wyłączenie**. Jest to szczególnie skuteczne w miejscach, w których często pozostawiane jest włączone bezużyteczne oświetlenie, takich jak toalety i korytarze.

2 Włączanie czasowe, w którym system oświetleniowy jest zaprogramowany na zapewnienie oświetlenia przez zadany okres czasu, wyłączając światła podczas przerwy na lunch i pod koniec dnia pracy. Wyłączone światło można włączyć w sposób niezależny – ręcznie.

Wyłączniki czasowe są szczególnie przydatne do wyłączania światła o ustalonych porach, gdy pomieszczenie przestaje być użytkowane (np. w muzeum lub innym obiekcie o ustalonych godzinach pracy), w nocy lub podczas weekendu.

Wyłączanie z opóźnieniem jest przydatne wtedy, gdy oświetlenie jest potrzebne przez zadany okres czasu, na przykład przy oglądaniu ekspozycji.

4.6 Sterownik sprzężony z czujnikiem obecności

Racjonalnie wykorzystywane czujniki obecności pozwalają na uzyskiwanie znacznych oszczędności, gdyż gwarantują, że światło pozostanie wyłączone w pomieszczeniach, w których nikt nie przebywa. **Najbardziej właściwymi miejscami do zastosowania czujników obecności są miejsca, w których wzorce obecności osób są**:

- **Nieciągłe:** toalety, hole, ciągi korytarzowe, klatki schodowe, magazyny i piwnice
- **Nieprzewidywalne** (gdy nie można zastosować wyłączników czasowych): niektóre zaplecza biurowe, pokoje spotkań, sale konferencyjne, sale wykładowe, laboratoria.

Czujniki obecności działają na zasadzie wykrywania ruchu i spełniają trzy zasadnicze funkcje:

- Włączają światło z chwilą, gdy ktoś wchodzi do pomieszczenia
- Zapewniają oświetlenie na czas, w którym w pomieszczeniu ktoś przebywa
- Wyłączają światło, gdy w pomieszczeniu nikogo nie ma. **Ten sposób sterowania jest często bardzo korzystny, ponieważ zapewnia, że oświetlenie jest wyłączane na noc i w weekend**.

Istnieją trzy typy czujników obecności:

1 **PIR (Passive InfraRed)** – czujnik obecności uruchamiany w efekcie reakcji na ruch ciała emitującego promieniowanie podczerwone (ciepło).

2 **Ultradźwiękowe** czujniki obecności odpowiadające na zmianę w widmie fal dźwiękowych odbijanych w pomieszczeniu w wyniku obecności poruszającego się obiektu. W odróżnieniu od czujników na podczerwień, nie wymagają tego, aby obiekt znajdował się na wprost pola widzenia czujnika, wykrywają również niewielki ruch. Czujniki ultradźwiękowe działają powyżej pasma słyszalnego dla człowieka (20 kHz), ich typowe częstotliwości robocze to 25, 30 i 40 kHz [11].

3 **Technologia łączona (hybrydowa)** obejmuje czujniki obecności stanowiące połączenie cech czujników PIR i ultradźwiękowych. Podtrzymują stan włączenia oświetlenia jeśli jeden z systemów detekcji czujnika wykrywa ruch, a wyłączają oświetlenie jeśli nie następuje detekcja ruchu żadną z tych technik. Takie systemy są bardziej "przyjazne" dla użytkownika, ponieważ ograniczają prawdopodobieństwo wyłączenia oświetlenia podczas czyjejś obecności w pomieszczeniu.

Czujniki obecności są dostępne w połączeniu z różnymi opcjami sterowania ręcznego i / lub automatycznego:

- **Czujniki automatycznego włączania / automatycznego wyłączania** znalazły powszechne zastosowanie w praktyce. Włączają oświetlenie zaraz po wykryciu ruchu i wyłączają z chwilą, gdy ruch ustaje. Tego rodzaju urządzenia są przydatne tam, gdzie nie zachodzi potrzeba priorytetowego wspomagania ręcznego.
- **Czujniki z włączaniem ręcznym /wyłączaniem ręcznym / wyłączaniem automatycznym** są włączane ręcznie. Czujniki takie automatycznie wyłączają oświetlenie z chwilą zaprzestania detekcji ruchu, o ile użytkownik sam nie wyłączy oświetlenia ręcznie. Ten rodzaj urządzenia jest przydatny, gdy użytkownik pomieszczenia czasami decyduje się na pozostawienie oświetlenia wyłączonego jeśli oświetlenie dzienne jest wystarczające lub jeśli użytkownik pomieszczenia chce nim sterować ręcznie.
- **Czujniki dwupoziomowego włączania / automatycznego wyłączania** zapewniają sterowanie do układów włączania dwupoziomowego, przy którym lampy wyłącza się automatycznie w układzie systemu oświetleniowego lub oddzielnie wyłącza poszczególne systemy oświetlenia. Użytkownik ma możliwość ręcznego wyboru ustawienia czujników na opcję „połowy" lub „pełnego" poziomu oświetlenia.
- **Ściemniacze z ręcznym włączaniem / automatycznym wyłączaniem** działające na zasadzie podobnej do czujników z ręcznym włączaniem / automatycznym wyłączaniem, z tą różnicą, że zawierają ściemniacz regulowany suwakiem.

Istnieją dwie kategorie montażu czujników obecności, stosowane zarówno dla czujników PIR, jak i ultradźwiękowych:

- **Montaż sufitowy** wymaga niezależnego zasilania czujnika i / lub instalacji sieciowej. Takie czujniki można instalować na ścianie w narożniku, a także na suficie. Były to pierwsze czujniki ruchu wykorzystywane do sterowania oświetleniem i nadal są najpopularniejszy rozwiązaniem stosowanym w praktyce [11]. Montaż wymaga wykonania bruzd w tynku ściany lub sufitu, ponieważ czujnik trzeba podłączyć do elektrycznej sieci zasilającej. To z kolei przekłada się na wysokie koszty instalacji.
- **Kompaktowe czujniki naścienne** są przede wszystkim zaprojektowane do celów modernizacyjnych, zamiennie z popularnymi wyłącznikami ściennymi w małych biurach [11]. Takie urządzenia zawierają wszystkie podzespoły w pojedynczej obudowie i z tego względu można je łatwo podłączyć do przewodów już istniejących, w puszkach na wyłączniki w pomieszczeniach. Dowolność w zakresie

instalacji jest niewielka, ponieważ standardowo puszki podtynkowe na wyłączniki są zamontowane 110 cm nad podłogą. Kolejną wadę stanowi to, że podział pomieszczenia i umeblowanie mogą ograniczać zasięg czujników. W małych biurach i w otwartych salach konferencyjnych, posiadających wyłączniki ścienne, czujniki kompaktowe są bardzo efektywne kosztowo, ponieważ są to urządzenia tanie, a koszty ich instalacji są praktycznie pomijalne.

Jako niepożądany efekt „negatywny" może się jednak zdarzać to, że czujnik wyłączy światło przy pełnej sali. Jest to główny powód, dla którego niektórzy klienci nie akceptują czujników obecności. **Można zapobiegać takim niepożądanym efektom poprzez zastosowanie dwufunkcyjnych (obejmujących dwie techniki detekcji) czujników obecności i / lub prawidłową regulację (nastawę) samych czujników**.

Efektom niepożądanym "pozytywnym" (polegającym na włączaniu światła w pustym pomieszczeniu) można zapobiegać poprzez ręczne włączanie i wyłączanie czujników.

Oszczędności energii wynikające z zastosowania dowolnego czujnika obecności będą bardzo znacząco zmieniać się w zależności od obsługiwanej powierzchni i wzorca występowania obecności osób w pomieszczeniu, ale zazwyczaj wynoszą one od 35 do 45% [22].

4.7 Czujniki światła dziennego

W układach regulacyjno-sterujących, działających w funkcji dostępności światła dziennego, zainstalowane w czujnikach elementy fotoelektryczne, mierzą ilość docierającego światła dziennego i zgodnie z tym dostosowują ilość dodatkowego światła sztucznego. Czujniki fotoelektryczne można zainstalować centralnie w celu sterowania kilkoma lampami / oprawami, albo montować indywidualnie na każdej lampie. Taki montaż indywidualny jest bardziej kosztowny inwestycyjnie, ale zapewnia precyzyjną regulację poziomu oświetlenia w każdym miejscu pomieszczenia.

Sterowniki działające w oparciu o dostęp światła dziennego pracują na dwa sposoby:

1 **Włączanie/wyłączanie fotoelektryczne** w miejscach, w których ważne jest uwzględnienie w systemach sterowania czasu opóźnienia, co ma na celu uniknięcie powtarzających się szybkich włączeń, np. w wyniku szybkiego ruchu chmur.

2 **Ściemnianie fotoelektryczne** zapewniające to, że suma oświetlenia światłem dziennym i sztucznym zawsze osiąga tę samą założoną wartość. W efekcie pomiaru poziomu oświetlenia całkowitego (łącznego) w kontrolowanym miejscu, następuje dostosowanie poziomu oświetlenia elektrycznego.

Ściemnianie fotoelektryczne zapewnia większe oszczędności energii niż dwupołożeniowe fotoelektryczne włączanie / wyłączanie, a poziom i tryb regulacji prawdopodobnie bardziej zadowoli użytkowników [29].

Automatyczne włączanie / wyłączanie lub ściemnianie /rozjaśnianie, sterowane ilością światła dziennego w pomieszczeniach, **jest korzystne** przy ciągłej obecności osób w takich pomieszczeniach, np. w recepcjach i ciągach (węzłach) komunikacyjnych.

4.8 Kompatybilność sterowników z systemami LED

Kompatybilność nowoczesnych systemów oświetleniowych LED z regulatorami oświetlenia, włącznie ze ściemniaczami, stanowi potencjalną barierę na drodze postępu w kierunku efektywnego oświetlenia systemami LED. Dotyczy to w równym stopniu:

- kompatybilności z istniejącymi wiodącymi i mniej popularnymi ściemniaczami, występują problemy w dostosowaniu do istniejących systemów oświetleniowych
- kompatybilności nowych LED-ów z nowymi, niekiedy posiadające ściemniacze dla LED i systemy sterowania.

Przy zamawianiu należy wymagać, aby, w przypadku modernizacji, zastosowane oświetlenie LED było kompatybilne z istniejącymi ściemniaczami oraz aby zastosowane nowe regulatory / sterowniki dla LED-ów były wzajemnie kompatybilne. Wszystko po to, aby uniknąć sytuacji dostarczenia systemów oświetleniowych, które nie byłyby kompatybilne z innymi podobnymi systemami LED.

4.9 Inteligentne oświetlenie

Inteligentne oprawy i źródła światła łączą przełomowe rozwiązania technologiczne w zakresie łączności bezprzewodowej i technologii LED. Do niektórych cech takich systemów należą:

- Dostrajanie barw, ściemnianie, stopniowe przechodzenie pomiędzy scenami oświetlenia w funkcji czasu
- Zintegrowanie z urządzeniami audio.
- Możliwość połączenia w celu aktywacji usług, monitoringu bezpieczeństwa i transmisji danych.
- Utrzymanie stałego strumienia światła i działania, przy zapewnieniu utrzymania znamionowego czasu pracy.
- Możliwość monitorowania zużycia energii oraz gromadzenia danych historycznych.

Funkcje bezprzewodowe powodują, że inteligentne lampy i źródła zużywają energię nawet wtedy, gdy główne zasilanie jest włączone, a lampy nie wysyłają światła, czekając jedynie na sygnał z urządzenia sterującego. Wiele systemów wymaga również osobnego urządzenia wejściowego (również zużywającego energię), służącego przetworzeniu sygnału komunikacyjnego (polecenia) pomiędzy urządzeniem sterującym a lampami / oprawami.

Ważnym jest aby wymagać następujących informacji:

1 Jakie jest **zużycie energii w trybie gotowości** do sterowania bezprzewodowego oraz przewodowego. Badania urządzeń domowego użytku kontrolowanych za pomocą sieci WiFi [10] wykazały bowiem znaczne różnice w zużyciu energii w trybie gotowości (standby) dla różnych produktów.

2 Czy w **trybie gotowości zasilane są wszystkie elementy sterownika.** Gdy zasilane są wszystkie jego elementy wpłynie to na trwałość urządzenia, np. dla 30 000 h cyklu życia, zasilacz musi być wymieniony po 3,5 roku.

3 Wiele systemów automatyki używanych w budynkach komercyjnych posiada własne, autorskie, czasami prawnie zastrzeżone, systemy - sprzęt komputerowy (hardware) i oprogramowanie (software). Ważną informacją jest zatem, czy używany jest **otwarty protokół**, wykorzystywany w komunikacji inteligentnego systemu oświetlenia, w tym inteligentnych lamp, bram, opraw, urządzeń sterujących, liczników i systemów zarządzania (oprogramowania) oraz **czy system jest kompatybilny z innymi produktami / systemami**. Brak kompatybilności pomiędzy różnymi producentami inteligentnych systemów oświetleniowych jest problemem i dużym wyzwaniem.

Trwają wysiłki w kierunku lepszej standaryzacji i osiągania kompatybilności w obrębie rynku. Pracują nad tym producenci i ich stowarzyszenia oraz międzynarodowe organizacje normalizacyjne, ale większość prac skupia się wokół poszczególnych protokołów komunikacji.

Potencjał rynkowy dla inteligentnego oświetlenia szybko rośnie. Oświetlenie to można stosować w muzeach, halach wystawienniczych, centrach handlowych i supermarketach, czyli tam, gdzie lampy można również z powodzeniem wykorzystywać jako węzły WiFi lub LiFi, mogące wesprzeć konsumentów używających telefonów komórkowych, np. w nawigacji po obiekcie, czy w znalezieniu odpowiedniego produktu lub sklepu [20, 19]. W takich obiektach, dzienny czas pracy jest zwykle długi i z tego względu całkowita efektywność jest zazwyczaj stosunkowo wysoka. Urządzenia sterujące można wykorzystać do osiągania oszczędności energii poprzez wyłączanie tych wszystkich świateł, które zwykle pozostawałyby włączone. Interakcja pomiędzy inteligentnym oświetleniem i smartfonami pozwala na aktywację ścieżki wizualnej i dźwiękowej podczas samodzielnego zwiedzania muzeów lub na udzielanie w sklepie szczegółowych informacji o konkretnym produkcie.

4.10 Naturalny cykl oświetlenia

Jeszcze 200 lat temu 90% czasu dziennej aktywności spędzano na zewnątrz. Ludzie ewoluowali w harmonii z naturalny cyklem oświetlenia dziennego na Ziemi:

- Niski poziom oświetlenia i niski CCT (korelowana temperatura barwowa) wczesnym rankiem
- Wysokie natężenie światła i wysokie CCT w południe (do 10000 K)
- Niski poziom oświetlenia i niski CCT wieczorem
- Ekstremalnie niski poziom oświetlenia i średnie CCT w świetle Księżyca.

Rysunek 11 *Światło słoneczne w ciągu dnia, poza kołem polarnym*

Takie zmienne poziomy oświetlenia stanowią podstawę ludzkiego, 24-godzinnego zegara biologicznego, czyli rytmu okołodobowego. Obecnie, znaczna część populacji spędza około 90% czasu wewnątrz pomieszczeń, przy oświetleniu elektrycznym. Kiedy jesteśmy w pracy, oświetlenie zazwyczaj jest włączone na takim samym poziomie i ze stałą wartością CCT. Nie jest to zgodne z naturalnym rytmem okołodobowym, który może ulec zakłóceniu, gdy człowiek jest pozbawiony regularnej ekspozycji na dynamiczne oświetlenie. Może to doprowadzić do problemów zdrowotnych, ponieważ światło i ciemność mają wpływ na produkcję wielu hormonów.

W naturalnym cyklu okołodobowym produkowane są następujące hormony [12]:

- Dopamina dająca uczucie przyjemności, gotowość do działania i koordynację mięśniową
- Serotonina kontrolująca impulsy i rozkład węglowodanów
- Kortyzol kontrolujący reakcję na stres
- Melatonina jako hormon snu.

Ostatnio dokonane odkrycie dotyczące światłoczułych komórek w ludzkiej siatkówce oka (ipRGC) wskazuje, że pełnią one bardzo ważną rolę w regulacji naszego zegara wewnętrznego. Światło bogate w składnik niebieski stymuluje fotoreceptory ipRGC, zwęża źrenice oczu, wyzwala produkcję dopaminy, serotoniny i kortyzolu, ale hamuje uwalnianie melatoniny. Duża ekspozycja w ciągu dnia na światło bogate w niebieską część widma powoduje, że ludzie są bardziej gotowi do pracy i wydajniejsi. Takie światło emitowane jest przez wszechobecne ekrany i wyświetlacze. Jednak praca wieczorami przy komputerze nie jest zalecana. Przyjęcie zbyt dużej dawki niebieskiego widma sprawia, że zmniejsza się produkcja melatoniny, co skutkuje problemami ze snem.

Oświetlenie w technologii LED, w połączeniu z odpowiednim sterowaniem, pozwala na regulację luminacji i temperatury barwowej, np. w zakresie od 1800 do 6500 K. Oświetlenie LED może zatem naśladować naturalny cykl oświetleniem dziennym. Takie kompleksowe podejście oświetleniowe nosi nazwę Human Centric Lighting (HCL).

5. Kryteria zamówień publicznych

Niniejszy rozdział zawiera wskazówki dotyczące wymogów dla zamówień technicznych do celów przetargowych, z uwzględnieniem zużycia energii w nowych budynkach, efektywności lamp i źródeł światła, stanów gotowości, barwy, trwałości, współczynnika wykorzystania mocy kompatybilności, migotania, regulacji oświetlenia i utrzymania oraz kosztów cyklu życia. Wszystkie kryteria, w skróconej formie, przedstawiono na stronie: **www.efektywneoswietlenie.pl**. Podstawowe informacje o parametrach i jakości oraz efektywności oświetlenia opisano dokładniej w rozdziale 2 (projektowanie oświetlenia), 3 (efektywność energetyczna i koszty w okresie życia) i 4 (sterowanie i regulacja oświetleniem).

Celem opracowanych kryteriów jest wspieranie zamówień publicznych dot. modernizacji oświetlenia w nowych i w istniejących budynkach. Kryteria dotyczą zarówno wymagań dla całego systemu oświetlenia, jak i wymagań dla jego komponentów.

Ważne jest aby proces zastosowania technologii oświetlenia LED skupiał się nie tylko na osiągnięciu jak największej efektywności energetycznej, ale również na jakości. Technologia LED różni się znacznie od pozostałych technologii oświetleniowych i posiada wiele innowacyjnych możliwości, np. zastosowanie optymalnych opraw, zabudowanie oświetlenia, zastosowanie elastycznego sterowania oświetleniem, wybór temperatury barwowej, zmiana natężenia oświetlenia w ciągu dnia, inteligentne oświetlenie i lepsze wykorzystanie światła dziennego.

Podstawowe modele biznesowe stosowane w sektorze mieszkalnictwa i usług obejmują zaangażowanie firm ESCO, kontrakty opracowane samodzielnie i kontrakty ramowe [32, 33 i 34]. W zależności od zasad obowiązujących w danym kraju, projekty mogą być realizowane z zastosowaniem różnych opcji finansowania: finansowanie własne, trzeciej strony, leasing, finansowanie ESCO, rabaty, zachęty i inne. Więcej informacji na ten temat można znaleźć na stronie **www.efektywneoswietlenie.pl/oswietlenie-wewnetrzne/finansowanie**.

5.1 Zapotrzebowanie na moc i zużycie energii w nowych budynkach

W roku 2012 UE opublikowała definicyjne kryteria dla Zielonych Zamówień Publicznych (Green Public Procurement (GPP) w odniesieniu do oświetlenia wewnętrznego projektowanego dla nowych budynków. Kryteria te obejmują m.in. maksymalną moc zainstalowaną, wskaźnikowo podaną w W/m^2 (sumarycznie dla lamp, balastu / sterowników i regulatorów). Od roku 2012 skuteczność systemów LED poprawiła się znacząco, więc opracowane kryteria GPP nieco się zdezaktualizowały.

W Szwajcarii ma niebawem zacząć obowiązywać nowa norma [3], która określi nowe wskaźniki W/m^2 dla projektowania nowych instalacji, w tym moce dla opraw, zasilaczy/balastu, sterowniki i regulatory (nadal zgodnie z wymaganym poziomem oświetlenia zawartego w normie EN 12464-1: 2011). Szwajcarska norma będzie opierała się na dopuszczalnie maksymalnym wskaźniku W/m^2 i najniższej progowej wartości wskaźnika W/m^2. Z maksymalnego i minimalnego wskaźnika zostanie wyliczona wartość średnia, która będzie wykorzystywana wraz z podziałem na rodzaj obiektu [3]. Taka metoda jest również zalecana przez program Minergie [3].

PremiumLight-Pro rekomenduje stosowanie następujących maksymalnych wartości W/m^2:

Tabela 2 *Maksymalne projektowe wartości W/m² dla nowych instalacji*

Rodzaje budynku i pomieszczeń		Maksymalna wartość W/m²
Budynki kultury	Sala teatralna	5.8
	Sala wystawowa	5.8
	Korytarz	5.8
Szpital	Sala chorych	5.6
	Gabinet lekarski	10.3
	Sala zabiegów	10.3
Hotel	Pokój	6.4
	Korytarz	5.5
Biuro	Pojedynczy Pokój	10,3
	Open space	8,1
	Pokój spotkań	10.3
	Korytarz	5.9
Restauracja	Restauracja	4.9
	Kawiarnia	2.9
	Kuchnia restauracji	15.5
	Kuchnia kawiarni	12.1
Sklepy	Sklep spożywczy	12.3
	Galeria	12.3
	Salon meblowy	9.9
Szkoła	Klasa	9.1
	Pokój nauczycielski	6.2
	Biblioteka	4.9
	Sala muzyczna	8.1
	Laboratorium	9.1
Budynek sportowy	Sala gimnastyczna	9.3
	Sala fitness	5.3
	Basen	6.0
Parkingi, strefy ruchu i inne	Strefa ruchu	2.9
	Korytarz szpitalny	5.9
	Klatka schodowa	5.9
	Budynek gospodarczy	2.5
	Kuchnia	4.2
	Łazienka, Prysznic	5.0
	WC	8.2
	Przebieralnia	4.7
	Parking	1.2
	Pralnia, suszarnia	7.0
	Komora chłodnicza	2.3
	Serwerownia	2.8

5.2 Efektywność lamp i źródeł światła

W listopadzie 2016 IEA 4E SL [1] opublikowała zaktualizowane wymogi dotyczące efektywności (skuteczności) dla lamp i źródeł światła. W 2015 roku wymogi spełniało około 20-30% produktów, dostępnych ówcześnie na rynku. Zgodnie z tymi wymaganiami, z uproszczeniem do 5 rodzajów źródeł światła, **PremiumLight-Pro rekomenduje**:

- **≥ 90 lm/W** for dla **lamp bezkierunkowych LED** emitujących ≥ 100 lm.
- **≥ 85 lm/W** dla **lamp kierunkowych LED** emitujących ≥100 lm.
- **≥120 lm/W** dla **lamp liniowych LED** o nominalnej długości 550 mm do 1 500 mm.
- **≥90 lm/W** dla **małych zintegrowanych lamp LED** ze zdalnym sterowaniem o strumieniu światła ≥ 100 lm i < 2 500 lm.
- **≥105 lm/W** dla **dużych zintegrowanych lamp LED** ze zdalnym sterowaniem o strumieniu światła ≥ 2 500 lm i < 50 000 lm.

5.3 Zużycie energii w trybie gotowości

Przełomowe technologie w komunikacji bezprzewodowej i LED sprawiają, że rynek inteligentnych lamp i opraw oświetleniowych rozwija się bardzo szybko na wielu płaszczyznach: dostrajanie kolorów, ściemnianie, łączność w celu włączania funkcji, monitorowanie i dostarczanie danych, monitorowanie zużycia energii lub ruchu użytkowników, przechowywanie danych, wbudowane czujniki obecności. A wszystko to jest połączone z systemem automatyki budynku celem sterowania oświetleniem, wentylacją itd.

Inteligentne oprawy LED sterowane za pomocą komunikacji bezprzewodowej, które są podłączone do sieci i będące w trybie gotowości, zużywają energię elektryczną nawet jeśli nie mają włączonego oświetlenia.

W przypadku produktów i systemów oświetleniowych wyposażonych w tryb stand-by projekt **PremiumLight-Pro rekomenduje** pozyskanie następujących danych:

- Informacje o **wielkości poboru mocy w trybie gotowości (W)**

- Informacje o tym czy w **trybie gotowości są zasilane wszystkie elementy sterownika i jaki ma to wpływ na życie zasilacza**

- Informacje o **interoperacyjności** (wykorzystaniu otwartego protokołu komunikacyjnego).

5.4 Regulacja oświetlenia

Czas pracy oświetlenia w sektorze usług jest zazwyczaj długi i czasami może trwać całą dobę. Wdrażanie różnych systemów jego regulacji może więc prowadzić do znacznych oszczędności energii.

Zamawiający musi szczegółowo określić parametry dotyczące oświetlenia jak jego regulacja, poziom i inne funkcje. Nie zaleca się wpisywania do specyfikacji przetargowej żadnych parametrów ogólnych.

W przypadku, gdy zamówienie obejmuje również system regulacji oświetlenia, PremiumLight, **PremiumLight-Pro rekomenduje:**

- **Poinformowanie instalatora o sposobach wykorzystania danej przestrzeni i trybie obecności osób wewnątrz**, a także o **specjalnych wymaganiach dotyczących regulacji** oświetlenia, z uwzględnieniem kwestii **bezpieczeństwa i ochrony**.
- Zawrzeć w umowie zapisy określające wymóg, aby wszystkie **regulatory i sterowniki oświetlenia działały prawidłowo**.
- Dostarczyć **wytyczne** dla użytkowników, aby mogli prawidłowo wykorzystać systemy regulacji i sterowania oświetleniem.
- **Dostarczyć personelowi obsługi niezbędnych informacji**, które umożliwią mu **regulację** oświetlenia w razie zmiany przeznaczenia lub sposobu użytkowania pomieszczenia.

5.5 Temperatura barwowa światła, zakres i jej utrzymanie

Oświetlenie LED może mieć różną skorelowaną temperaturę barwową światła (CCT). Dlatego ważne jest dobierać CCT tak, aby był on najbardziej odpowiedni do rodzaju pomieszczenia i realizowanego zadania.

Projekt PremiumLight-Pro rekomenduje, aby w zamówieniach wykorzystać **jedną z nominalnych wartości CCT prezentowaną w tabeli 3**, w połączeniu z **tolerancjami Duv**[1] i warunkami chromatyczności [1].

Tabela 3 *Nominalne wartości CCT oraz tolerancje Duv*

Nominalna wartość CCT (K}	Współrzędne referencyjne		Zakres tolerancji Duv
	Tolerancja CCT (K)	Docelowy Duv	
2200	2238	0.0000	T_x; CCT dla źródła
2500	2460	0.0000	
2700	2725	0.0000	Dla T_x < 2870K
3000	3045	0.0001	0,0000 ± 0,0060
3500	3465	0.0005	Dla T_x ≥ 2870K
4000	3985	0.0010	$D_w(T_x)$ ± 0,0060
4500	4503	0.0015	Gdzie:
5000	5029	0.0020	$D_w(T_x)$ =57 700 x $(1/T_x)^2$-
5700	5667	0.0025	44,6 x $(1/T_x)$+
6500	6532	0.0031	0,00854

Zalecenie [1] dotyczące **utrzymania barwy** wymaga nieprzekroczenia maksymalnej zmiany współrzędnych chromatyczności po 6 000 godzin pracy:

- **Δ u',v' (6000 godzin) ≤ 0.004.**

5.6 Oddawanie barw

Oddawanie barw definiuje zdolność światła białego do odwzorowania rzeczywistych kolorów obiektów. Norma PN-EN 12464-1 określa minimalne wymagania dotyczące oddawania barw dla praktycznie wszystkich wykonywanych zadań w obiekcie, według CRI (Ra). Ogólnie CRI powyżej 80 jest uważany za wystarczający do dokładnego odwzorowania koloru w większości pomieszczeń. Dowiedziono, że dla źródeł światła LED, istotny jest specjalny wskaźnik oddawania barw R9, który dotyczy barwy czerwonej. Wskaźnik ten musi być dodatni. Norma IEA 4E SSL [1] wymaga **$R_9 > 0$**.

PremiumLight-Pro rekomenduje:

- **CRI ≥ 80** oraz **$R_9 > 0$**, jako minimalne kryterium w ogóle

1 Wg. ANSI C78.377: 2015 Specyfikacja tolerancji chromatyczności źródeł LED.

- **CRI ≥ 90** oraz **R_9 > 0**, do pracy wymagającej dobrej widzialności, np. w przychodniach zdrowia, szpitalach, klinikach, muzeach, teatrach, a także do pracy związanej z kontrolą i doborem kolorów, np. w sklepach z odzieżą.

5.7 Nominalna trwałość

Wysokiej jakości diody LED mogą utrzymywać strumień świetlny przez dziesiątki tysięcy godzin. Wbudowany zasilacz elektroniczny może jednak spowodować nagłe uszkodzenie. Dlatego ważne jest, aby rozważyć żywotność całego systemu oświetleniowego.

Rekomendacje PremiumLight-Pro dotyczące **minimalnego czasu życia** ($F_{80}B_{50}$, który jest większy niż rząd 2 w [1]) i **utrzymania strumienia świetlnego** dla czasu pracy 6 000h [1]:

Tabela 4 *Minimalny czas życia i utrzymanie strumienia świetlnego dla czasu pracy 6 000 h*

Źródło/ oprawa	Minimalny czas życia $F_{80}B_{50}$	Utrzymanie strumienia świetlnego, 6 000h
LED bezkierunkowe i kierunkowe	20,000	≥ 93,5 % początkowego strumienia
LED liniowe	35,000	≥ 96.2 % początkowego strumienia
Małe zintegrowane oprawy LED (<2 500 lm)	40,000	≥ 96,7 % początkowego strumienia
Małe zintegrowane oprawy LED (2 500 - 50 000 lm	50,000	≥ 97.4 % początkowego strumienia

Kryterium [1] dotyczące **przedwczesnych uszkodzeń** wynosi **maksymalnie 5% dla czasu pracy 6 000h**.

Zaleca się również, aby wymagać od producentów dokumentacji z raportów badań (w tym ekstrapolacji, aby osiągnąć maksymalny czas życia).

5.8 Temperatura otoczenia i rodzaj sterownika

Na trwałość świetlenia LED wpływa temperatura otoczenia. Znamionowa temperatura otoczenia (t_a) jest najwyższą trwałą temperaturą, przy której oprawa może działać w normalnych warunkach pracy.

W zależności od zastosowania, **PremiumLight-Pro rekomenduje**, aby rozważać zakup dla znamionowej temperatury otoczenia t_a= 30°C, ponieważ taka temperatura powietrza może wystąpić latem pod sufitem.

Jeśli chodzi o żywotność całego systemu oświetlenia LED, zaleca się ustawienie elementów sterujących tak, aby zapewniały temperaturę roboczą poniżej temperatury granicznej jakościowej tq.

Jeśli sterownik jest wymienny, to oferta powinna zawierać **informację, czy zastosowano sterownik typu SELV** (Safety Extra Low Voltage) czy NON-SELV.

5.9 Współczynnik mocy i zakłócenia harmoniczne

Dla dostawcy energii elektrycznej współczynnik mocy (PF) ma duże znaczenie. Klienci w sektorze usług mogą płacić kary pieniężne, jeśli współczynnik mocy spadnie poniżej 0,9. Znaczenie współczynnika mocy może różnić się w zależności od kombinacji obciążeń w sieci rozdzielczej.

PremiumLight-Pro rekomenduje następujące wartości współczynnika mocy (PF) [1]:

LED bezkierunkowe i kierunkowe

< 25 W: PF > 0.50
≥ 25 W: PF > 0.90

LED liniowe PF > 0.90

Małe i duże zintegrowane oprawy LED PF > 0.90

Dla lamp >25 W zaleca się ustalenie **limitów zakłóceń harmonicznych**, jak dla sprzętu klasy C w normie IEC 61000-3-2 [1]. Limity zakłóceń harmonicznych przedstawiono w Tabeli 5.

Tabela 5 *Wymagania dotyczące zakłóceń harmonicznych*

Harmoniczna (n)	Maksymalny dopuszczalny harmoniczny prąd wyrażony jako procent prądu wejściowego przy częstotliwości podstawowej (%)
2	2
3	30 % CPF (jest obwodowym współczynnikiem mocy)
5	10
7	7
9	5
11 ≤ n ≤ 39 (tylko nieparzyste harmoniczne)	3

5.10 Migotanie

Układy zasilania stosujące modulację impulsową powodują błyskanie / migotanie LED-ów z pewną częstotliwością (zazwyczaj 100 i 150 Hz). Częstotliwość migotania nie jest bezpośrednio zauważalna, ale może powodować zakłócenia widzenia, takie jak:

- Efekt stroboskopowy przy obiektach wirujących (dający złudzenie ich bezruchu lub złudzenie obracania się z inną prędkością lub w przeciwnym kierunku).

- „Kaskady" jasnych punktów w polu widzenia w przypadku szybkiej zmiany kierunku widzenia, na przykład przy szybkim ruchu głową.

Dokument IEEE 1789:2015 zawiera spis wymogów dotyczących migotania z naciskiem na ograniczanie widocznej modulacji światła (wraz z migotaniem) przy częstotliwościach ≤ 90 Hz. Wymagana jest większa ilość badań dla zakresu powyżej 90 Hz (efekty niewidoczne). Obecnie nie istnieją normy pomiarów fotometrycznych światła modulowanego.

Na podstawie powyższych informacji IEA SSL [1] i IEEE 1789:2015, **PremiumLight-Pro rekomenduje**:

f: Częstotliwość migotania (Hz)	**FM: Maksymalna modulacja migotania (%)**
f ≤ 90Hz	FM ≤ (0.025 × f)
90Hz ≤ f ≤ 1250Hz	FM ≤ (0.08 × f)
f > 1250Hz	Brak wymagań

Zaleca się również, aby **wymagać braku migotania dla wszystkich ważnych poziomów ściemniania (np. 50% i 25%)** [41].

5.11 Olśnienia i świetlne bezpieczeństwo biologiczne

Olśnienia pojawiają się w przypadku bardzo wysokiej luminacji lub dużego kontrastu luminacji. Powodem olśnienia zazwyczaj jest brak osłony na oknach, refleksy lub bezpośrednie spojrzenie na źródło światła LED w oprawie.

PremiumLight-Pro zaleca:

1 Odnośnie **bezpośredniego olśnienia** [norma PN-EN 12464-1]:
- Specyfikacja minimalnego kąta ekranowania we wszystkich kierunkach w zależności od luminacji lampy.
- Specyfikacja olśnienia z wykorzystanie wskaźnika UGR_L.

2 Odnośnie **uniknięcia olśnienia** [1, 42]:
- Kiedy kąt gamma (ɣ) **przekracza 60%**, luminacja źródła światła **nie powinna przekraczać 10,000 cd/m²**.

3 Odnośnie **bezpieczeństwa optycznego** – zapewnienie, że na ludzkie oko nie jest skierowane nadmierne promieniowanie niebieskie, które penetruje układ optyczny oka. To zjawisko zwane jest ryzykiem światła niebieskiego.
- Lampy i źródła światła LED należą do grupy ryzyka **RG0 lub RG1** [norma IEC 62471/CIE S009)].

5.12 Kompatybilność ściemniaczy i transformatorów

Kompatybilność ściemniaczy ma duże znaczenie, ponieważ wiele produktów LED często nie jest w pełni zgodna z obecnie stosowanymi ściemniaczami. Producenci wciąż starają się zdefiniować i przyjąć nowe standardy ściemniaczy, więc ich kompatybilność ze źródłami LED prawdopodobnie będzie nadal stanowiła problem.

W odniesieniu do **kompatybilności ściemniaczy**, producent powinien:
- Zapewnić adresy internetowe zawierające **listę kompatybilnych ściemniaczy**.

- Dla każdego kompatybilnego ściemniacza, przedstawić listę **lamp**, które można regulować i **zakres poziomów strumieni światła** jaki można uzyskać dla danej kombinacji ściemniacz-lampa.

W odniesieniu do **działania ściemniaczy** zalecane wymogi obejmują:
- **Płynny efekt ściemniania do poziomu 30%** bez widocznego migotania i słyszalnego szumu.
- **Kiedy ściemniacz jest nastawiony na 100%, wydajność świecenia lampy musi wynosić ≥ 90%** strumienia światła uzyskiwanego bez ściemniacza.

5.13 Utrzymanie i konserwacja

PremiumLight-Pro rekomenduje:
- LLMF - współczynnik zachowania strumienia świetlnego
- LMF – współczynnik utrzymania źródła
- MF – współczynnik zabrudzania oprawy
- Przygotowanie **planu konserwacji** określającego przedziały czasowe pomiędzy czyszczeniem i czynnościami konserwacyjnymi.

Należy **rozważyć** również:
- Oprawy ze **stałym strumieniem świetlnym** dla niektórych zastosowań
- **Zamknięte oprawy LED** dla niektórych zastosowań, które mogą pracować w środowisku silnie zapylonym.

5.14 Koszty w cyklu życia (LCC)

Nakłady inwestycyjne na zakup oświetlenia LED są zwykle wyższe w porównaniu do tradycyjnych systemów oświetleniowych, ale koszty jego eksploatacji i utrzymania są niższe. Obliczanie kosztów cyklu życia może znaleźć uzasadnienie wysokich nakładów inwestycyjnych przy rozważaniu ponoszonych kosztów na utrzymanie i oszczędności w całym okresie użytkowania systemu oświetleniowego.

PremiumLight-Pro rekomenduje:
- Stosowanie obliczeń **kosztów cyklu życia (LCC)** metodą określoną przez zamawiającego do porównywania alternatywnych rozwiązań systemów oświetleniowych.

5.15 Doświadczenie i obowiązki kontrahenta

Zarówno zespół projektowy, jak i montażowy, powinnien w swojej ofercie udokumentować, że personel posiada doświadczenie nabyte przy realizacji **co najmniej 5 równoważnych projektów** oraz, że członkowie zespołów posiadają wystarczające kwalifikacje indywidualne w zakresie elektrotechniki i technik budowlanych. Wskazane jest doświadczenie pochodzące z 15 podobnych projektów.

Kontrahent powinien zapewnić, co następuje:

Instalacja
- System oświetleniowy będzie zainstalowany zgodnie ze specyfikacją / żądaniami
- Zostanie przestawiony harmonogram i schemat systemu oświetleniowego z załączonymi fakturami od producenta lub listami przewozowymi
- Zapewnienie dostępu do informacji, aby użytkownik wiedział w jaki sposób należy regulować oświetlenie i prowadzić obsługę z pomocą personelu technicznego, który powinien samodzielnie realizować konieczne regulacje dodatkowe (np. w razie zmiany aranżacji wnętrza).

Funkcjonalność
- Zainstalowany, nowy lub zmodernizowany system oświetleniowy, będzie działać prawidłowo i nie będzie zużywać więcej energii niż to zostało wyszczególnione.
- Czujniki i regulatory zostaną wykalibrowane tak, aby zapewnić wyłączanie oświetlenia przy dostatecznym natężeniu światła dziennego.
- Czujniki obecności zostaną sprawdzone tak, aby wykrywały ruch obiektów w zależności od przeznaczenia.
- Czujniki czasowe niezależne lub czujniki czasowe sterowane komputerowo zostaną wyregulowane tak, aby wyłączały system w prawidłowy sposób.
- Jeśli po dokonaniu odbioru część systemu nie będzie spełniać wszystkich zapisów specyfikacji i wymagań, to wykonawca przeprowadzi odpowiednie korekty i regulacje.

Ocena działania
- Korzystnie będzie, jeśli wykonawca wyposaży instalacje w system pomiarowy dla identyfikacji błędów i monitorowania czy zużycie energii jest zgodne ze specyfikacją.

Dostępność produktu

- Zainstalowane produkty LED muszą być dostępne na rynku, co gwarantuje dokonywanie wymiany przez cały okres żywotności instalacji. Najbardziej znani producenci oświetlenia gwarantują dostępność produktu w założonym okresie czasu.

Gospodarka odpadami

- Podczas instalowania nowego lub modernizacji istniejącego systemu oświetlenia, należy minimalizować ilość odpadów, a wszystkie części należy segregować i poddawać utylizacji zgodnie z przepisami dot. zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego (WEEE).

5.16 Wstępna kwalifikacja

Wstępna kwalifikacja firm może obejmować następujące wymagania:

- Przedstawienie referencji realizacji wcześniejszych prac o podobnym zakresie (rodzaju i wielkości systemów oświetleniowych), czasy ich realizacji, itp.
- Przedstawienie wyników pomiarów przeprowadzonych przez niezależne laboratoria w celu udokumentowania oszczędności energii.
- Przedstawienie sposobu, w jaki dana firma zamierza zintegrować proponowane rozwiązanie w istniejących budynkach.
- Przedstawienie możliwości firmy w zakresie utrzymania i konserwacji systemu oświetleniowego.

5.17 Ocena ofert

Każda złożona oferta powinna spełniać minimalne kryteria i wymagania opisane we wcześniejszych podrozdziałach. Propozycje związane z oferowaniem rozwiązań o wyższej jakości i efektywności powinny być odpowiednio docenione i poddane ewaluacji według przyjętej skali ocen. Oczywiście dobór kryteriów w zakresie oferty powyżej minimum, a także sposób ich oceny i porównań, zależą od rodzaju projektu, rodzaju budynku i przeznaczenia pomieszczeń. Poniżej przedstawiono przykłady doboru kryteriów „promujących" (Tabela 6) i oceny ofert według odpowiedniej skali.

Tabela 6 *Przykład doboru kryteriów promujących*

Kryterium	Wymóg obowiązkowy	Kryterium oceny
Koszt		
Nakłady (koszty) inwestycyjne	✓	
Koszty w cyklu życia LCC	✓	✓
Efektywność energetyczna		
Zapotrzebowanie na moc i zużycie energii	✓	✓
Skuteczność źródeł światła	✓	
Pobór mocy w stanie gotowości „stand-by"	✓	
Sterowanie systemem oświetlenia	✓	✓
Jakość oświetlenia i projekt		
Natężenie oświetlenia	✓	
Wykorzystanie światła dziennego, dystrybucja światła, jednorodność, kontrastowość	✓	
Temperatura barwowa, tolerancja i utrzymanie	✓	
Oddawanie barw	✓	✓
Trwałość	✓	✓
Współczynnik mocy i zakłócenia harmoniczne	✓	
Ściemniacze i kompatybilność transformatorów	✓	
Temperatura środowiska pracy i rodzaj sterownika	✓	
Migotanie	✓	
Olśnienia i bezpieczeństwo zdrowotne	✓	
Sterowanie systemem oświetlenia	✓	
Utrzymanie, konserwacja, instalacja, eksploatacja, naprawy, recykling		
Utrzymanie	✓	
Doświadczenie i zobowiązania kontrahenta	✓	
Szkolenie u kontrahenta	✓	✓
Gwarancje i dostępność części zamiennych	✓	✓

Tabela 7 *Przykład oceny ofert z wykorzystaniem kryteriów promocyjnych i ich wagi*

Kryterium oceny	Waga [%]
Koszt	
Koszty w cyklu życia (LCC)	30
Efektywność energetyczna	
Zapotrzebowanie na moc i zużycie energii	20
Regulacja i sterowanie oświetleniem (zależnie od oferowanych dodatkowych możliwości)	5
Jakość oświetlenia i projekt	
Oddawanie barw	10
Trwałość	15
Instalacja, eksploatacja, utrzymanie, naprawy, recykling	
Szkolenie u kontrahenta	10
Gwarancje i dostępność części zamiennych	10
Razem	**100**

6. Najlepsze praktyki

W niniejszym rozdziale przedstawiono porady i zalecenia bazujące na najlepszych praktykach w zakresie projektów i rozwiązań systemów oświetleniowych. Opisano możliwości poprawy jakości i efektywności energetycznej oświetlenia dzięki zastosowaniu systemów w technologii LED.

Rozdział podzielono na podrozdziały dotyczące odpowiednio: szkół, muzeów i wystaw, placówek handlu detalicznego i opieki zdrowotnej. **Każdy podrozdział** (z podpunktami w zależności od rodzajów pomieszczeń) **został napisany w formie niezależnego, odrębnego dokumentu, który można bezpośrednio wykorzystać jako listę kontrolną na początku procesu projektowego dla takiego samego obszaru zastosowań**. Z tego powodu, podczas czytania wszystkich podrozdziałów po kolei, może pojawić się wrażenie zbyteczności niektórych treści.

Listy kontrolne dotyczące najlepszych praktyk są w znacznym stopniu oparte o ogromne doświadczenie DCL [7] w zakresie dostosowania efektywnego oświetlenia w technologii LED do poprawnie wykonanego projektu oświetleniowego.

Ogólne podejście do kwestii **najlepszych praktyk** dla oświetlenia o **wysokiej jakości i efektywności energetycznej**:

1 Projekt oświetlenia należy traktować całościowo **od początku** projektowania nowego budynku lub renowacji.

2 Zarówno do projektowania, jak i instalacji, należy zaangażować personel posiadający odpowiednie kwalifikacje oraz **doświadczenie** zdobyte przy podobnych projektach.

3 Należy rozróżnić poszczególne rodzaje **pomieszczeń, ich obłożenie personelem z podziałem na grupy wiekowe, godziny pracy**, oraz rodzaje **zadań** wymagających **oświetlenia**.

4 W przypadku modernizacji należy określić jaki rodzaj oświetlenia jest wykorzystywany w stanie istniejącym (rodzaj źródła, W, strumień świetlny, oświetlenie bezpośrednie/pośrednie, itp.) oraz jakie jest roczne zużycie energii.

5 Podczas modernizacji należy poznać **opinię** personelu na temat istniejącego systemu oświetlenia. Czy dostrzegają oni potrzebę wprowadzenia ulepszeń, jeśli tak, to: gdzie, na jaki rodzaj oświetlenia, jakie położenie i rodzaj opraw, jasność, rodzaj urządzeń regulacji, czy doznają uciążliwości z powodu olśnień, lub czy wymagają lepszej regulacji oświetlenia? Prawidłowe oświetlenie wpływa na osiągnięcie właściwej atmosfery, odpowiedniej dla wykonywanych zajęć.

6 Prześledzić kryteria zamówień proponowanych w PremiumLight-Pro i wybrać **kryteria oceny** oraz nadać im wagi.

7 Należy zbadać wykorzystanie odpowiednich urządzeń **regulacyjnych i sterujących** (ręcznych i automatycznych). LED-y znakomicie współpracują z urządzeniami sterującymi, a oszczędności wynikające z zastosowania wyłączników czasowych, regulatorów strumienia światła lub czujników obecności, są zazwyczaj niedoceniane. Trzeba rozpatrzyć zastosowanie bardziej zaawansowanych / inteligentnych rozwiązań, jak np. oświetlenie koncentrowane na osobie z dostrajaniem barwy światła, oświetlenie z czujnikami dedykowanymi wykonywanym zadaniom, scenariusze i funkcjonalności centrów łączności i transmisji danych, jak np. LiFi.

8 Przeprowadzić obliczenia i oszacowania ekonomiczne.

9 Upewnić się, czy wybrane rozwiązania w zakresie oświetlenia spełniają oczekiwania klienta, czy działają sprawnie, czy są **łatwe w obsłudze** i czy możliwe jest ich **utrzymywanie i dostrajanie** w dłuższym horyzoncie czasowym.

Generalnie, **zalecane wartości poziomów oświetlenia, jednorodności, olśnienia i oddawania barw można znaleźć w normie PN-EN12464-1:2011** „Światło i oświetlenie – Oświetlenie miejsc pracy – Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach". **Z tego względu wartości tych nie podawano w każdym rozdziale**. W rozdziale 2.5 można znaleźć informacje o tej ważnej normie.

W rozdziale 6 przedstawiono najlepsze praktyki zebrane w ramach projektu PremiumLight-Pro. Dalsze informacje na temat poszczególnych przykładów wraz z danymi kontaktowymi można znaleźć na stronach: www.premiumlightpro.eu (wersja angielska) oraz **www.premiumlightpro.eu** (wersja polska).

6.1 Budynki biurowe

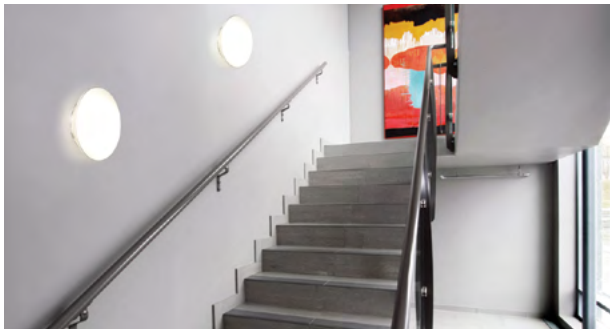
Dobre oświetlenie w biurach pozwala pracownikom realizować zadania efektywnie, bez napięć i zmęczenia.

Wspólne rekomendacje dla wszelkich rodzajów pomieszczeń

- Niski poziom oświetlenia przy podłodze można skompensować wywołując percepcję światła poprzez oświetlanie ścian lampami dekoracyjnymi.
- Jeśli istnieje dostęp do światła dziennego, to stosując regulację oświetlenia można uzyskać znaczne oszczędności. Żaluzje i rolety powinny być używane tylko w razie konieczności.
- Jeśli zastosowano sufitowe lampy kierunkowe skierowane w dół, to należy zastosować źródła powodujące niewielkie olśnienia.

Recepcja

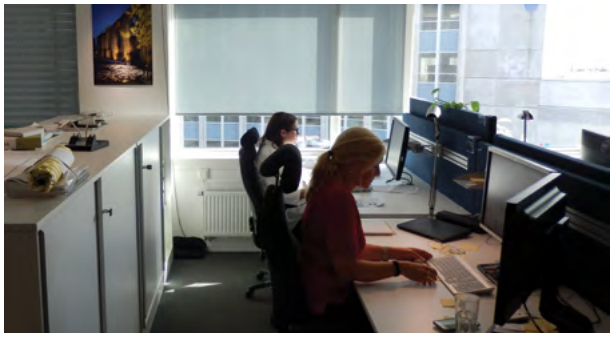
- Obszar recepcji odpowiada za pierwsze wrażenie, jakie odnoszą osoby wchodzące do obiektu, więc sposób jej organizacji powinien korespondować architektonicznie z wizerunkiem firmy, a ponadto recepcja powinna być jasna i przyjazna.
- Pod kontuarem można zastosować wbudowane oświetlenie LED.
- Lampy wiszące nad kontuarem i nad krzesłami poczekalni muszą tworzyć małe wyspy światła dające efekt przytulności.
- Bardzo ważne jest to, aby personel pracujący w recepcji wyraźnie widział wchodzących gości już w wejściu, a nie jako sylwetki, podświetlone od tyłu jasnym światłem dziennym lub sztucznym. Ważne jest również to, aby goście dobrze widzieli personel recepcji.
- Niski poziom oświetlenia przy podłodze można skompensować wywołując percepcję światła poprzez oświetlanie ścian lampami dekoracyjnymi, co pozwoli na zdefiniowanie całej przestrzeni.
- Wejścia są strefami przejściowymi zmiany sposobu oświetlenia – dlatego może być konieczne zastosowanie systemu oświetlenia o zmieniającym się natężeniu światła (od światła dziennego lub później – od zupełnej ciemności). Systemy w technologii LED mogą to zapewnić z wykorzystaniem regulacji automatycznej.



Zdjęcie: http://glamox.com/uk/solutions/stairwells

Korytarze i klatki schodowe

- Zalecane jest stosowanie jasnych, kontrastujących barw – przy progach, w drzwiach i przy stopniach schodów. Ponadto, mix światła rozproszonego i kierunkowego w dół ułatwia korzystną percepcję przestrzeni, ułatwia rozpoznawanie twarzy i uwypukla charakterystyczne kształty obiektów (np. dobrą widzialność stopni schodów).
- Jednorodność światła powinna być wystarczająca dla zapewnienia bezpiecznego poruszania się i powinna zapobiegać powstawaniu ciemnych obszarów.
- Źródła światła, które częściowo emitują światło w kierunku jasnych sufitów i/lub ścian, zazwyczaj zapewniają przyjemną atmosferę wnętrza.
- Poza godzinami pracy korzystne jest zastosowanie czujników obecności (możliwie ze stopniową regulacją oświetlenia).



Zdjęcie: Casper Kofod

Biura

- Należy rozplanować ustawienie mebli i dobrać optymalne rozwiązanie oświetlenia w zależności od wielkości pomieszczenia, liczby stanowisk pracy, rodzaju wykonywanej pracy i ilości światła dziennego.
- W bardzo dużych biurach ważne jest to, aby wewnątrz przestrzeni wydzielić małą „wyspę rekreacyjną" z odpowiednio nastrojowym oświetleniem, dla inspiracji, relaksu i małych dyskusji.
- Obszar realizacji zadań i pracy może posiadać oświetlenie ogólne lub lampy dedykowane. Zalecane jest oświetlenie dedykowane obejmujące większą powierzchnię pracy, gdyż wzrok użytkownika oraz jego uwaga automatycznie skupiają się na obszarach lepiej oświetlonych. Z kolei redukcja oświetlenia w przestrzeni otaczającej pozwala na efektywne zmniejszenie zużycia energii w porównaniu do wyżej rozmieszczonych sufitowych lamp nakierowanych miejscowo.
- Światło dedykowane powinno padać od strony przeciwnej do (dominującej) ręki pracownika.
- Intensywna praca z urządzeniami wyposażonymi w monitory ekranowe (DSE) powinna odbywać się 2-3 metry od okien.
- W przypadku pracy z DSE korzystne jest oświetlenie asymetryczne z lamp roboczych.
- Biurka i stoły oraz DSE należy rozmieścić tak, aby powierzchnie ekranów były prostopadłe do płaszczyzny okien, celem uniknięcia odbić światła z okien w ekranach oraz nadmiernego kontrastu z widokiem na zewnątrz.
- W pomieszczeniach biurowych o znacznej szerokości można zastosować automatyczną regulację strefową z czujnikami wyłączającymi kolejno rzędy lamp oświetlenia ogólnego rozmieszczone blisko okien.
- W przypadku oświetlenia ogólnego, często korzystne jest zainstalowanie czujników obecności, szczególnie w miejscach, które nie są użytkowane w sposób ciągły.
- W przypadku oświetlenia ogólnego, korzystnym energetycznie rozwiązaniem jest zastosowanie włączania ręcznego (+ automatyczne wyłączanie) na zmniejszonym poziomie oświetlenia (ściemnieniu).

- Ręczne włączanie zmusza użytkownika do nastawienia wymaganej jasności oświetlenia, co daje poczucie osobistej kontroli pracy układu.
- Proste w obsłudze i intuicyjne regulatory oświetlenia (zał./wył., ściemnianie, zmiana pozycji) są bardzo korzystne, np. dzięki zapewnieniu silniejszego strumienia światła dla osób starszych.

Zdjęcie: http://www.osram.com.au/osram_au/applications/office-buildings/conference-room/index.jsp

Sale konferencyjne i miejsca spotkań

- Oświetlenie ogólne powinno być regulowane przez ściemniacze celem dostosowania go do wymagań ze strony innego sprzętu będącego w użyciu, np. podczas prezentacji audiowizualnych, rozmów okrągłego stołu i przerw.
- Zastosowanie nieprzezroczystych rolet lub stan prawie całkowitej ciemności podczas prezentacji jest niekorzystny ponieważ wywołuje u odbiorców zmęczenie i rozproszenie uwagi.
- W większych salach można zastosować oświetlenie LED wbudowane w stół celem uzyskania małych, nieprzeszkadzających spotów świetlnych umożliwiających czytanie lub robienie notatek.
- Delikatne rozświetlenie ściany za ekranem (DSE) tworzy korzystniejszy układ w sensie luminacji w polu widzenia odbiorcy i pozwala na bardziej relaksacyjny odbiór.
- Należy unikać takich źródeł światła skierowanych na podium / tablicę, które oślepiałyby osobę prezentującą.

Kantyna

- Należy stosować regulowane oświetlenie sufitowe zapewniające rozmaite poziomy oświetlenia, różne dla przerw na kawę, lunch, a inne dla wewnętrznych spotkań, edukacji, świętowania uroczystości i sprzątania.
- Korzystne jest zastosowanie lamp wiszących, które można przesunąć w górę lub obniżyć przy wykonywaniu innych czynności.
- Należy stosować nisko usytuowane poziome lampy wraz z oświetleniem płaszczyzn pionowych (ściany, meble i drzwi) oraz lampy stołowe lub wiszące, dzięki czemu kantyna staje się przyjemniejsza i bardziej „przytulna". Dzieła sztuki na ścianach należy oświetlać lampami dedykowanymi.
- W bufecie zalecane jest oświetlenie bezpośrednie i umieszczone wysoko w celu ułatwienia identyfikacji potraw i szybkości wyboru. Wysokie odwzorowanie barwowe zapewnia dobry odbiór barw potraw i dobre samopoczucie.

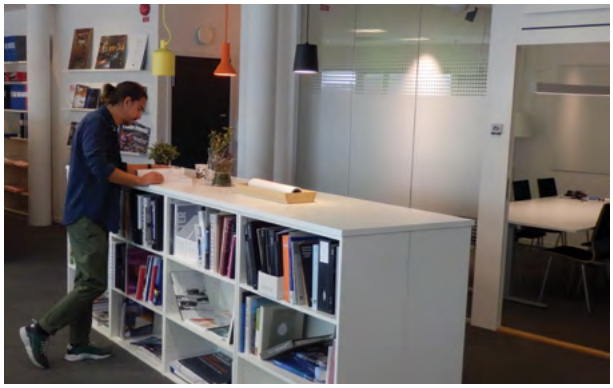
Najlepsze praktyki:
nowy system oświetleniowy LED wysokiej jakości

W roku 2015, ÅF Lighting całkowicie wymieniła oświetlenie w swoim, liczącym 350 m², biurze w Malmö.

Przed modernizacją: lampy LFL i CFL. Wszędzie notowano 300 luxów, istniał tylko jeden wyłącznik na 20 miejsc pracy. Praktycznie nie było oświetlenia pionowego ani akcentowanego.

Po modernizacji: Indywidualna regulacja wszystkich źródeł światła. Zastosowano oświetlenie akcentowane drzwi, półek, szaf, obrazów i powierzchni pionowych (pionowe oświetlenie). Oprawy oświetleniowe są regulowane i dostosowywane do indywidualnych potrzeb. RGB LED służą do tworzenia atmosfery w biurze. W dużym biurze w kształcie litery L znajduje się wiele małych „oświetlonych pomieszczeń". Rozkład światła jest lepszy. Elastyczność uległa znacznej poprawie.

Nowe oświetlenie nad półkami i lampy wiszące



Zdjęcie: Casper Kofod

Results: Współczynnik LOR uległ niemal podwojeniu (moc zainstalowana wyniosła około połowy poprzedniej wartości). Zmierzona ilość oszczędzonej energii wynosząca 92% w znacznej mierze pochodzi z regulacji i sterowania. Okres zwrotu ocenia się na 7 lat. Poprawa warunków pracy została przyjęta przez personel z wielkim zadowoleniem.

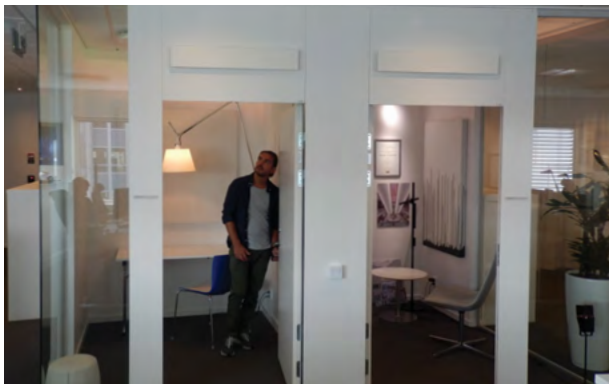
Nowy system oświetleniowy

Wykorzystanie lamp wiszących plus oświetlenie pionowe i akcentowane

Ulepszone oświetlenie zadaniowe dzięki oświetleniu pionowemu i akcentowanemu

Zdjęcie: Casper Kofod

Wykorzystanie LED RGB



Oświetlenie pionowe z wykorzystaniem rozet

Przykład najlepszych praktyk:
Zaawansowane rozwiązanie oświetlenia LED w biurowcu w Katowicach

GPP BUSINESS PARK (Górnośląski Park Przemysłowy) został wybudowany w latach 2014-15 i obecnie stanowi kompleks 3 inteligentnych budynków niskoenergetycznych (7 200 m^2), posiadających Certyfikat BREEAM. W budynkach nr 2 i 3 zainstalowano systemy oświetleniowe LED o różnych systemach regulacji. Zastosowano certyfikowane materiały o niskiej zawartości związków szkodliwych dla środowiska.

Czujniki rozmieszczone na dachach budynków mierzą ilość światła słonecznego oraz kąt padania promieni słonecznych. System regulacji automatycznie ściemnia lub rozjaśnia oświetlenie sztuczne w budynkach, w zależności od warunków zewnętrznych. Zastosowano czujniki, które automatycznie wyłączają światło w razie nieobecności osób w pomieszczeniach. Zastosowano również system, który steruje żaluzjami, w celu zapobiegania olśnieniom światłem słonecznym.

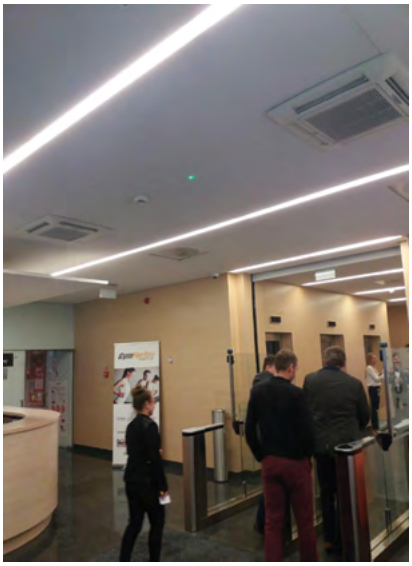
Zastosowany system oświetleniowy LITENET zapewnia natężenie oświetlenia o wartości 500 lx na stanowiskach roboczych. Układy regulacji oświetleniem redukują zużycie energii o 40%. Średnie zapotrzebowanie budynku na energię na oświetlenie wynosi około 2 kWh/m^2/rok.

GPP Business PARK in Katowice

Zdjęcie: Łukasz Rajek

Źródło: www.zumtobel.com

Panele i lampy LED



Zdjęcie: Łukasz Rajek

6.2 Szkoły

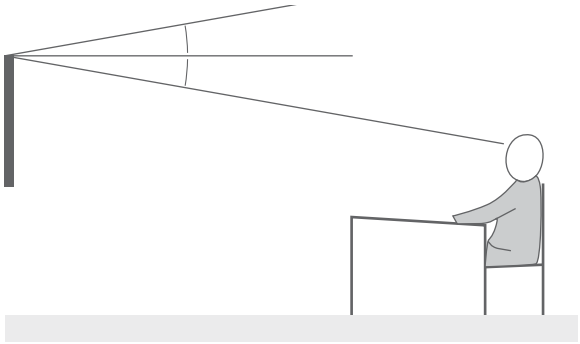
Zarówno prowadzenie lekcji w szkole, jak i uczenie się, wymagają dobrego oświetlenia. Nasz wzrok jest na tyle elastyczny, że nie do końca uświadamiamy sobie niedostatki wynikające ze słabego oświetlenia, może to skutkować wolniejszym czytaniem, słabszym rozumieniem czytanego tekstu i spadkiem koncentracji.

Ogólne rekomendacje dla wszystkich pomieszczeń

- Podjęta na wstępie decyzja i późniejsze regularne przeprowadzanie konserwacji, czyszczenia i wymian podczas wakacji, pozwoli zredukować przewymiarowane oświetlenie, uzyskując w ten sposób oszczędności energii.
- Niski poziom oświetlenia przy podłodze można skompensować wywołując percepcję światła poprzez oświetlanie ścian, np. lampy dekoracyjne.
- Jeśli istnieje dostęp do światła dziennego, to stosując regulację oświetlenia można uzyskać znaczne oszczędności. Żaluzje i rolety powinny być używane tylko w razie konieczności.
- Jeśli zastosowano sufitowe lampy kierunkowe skierowane w dół, to należy zastosować źródła nie powodujące olśnień.

Pomieszczenia klasowe

- Tradycyjne pomieszczenia klasowe mają duże okna dające idealny komfort podczas lekcji, jednak w sytuacji korzystania z projektorów ekranowych, urządzeń DSE i podobnych, powinien być zapewniony skuteczny sposób zasłaniania i odsłaniania okien, aby można łatwo i skutecznie odciąć dopływ światła słonecznego.
- W szerokich klasach oszczędności energii można osiągnąć stosując strefową regulację oświetlenia ogólnego. Tak więc, jeśli dostęp światła słonecznego jest wystarczający w pobliżu okien, rzędy lamp oświetlenia ogólnego przy oknach można wyłączać, najkorzystniej za pomocą automatyki z czujnikami.
- W oświetleniu sali należy odnaleźć punkt równowagi pomiędzy przestrzeniami w których wymagane jest jasne światło, tak aby uczniowie potrafili się skupić, a przestrzeniami na projekcje ekranowe, w których tak jasne światło nie jest wymagane.
- Oświetlenie ogólne należy zoptymalizować na potrzeby czytania, pisania i komunikacji, wykorzystując światło raczej rozproszone oraz odpowiednią liczbę lamp (lepiej jest dać więcej mniejszych lamp niż mniej mocniejszych) lub stosując źródła o świetle skierowanym na jasne ściany i/lub na sufit.
- Należy unikać stosowania lamp położonych blisko linii wzroku oraz lamp dających jasne odblaski. Ekrany i projektory należy umieścić tak, aby powierzchnie ekranów były prostopadłe do płaszczyzn okien, najlepiej jeśli okna znajdują się na lewo od nich.
- Odnośnie oświetlenia tablic, wybór lamp i ich położenie ma kluczowe znaczenie zarówno dla widoczności tablic, jak i pod względem olśnień. Może okazać się konieczne zastosowanie regulatorów ściemniających.
- Oświetlenie tablic należy zamontować w pewnej odległości od górnej krawędzi tablicy, aby zapewnić prawidłowe oświetlenie jej dolnej części. Jeśli jednak źródła są zainstalowane zbyt daleko i mają wiązkę zbliżoną do poziomej, to jasne odblaski mogą bardzo przeszkadzać uczniom siedzącym w pierwszym rzędzie ławek (p. ilustracja poniżej).



- Światło, które jest wymagane do dobrego odwzorowania barw, np. na lekcjach chemii, biologii czy na zajęciach technicznych, można zapewnić dzięki zastosowaniu dużych okien skierowanych na północ i/lub źródeł światła o spektrum zbliżonym do światła dziennego oraz o wysokim wskaźniku oddawaniu barw, np. Ra 90.

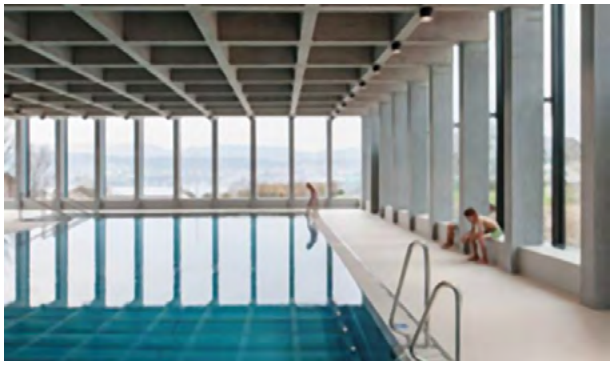
Zdjęcie: DCL, Dania

Korytarze i klatki schodowe

- Dla zapewnienia bezpieczeństwa należy zadbać o równomierne oświetlenie i nie dopuszczać do powstawania ciemnych obszarów.
- Wskazówki kierunkowe, duży kontrast, światło dzienne i różnorodność barw (podłoga ciemniejsza niż ściany, a sufity jaśniejsze niż ściany) wspomagają prowadzenie osób. Zdjęcie poniżej przedstawia znakomity przykład dobrego oświetlenia i oznakowania.
- Oświetlenie na schodach powinno być zapewnione w taki sposób, aby same stopnie były jasne, a części pionowe stopni ciemne. To implikuje instalowanie oświetlenia od góry, a nie od dołu. Ponadto, mix światła rozproszonego i kierunkowegow dół pozwala na uzyskanie dobrej percepcji przestrzeni, rozpoznawanie twarzy i charakterystycznych kształtów (dobra widzialność schodów).
- Korytarze i schody są użytkowane głównie podczas przerw i dlatego zastosowanie czujników obecności może pozwolić na znaczne oszczędności energii. Zaleca się jednak ściemnienie do 10-20% pełnego strumienia światła, gdyż wielu ludzi nie lubi wchodzić do ciemnego i pustego korytarza.

Foyer i aula

- Z uwagi na wiele różnych czynności i sytuacji jakie mogą tu mieć miejsce, należy zapewnić odpowiednie oświetlenie. Mogą to być prezentacje, egzaminy, czy występy teatru amatorskiego. Może okazać się, że potrzebne będzie zainstalowanie dwóch lub więcej niezależnych systemów oświetlenia, takich jak oświetlenie dla prezentacji, sprzątania czy oświetlenie akcentowane / sceniczne.
- We foyer ze schodami lub w hallu z wysokim sufitem można zainstalować górne światła LED o długiej trwałości. Alternatywnie, można zainstalować długotrwałe działające lampy LED świecące ku górze.
- Stopnie na schodach należy oznaczyć kontrastowymi barwami i można je wyposażyć we wbudowane nieściemnialne lampy LED. Ze względów bezpieczeństwa, ważne jest, aby stopnie były wyraźnie widoczne nawet przy znacznym ściemnieniu oświetlenia głównego.
- Należy unikać oświetlenia ściemnianego i pozbawionego kontrastu ponieważ powoduje ono dekoncentrację u osób obecnych w pomieszczeniu.
- W audytorium dobrze jest umieścić ekran w niszy, która osłania prze światłem bezpośrednim i pozwala na oświetlenie podium i prezentera.



Zdjęcie: http://www.archello.com/en/project/swimming-pool-de-vrolijkheid/2042222

Sale gimnastyczne i baseny

- Mile widziane jest światło dzienne. Na dobór i rozmieszczenie źródeł światła wpływają względy bezpieczeństwa, ponieważ wymagają one solidnej ochrony przed uszkodzeniami.
- Ściemnianie głównego oświetlenia jest wymagane wtedy, gdy sala gimnastyczna jest również wykorzystywana do egzaminów, uroczystości, koncertów muzycznych i innych wydarzeń.
- Dla basenów projekt oświetlenia powinien zapewniać minimum olśnień i odbić od powierzchni wody. Lampy LED są idealne do wszelkich zastosowań, za wyjątkiem sauny. Ich wykonanie musi być maksymalnie wodoszczelne i gazoszczelne (chlor).
- Wyłączniki czasowe zalecane są tam, gdzie następuje wyłączanie oświetlenia o ustalonych porach doby, co ma związek z planem zajęć w sali gimnastycznej lub na basenie.
- Dalsze zalecenia można znaleźć w normie PN-EN 12193:2008 *Światło i oświetlenie – Oświetlenie w sporcie*.

Przykład najlepszych praktyk:
Ciepłe i zimne światło białe wspomagające efektywne uczenie się

W szkole Westbrook Lane w Leeds przeprowadzono kompleksową modernizację oświetlenia i zastąpiono stare oprawy nowymi w technologii LED.

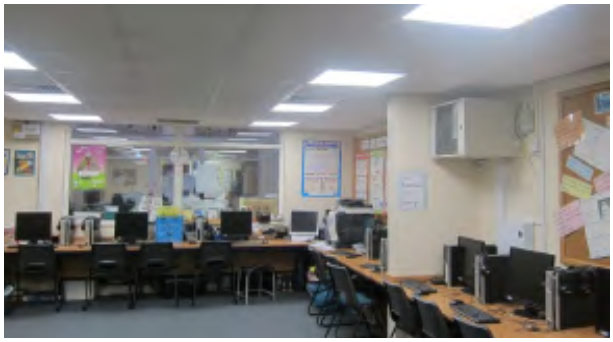
Przed modernizacją: 198 opraw z LFL T8 lub T12, żarówki i lampy PL oraz 7 zewnętrznych lamp HPSA. W szkole skarżono się na niski poziom oświetlenia w klasach i konieczność częstej konserwacji i czyszczenia.

Po modernizacji: 221 lamp LED o specyficznych, zróżnicowanych temperaturach barwowych. Nie zainstalowano regulacji oświetlenia. Poprawiło się bezpieczeństwo przy wystarczającym poziomie oświetlenia. Modernizację ukończono na koniec 2015 roku.

Result: W wyniku modernizacji osiągnięto 59% oszczędności energii. Okres zwrotu inwestycji wynosi 8 lat.

The Energy Saving Trust (Wielka Brytania) wybrał ten przykład jako najlepszy z uwagi na poprawę warunków nauki poprzez połączenie ciepłego i chłodnego światła ze źródeł LED.

Nowe oświetlenie LED



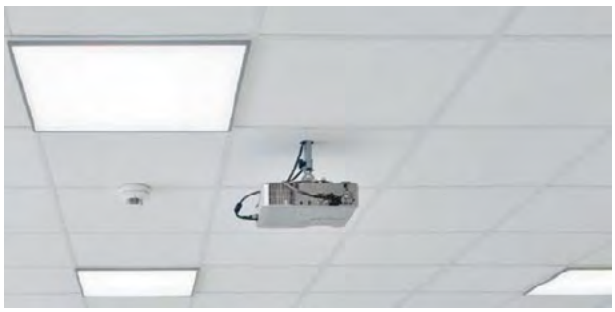
Przykład najlepszych praktyk:
zastosowanie oświetlenia LED w szkole technicznej TGM w Wiedniu

Szkoła techniczna TGM w Wiedniu zwróciła szczególną uwagę na efektywność energetyczną i zrównoważoną gospodarkę. W 2013 roku zdecydowano o modernizacji oświetlenia w klasach z zastosowaniem technologii LED, w celu uzyskania lepszej atmosfery do nauki uczniów, znacznej redukcji zużycia energii i kosztów eksploatacyjnych. Wybrano sufitowe lampy LED, aby osiągnąć w klasach poczucie oświetlenia naturalnego.

System regulacji i zarządzania oświetleniem zainstalowano w taki sposób, aby mierzył on ilość i natężenie światła słonecznego. System automatycznej regulacji oświetlenia redukcje zapotrzebowania na światło sztuczne w maksymalnym możliwym stopniu, zwłaszcza w przypadku lamp zainstalowanych w pobliżu okien. Panel sterujący zainstalowano w każdym pomieszczeniu, co umożliwia dokonywanie wyboru pomiędzy trzema różnymi kombinacjami oświetlenia. Modernizację ukończono w 2015 roku. Pozwoliła uzyskać 67% oszczędności energii przy okresie zwrotu 6 lat.

Stara oprawa ze świetlówkami liniowymi T8

Nowe oprawy LED



6.3 Muzea i sale wystaw

Źródła LED można łączyć w dowolny sposób, aby uzyskać bardzo efektywne oświetlenie. Poszczególne LEDy można ściemniać, co pozwala na dynamiczną regulację dystrybucji światła i barwy. Prawidłowo zaprojektowane oświetlenie LED pozwala na uzyskanie fantastycznych efektów, zarówno dla oka, nastroju, jak i umysłu. Z tego względu oświetlenie LED oferuje wiele możliwości dla muzeów i sal wystawowych.

Powierzchnia wystawowa

- Oświetlenie LED wytwarza mało światła w paśmie podczerwieni, prawie w ogóle nie emituje promieni UV i wytwarza niewiele ciepła. Z tego względu oświetlenie LED jest bezpieczne dla wrażliwych obiektów, takich jak: obrazy, galerie sztuki, stanowiska archeologiczne, itp. Jeśli w poprzednio stosowanych systemach oświetleniowych było wykorzystywane chłodzenie, to po zastosowaniu LED można również uzyskać oszczędności z tytułu jego uniknięcia.
- Wybór właściwego białego źródła światła w technologii LED pod względem jakości widmowej (temperatura barwowa), oddawania barw, rodzaju opraw (dające rozproszone lub kierunkowe światło), może mieć ogromny wpływ na percepcję. W idealnej sytuacji, może być ono ściśle dostosowane do poszczególnych obiektów i dzieł sztuki.
- Lampy LED typu RGB posiadają możliwość regulacji i dostrajania barw dla uzyskania dowolnej barwy finalnej.
- Oświetlenie muzealne w technologii LED można zastosować dla uzyskania różnych rodzajów odbioru dzieł sztuki w nocy. Tę metodę zastosowano w muzeum Glyptotekt w Kopenhadze (na ilustracji poniżej – światło dzienne w ciągu dnia)

Korytarze i schody

- Źródła światła, które częściowo emitują światło w kierunku jasnych sufitów i/lub ścian zazwyczaj zapewniają przyjemną atmosferę wnętrza.
- Dla zapewnienia bezpieczeństwa należy zadbać o równomierne oświetlenie i nie dopuszczać do powstawania ciemnych obszarów.
- Oświetlenie na schodach powinno być zapewnione w taki sposób, aby same stopnie były jasne, a części pionowe stopni ciemne. To implikuje instalowanie oświetlenia od góry, a nie od dołu. Ponadto, mix światła rozproszonego i kierunkowego w dół pozwala na uzyskanie dobrej percepcji przestrzeni, rozpoznawanie twarzy i charakterystycznych kształtów (dobra widzialność schodów).
- Jeśli dostępne jest światło dzienne, to automatyczna regulacja i sterowanie mogą zapewnić znaczne oszczędności.

Zdjęcie: Casper Kofod

Aula

- Światło dzienne i kontakt wzrokowy z otoczeniem zewnętrznym wpływają korzystnie na samopoczucie i pozwalają zaoszczędzić energię. Konieczne jest stosowanie również osłon przeciwsłonecznych.
- Odpowiednie oświetlenie należy zapewnić dla każdego rodzaju prac: dla prezentacji, debaty, spektaklu teatralnego i dla personelu sprzątającego.
- Jeśli sufit znajduje się wysoko, to można zastosować LED-y górnego oświetlenia o dużej trwałości.
- Stopnie schodów należy oznaczyć kontrastowym kolorem. Można również zastosować wbudowane ściemniane lampy LED, ponieważ stopnie schodów muszą być zawsze wyraźnie widoczne.
- Należy unikać oświetlenia ściemnianego i rozproszonego bez kontrastu, gdyż może to ujemnie wpływać na koncentrację u odbiorców.

Przykład najlepszej praktyki: modernizacja oświetlenia historycznego ratusza w Bremen

Historyczny ratusz w Bremen zbudowano w latach 1405 – 1408. Budynek znajduje się na liście Światowego Dziedzictwa. Stare oświetlenie wykorzystywało tradycyjne lampy żarowe.

W 2014 roku powołano zespół ekspertów w celu zbadania możliwości wymiany starego oświetlenia na LED. Jakość oświetlenia (temperatura barwowa, oddawanie barw) oraz względy estetyczne w przypadku tego obiektu zabytkowego były bardzo ważne.

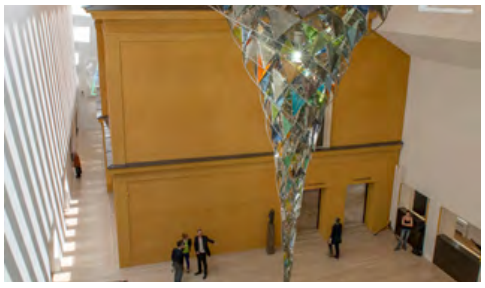
W 2016 roku zaproponowano i zainstalowano oświetlenie w technologii LED. Okres zwrotu wynosi poniżej 2 lat.

Nowy system oświetlenia

Przykład zastosowania oświetlenia LED, jako środka artystycznego

Muzeum Lenbachhaus w Monachium wykorzystuje energooszczędny system oświetlenia LED jako środek artystyczny, np. w północnej klatce schodowej (poniżej na zdjęciu) zastosowano czerwono-białą strukturę źródła światła w formie kompozycji przestrzennej.

Zastosowano ponad 170 000 LED-ów oraz inteligentne sterowanie, co pozwala na uzyskanie prawie 100 tonacji barw i poziomów jasności. Dzięki temu, opiekunowie muzeum mają możliwość oświetlenia każdego eksponatu idealnie dobranym światłem. Wiele innych muzeów żywo interesuje się tym innowacyjnym sposobem oświetlania.



6.4 Handel detaliczny

W centrach handlowych panuje ostra konkurencja. Dobrze przemyślany system oświetleniowy może być bardzo skutecznym sposobem zachęcenia klientów do zakupów. Dobre oświetlenie tworzy nastrój i wspiera chęć dokonania zakupu. Zazwyczaj sieci handlowe muszą spełniać bardzo surowe wymogi korporacyjne odnośnie projektu oświetlenia.

Oświetlenie LED daje bardzo duże możliwości osiągania fantastycznych efektów świetlnych, nie tylko wzrokowych, ale również wpływających na nastrój i umysł.

Ważną kwestię stanowi to, aby personel miał dobre wizualnie warunki pracy i nie borykał się z olśnieniami. Niestety, zbyt wiele sklepów utożsamia jakość oświetlenia z jego ilością, co skutkuje nadmiernym oświetleniem i w rezultacie daje warunki dalekie od optymalnych. Oświetlenie sklepów powinno być zróżnicowane i prowadzić kupujących przez sklep do miejsc, które zachęcają do tego, aby się zatrzymać i obejrzeć towary.

- Często sklepy borykają się z przegrzewaniem pomieszczeń wywoływanym przez lampy żarowe lub halogenowe. Przejście na oświetlenie w technologii LED rozwiązuje ten problem i pozwala zaoszczędzić energię uprzednio zużywaną na chłodzenie.
- Światło dzienne zachęca klientów i akcentuje profil oraz wygląd sklepu. Lampy LED – RGB dają możliwość dostrajania barwy światła oraz umożliwiają eksponowanie produktów. Zaprogramowane zmiany barw w czasie mogą stanowić element takiej formy ekspozycji.
- Oświetlenie w przestrzeni wejściowej powinno zachęcać i tworzyć strefę łagodnego przejścia pomiędzy silnym światłem dziennym a oświetleniem wewnątrz sklepu.

- Zalecane jest podzielenie sklepu na strefy posiadające różne wymogi oświetleniowe: kasa, wejście, wystawa, niskie podium, wysokie półki, przejścia, przymierzalnie itd.
- Ponieważ wzrok jest przyciągany i dostosowuje się do jasnego oświetlenia i jasnych obiektów w polu widzenia, niezbędne jest nakierowanie największych strumieni światła na towary szczególne polecane do sprzedaży, a mniejszego strumienia światła na „zwykłe" towary. Najmniej światła potrzebne jest w ciągach komunikacyjnych.
- Dobrze nakierowane światło punktowe uzupełnia wystrój wnętrza dzięki podkreślaniu kształtów, kolorów i tekstury. Te elementy nadają sklepowi witalności.
- Należy unikać bardzo dużych zmian w oświetleniu i mocy lamp, ponieważ mogą być niewygodne i męczące dla personelu.
- Światła LED zabudowane w regałach i w lodówkach skupiają uwagę klientów.
- Na ogół konieczne jest unikanie olśnień, a także odbić i refleksów od jasnych powierzchni.
- Oświetlenie działające lokalnie ponad ladami wywołuje skupienie uwagi, przyjazną atmosferę i wystarczającą ilość światła na to, aby dobrze widzieć pieniądze, karty kredytowe itp.
- Oświetlenie w pomieszczeniach, na zapleczu i w magazynach, powinno być wystarczająco silne dla wykonywania pracy. Korzystne jest także zainstalowanie czujników obecności w celu regulacji oświetlenia.

Przykład najlepszych praktyk: lepsza jakość oświetlenia bez "prześwietlenia" i duże oszczędności

Księgarnia La Capell w Barcelonie została zmodernizowana w latach 2015 – 2016 i wyposażona w oświetlenie LED.

Przed modernizacją: 1170 źródeł CFL, 70 halogenów punktowych i 10 LFL. Wewnątrz półek z książkami zostały umieszczone źródła CFL, a ich światło było zbyt jasne.

Po modernizacji: Zaledwie 54 punktowe LED i 18 liniowych LED wystarczają do zapewnienia lepszego oświetlenia, książki są lepiej prezentowane. Nowy strumień światła stanowi 20% poprzedniego.

Roczne koszty oświetlenia stanowią do 10% poprzednich, zmniejszono również znacząco taryfową opłatę za moc (W). Zredukowano koszty utrzymania. **Okres zwrotu wynosi mniej niż rok**. Po zainstalowaniu nowego oświetlenia wzrosła sprzedaż książek.

Kontrahent przekonał kierownictwo księgarni o pozytywnych efektach modernizacji instalacji przez zainstalowanie próbek produktów LED. Do sukcesu przyczyniło się również to, że instalacje wykonał przeszkolony instalator, który nie miał żadnych problemów podczas swojej pracy.

Stare oświetlenie

Nowe oświetlenie

Przykład najlepszych praktyk:
Wymiana lamp żarowych w kawiarni w Leeds

Lampy żarowe z włóknem spiralnym są od kilku lat modne w barach, kawiarniach, restauracjach i sklepach. Źródła światła tego typu pozostają w obrocie handlowym po ograniczeniach handlowych nałożonych na żarówki w 2012 roku, co wynika z luki prawnej w przepisach UE. Takie żarówki dają bardzo ciepłe białe światło (około 2200 K) i mają ładny wygląd.

Lukę zlikwidowano w 2016 roku. W tym samym czasie na rynek weszły podobne lampy LED wysokiej jakości. Mają taką samą stylizację, dając podobny nastrój otoczenia i wysoki współczynnik oddawania barw Ra = 90.

Lampy LED zużywają jedną dziesiątą energii w porównaniu z żarnikowymi i mają trwałość rzędu 15000 godzin. Okres zwrotu nie przekracza pół roku.

Osiągnięto również bardzo korzystny efekt estetyczny dzięki nowemu oświetleniu LED, co podkreślają goście kawiarni, jej właściciel i media publiczne.

Nowe oświetlenie LED

6.5 Służba zdrowia

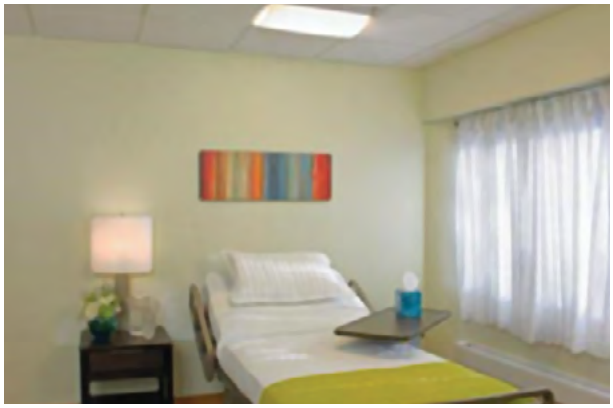
Jakość i ilość światła są istotne dla szybkości powrotu do zdrowia i samopoczucia pacjentów. Większość działań związanych z opieką zdrowotną przebiega z wykorzystaniem oświetlenia sztucznego.

Tradycyjnie, oświetlenie w obiektach służby zdrowia bazuje na ustalonym poziomie ze stałym współczynnikiem CCT. Nie jest to spójne z dobowym rytmem dobowym człowieka, gdyż w ciągu doby następują nieuchwytne zmiany ilościowe działania organów wydzielania wewnętrznego (poziomu dopaminy odpowiedzialnej za odczucie przyjemności, seratoniny za kontrolę emocji i zmiany w przyswajaniu węglowodanów, wydzielania kortyzolu w reakcji na stres, a w nocy – melatoniny zapewniającej sen i rekreację organizmu). Bez regularnego i bezpośredniego wpływu światła dziennego, rytm dobowy ulega zakłóceniu, co może również prowadzić do problemów zdrowotnych takich jak problemy ze snem, ponieważ światło i ciemność regulują produkcję hormonów.

Niektóre systemy oświetleniowe LED dają możliwość regulacji natężenia światła (ściemniania) i "dostrajania" korelowanej temperatury barwowej, co – w percepcji pacjentów – pozwala na poprawę warunków fizycznych. Starannie zaprojektowane oświetlenie może wspomagać utrzymanie rytmu dobowego u pacjentów. Oświetlenie może być zapewnione przez lampy LED o regulowanej temperaturze barwowej pomiędzy 1800 a 6500 K.

Następuje ciągły postęp w instalowaniu nowych systemów oświetlenia „*humanocentrycznego*", uwzględniającego zapotrzebowanie organizmu ludzkiego. Szczególnie widoczny jest ten trend w szpitalach, gdzie pacjenci spędzają praktycznie 100% czasu w pomieszczeniach.

System ten naśladuje światło dzienne i jego efekty psychologiczne, bezpośrednio niewidoczne.



Zdjęcie: http://www.visalighting.com/unity-patient-room-lighting-now-led

Sale chorych

- Dostęp i widok światła dziennego wspomagają powrót do zdrowia.
- Dodatkowe światło skierowane na ściany i sufit daje odczucie jasności, nawet przy umiarkowanym poziomie oświetlenia.
- Można zastosować wbudowane oświetlenie stołowe (w blat stołu), aby ograniczyć do minimum przeszkadzanie innym pacjentom w sali.
- Rano jasne światło jest korzystne dla pacjenta z uwagi na rytm dobowy, a także zapobieganie stanom depresyjnym. Regulacja strumienia oświetlenia ogólnego umożliwia osiągnięcie elastyczności pozwalającej na zastosowanie silnego oświetlenia rano i podczas sprzątania. Nocą, zastosowanie czerwonego światła zapobiega zakłócaniu rytmu dobowego u pacjentów.
- Oświetlenie w technologii LED zapewnia możliwość naśladowania niewidocznych (niewidzialnych) efektów fizjologicznych i psychologicznych, jakie normalnie powstają pod wpływem światła dziennego.
- Regulacja indywidualna, np. z wykorzystaniem przenośnych urządzeń oświetlenia stołowego i lamp do czytania, jest szczególnie mile widziana przez pacjentów.

Korytarze i schody

- Zróżnicowanie oświetlenia powinno być wystarczające dla zapewnienia bezpieczeństwa poruszania się i dla zapobiegania powstawaniu ciemnych obszarów.
- Oświetlenie schodów powinno być tak realizowane, by stopnie były jaśniejsze, a części pionowe stopni ciemniejsze. To implikuje instalowanie oświetlenia od góry, a nie od dołu. Ponadto, mix światła rozproszonego i kierunkowego w dół pozwala na uzyskanie dobrej percepcji przestrzeni, rozpoznawanie twarzy i charakterystycznych kształtów (dobra widzialność schodów).
- Zazwyczaj oświetlenie korytarzy i schodów pozostaje włączone. Można osiągnąć oszczędności energii regulując natężenie światła w nocy w korytarzach. Zastosowanie czerwonawego lub bursztynowego światła zapobiega zakłócaniu rytmu dobowego i rytmu snu u pacjentów.

Sale operacyjne

Oświetlenie w salach operacyjnych jest bardzo zaawansowane technicznie i musi być projektowane przez specjalistów. Dlatego w tym poradniku ograniczono się tylko do dwóch ogólnych uwag, uwzględniających zalety zastosowania technologii LED:

- Spektrum światła w technologii LED można dostrajać, co jest ważne dla dobrej widoczności podczas operacji.
- Wiele operacji przeprowadza się w formie zabiegów chirurgicznych na bardzo małym polu operacyjnym i laparoskopowo, co oznacza ze chirurg musi bardzo dobrze widzieć zarówno pacjenta, jak i ekran DSE. Podczas zabiegów z wykorzystaniem DSE, chirurg musi mieć możliwość rozróżnienia przez wiele godzin różnych odcieni czerwieni i innych barw. Oświetlenie LED zapewnia bardzo szerokie możliwości w tym zakresie.

Przykład najlepszych praktyk:
Modernizacja z zastosowań oświetlenia LED *„humanocentrycznego”*

W 2016 roku w duńskim szpitalu Slagelse ukończono wymianę systemu oświetleniowego, wobec którego istniał wymóg zachowania własności akustycznych sufitu i z tego względu należało wykorzystać istniejące otwory na oprawy oświetleniowe.

Przed modernizacją: 1 640 lamp ze źródłami LFL powodujących olśnienia / odblaski, problemy przy czyszczeniu i nieco zbyt niski poziom oświetlenia.

Po modernizacji: Hermetyczne, pyłoszczelne lampy LED o regulowanej jasności, o lepszym paśmie widmowym i zapewniające oświetlenie “humanocentryczne” z systemem DALI.

Wyniki: 28% strumienia światła, 33% oszczędności energii i 5 lat okresu zwrotu.

Opcjonalnie: Można zastosować regulację światła z uwzględnieniem światła dziennego i czujników PIR. Potencjalne oszczędności wynoszą około 40%.

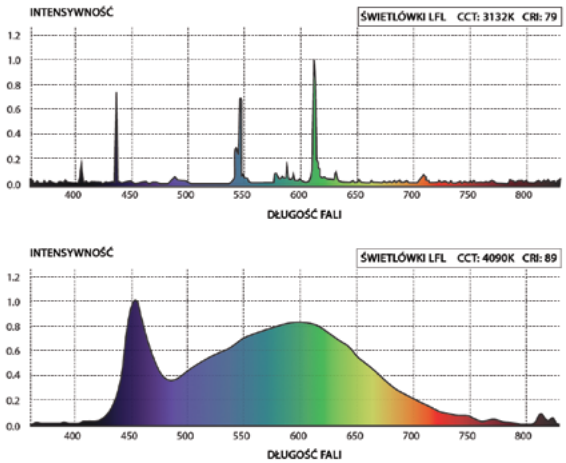
Nowe oświetlenie LED poprawiło funkcjonalność i jakość światła, zapewniło oszczędności, zniwelowało efekty olśnienia, ułatwiło czyszczenie (sprzątanie) i poprawiło samopoczucie pacjentów, osób odwiedzających i personelu. Nowe oświetlenie LED stanowi inspirację dla innych szpitali.

Instalowanie nowego oświetlenia LED

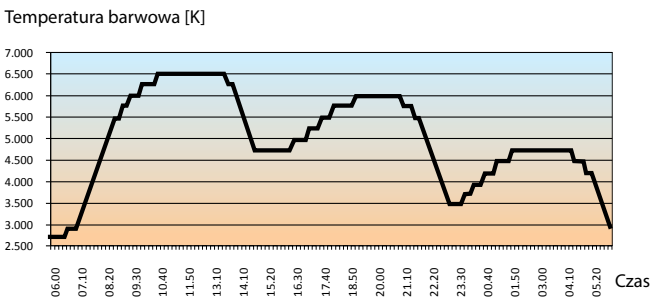
Nowe oświetlenie LED

Stare oświetlenie LFL

Znacznie lepsze spektrum z lampami LED



Dobowa zmiana światła „humanocentrycznego”



Przykład najlepszych praktyk: Oświetlenie LED w szpitalu Nisa w Hiszpanii

Mając świadomość wpływu oświetlenia na percepcję i samopoczucie zbiorowe szpital Nisa zdecydował się na przeprowadzenie całkowitej wymiany systemu oświetlenia na system LED, o wysokiej jakości z uwzględnieniem jednorodności, poziomów oświetlenia, efektywności i komfortu wizualnego.

Wymiana oświetlenia w siedmiu szpitalach poskutkowała oszczędnościami rzędu 64% i redukcją emisji CO_2 o 2 169 ton rocznie. Wyniki osiągnięte w szpitalu w Walencji za 2015 rok przedstawiono w raporcie. W obiekcie 8500 punktów świetlnych (PLC, i halogeny) zamieniono na lampy LED, co pozwoliło na uzyskanie wyśmienitych efektów w zakresie efektywności, jakości, jednorodności i poziomów oświetlenia, regulacji w systemie DALI, przy okresie zwrotu wynoszącym zaledwie 0,6 roku.

Doświadczenie szpitala, który uzyskał wyższą jakość oświetlenia, jest ważne dla personelu i pacjentów, w szczególności w kontekście ich powrotu do zdrowia.

Nowe oświetlenie LED

7. Terminologia zastosowana w poradniku

Termin	Definicja
Oświetlenie akcentowane	Punktowe oświetlenie prezentowanego towaru w sklepie lub cechy budynku
Średnie natężenie	Uśrednione natężenie światła (luks) na danej powierzchni
Oświetlenie otoczenia	Światło w otoczeniu lub wokół obiektu
Adaptacja	Zdolność oka ludzkiego do adaptowania się do różnych poziomów oświetlenia
Akomodacja	Dostosowanie się ogniskowej soczewki oka ludzkiego w celu uzyskania ostrości obrazu na siatkówce
Balast	Urządzenie zastosowane wraz elektryczną lampą wyładowczą, dla zapewnienia właściwych parametrów pracy obwodu elektrycznego (napięcie, prąd i przebieg) podczas włączania i eksploatacji, np. przez ograniczanie natężenia prądu w lampach fluorescencyjnych i typu HID
Wskaźnik oddawania barw (CRI)	Miara ilościowa o wartościach do 100 Ra (gdzie 100 oznacza najlepszą jakość) zdolności źródła światła to odtwarzania barw różnych obiektów w sposób wierny w stosunku do referencyjnego źródła światła. Od źródła światła oczekuje się wysokiego współczynnika Ra, gdyż wtedy barwy są mniej zniekształcone.
Skorelowana temperatura barwowa (CCT)	Wielkość mierzona w stopniach Kelvina (K) służąca do opisu jakości źródła światła, poprzez podanie miary widzialności barwy w korelacji z ciałem doskonale czarnym. Temperatury barwowe powyżej 4000 K są widziane jako chłodne zimne, a temperatury barwowe poniżej 3200 K są widoczne jako ciepłe.
Kontrast	Różnica pomiędzy jasnością oświetlenia obiektu a jasnością jego bezpośredniego tła.
Cylindryczne natężenie oświetlenia w danym punkcie	Średnie pionowe natężenie oświetlenia obliczone w danym punkcie dla chwilowych położeń podczas ich pełnego obrotu wokół pionowej osi przechodzącej przez dany punkt.
Współczynnik oświetlenia światłem dziennym	Zdefiniowany jest dla zachmurzonego nieba wskazuje, jaka ilość światła dziennego dociera do powierzchni lub wybranego punktu w pomieszczeniu.
Światło rozproszone	Światło rozpływające się w różnych kierunkach. Lampy bezkierunkowe zazwyczaj opisuje się jako źródła światła rozproszonego.
Współczynnik rozproszenia	Stosunek strumienia światła opuszczającego powierzchnię przez odbicie rozpraszające do strumienia światła docierającego.
Odbicie rozproszeniowe	Proces, poprzez który następuje zmiana kierunku światła padającego w danym zakresie kątów.
Dyfuzor	Urządzenie służące do przekierowania lub rozproszenia strumienia światła za jego źródłem, zazwyczaj w drodze transmisji z rozproszeniem.
Źródło kierunkowe (punktowe)	Małe kierunkowe źródło światła, które kieruje strumień światła wprost w ustawiony kierunek.
Sterownik	Urządzenie zainstalowane pomiędzy przyłączem zasilania a modułem(ami) LED, mające na celu zasilanie LED-ów energią elektryczną o prawidłowym napięciu i natężeniu prądu.
Migotanie	Wrażenie bardzo szybkich i powtarzalnych zmian jasności lampy lub (rzadziej) barwy światła.
Gateway	Urządzenie pośredniczące pomiędzy dwiema sieciami stosującymi różne protokoły, w których mogą być zastosowane różne szybkości transmisji danych.
Olśnienie	Dyskomfort lub zakłócenie odbioru wzrokowego, wynikające z obecności w polu widzenia skrajnie jasnego obiektu na ciemnym tle.
Poziome natężenie oświelenia	Natężenie oświetlenia na poziomej powierzchni, mierzone w luksach (lx)

Termin	Definicja
Natężenie oświetlenia	Miara ilości światła docierającej do powierzchni, podawana w luksach (lx)
Oświetlenie pośrednie	Oświetlenie lampami emitującymi 90-100% światła ku górze. Światło rozchodzi się po pomieszczeniu poprzez odbicie od sufitu.
Lampa	Urządzenie emitujące światło, działające w sposób niezależny i zawierające jedno lub więcej źródeł światła. Może zawierać elementy składowe, niezbędne do włączenia, zasilania lub stabilnego działania jednostki lub do dystrybucji, filtrowania lub transformacji promieniowania w paśmie widzialnym.
Źródło LED	Połączenie jednego sterownika i jednego lub więcej modułów LED.
Moduł LED	Element źródła światła. Może zawierać elementy optyczne, mechaniczne, elektryczne i elektroniczne, jednakże bez sterownika.
Panel LED	Komplet (zestaw) LED zawierający soczewkę optyczną, przewód łączący (w celu przyłączenia zespołu do płytki z obwodem drukowanym) i elementy elektroniczne, w osłonie żywicznej izolującej i chroniącej.
Soczewka	Element szklany lub z tworzywa sztucznego stosowany w lampach w celu zmiany kierunku i do regulacji rozpraszania promieni świetlnych.
Trwałość	Mierzona łącznie z uwzględnieniem utrzymywania lub straty właściwości strumienia światła i udziału uszkodzeń lub zniszczenia fizycznego. Strata emisji światła stanowi redukcję ilości światła na wyjściu z urządzenia w funkcji czasu. Odsetek uszkodzeń stanowi procentowy udział sytuacji uszkodzenia w okresie trwałości.
Światło	Energia promienista posiadająca właściwości oddziaływania na siatkówkę oka i wywoływania wrażeń wzrokowych. Pasmo widzialne promieniowania elektromagnetycznego zawiera się w przedziale od 380 do 780 nm
Dystrybucja światła	Opisuje w jaki sposób światło jest rozsyłane po wypromieniowaniu ze źródła
Źródło światła	Powierzchnia lub obiekt zaprojektowany tak, aby emitować głównie promieniowanie w zakresie widzialnym o długości fali od 380 do 780 nm.
Regulacja oświetlenia	Regulacja oświetlenia dotyczy inteligentnego urządzenia, które może zawierać przekaźniki, czujniki obecności, fotokomórki, wyłączniki oświetlenia lub może odbierać sygnały od innych systemów budynku (takich jak systemów alarmu pożarów lub urządzeń grzewczych i klimatyzacyjnych). Regulacja systemu jest możliwa zarówno z miejsca zainstalowania urządzeń poprzez układy bezprzewodowe i z centralnego komputera.
Żaluzja	Zestaw listew wykorzystywany do osłaniania źródła tak, aby zapobiec olśnieniom lub aby zaabsorbować niepożądane światło. Listwy zazwyczaj wykonywane są w ustalonym kształcie geometrycznym.
Utrzymanie strumienia świetlnego	Procentowy ubytek na wyjściu ze źródła światła w funkcji czasu. Każdy typ lampy ma indywidualną krzywą spadku wydajności świetlnej. Porównuje się w ten sposób ilość światła wytwarzanego przez źródło światła bezpośrednio po jego wyprodukowaniu do ilości światła emitowanego po upływie określonego czasu.
Oprawa świetlna	Urządzenie, które realizuje dystrybucję, filtruje światło emitowane przez jedno lub więcej źródeł światła. Zawiera wszystkie element potrzebne do zamocowania, oprawienia i ochrony źródeł.
Sprawność oprawy	Stosunek strumienia światła (lumen) emitowanego przez zestaw oświetleniowy do strumienia emitowanego przez źródło.
Luminacja	Miara fotometryczna intensywności świecenia w danym kierunku. Jednostką luminancji w układzie jednostek SI jest kandela na metr kwadratowy (cd/m^2).
Kontrast luminacyjny	Jeśli obiekt lub powierzchnia mają luminację różną od tła, to zachodzi efekt kontrastu luminacyjnego.
Efektywność świetlna	Stosunek całkowitego strumienia światła (lm) do poboru mocy (W), lm/W
Strumień świetlny	Strumień świetlny wyrażony w lumenach (lm) jest miarą całkowitej ilości emitowanego światła widzialnego.

Termin	Definicja
Światłość	Strumień światła przypadający na jednostkowy, stały kąt i w ustalonym kierunku. Stanowi miarę ilości światła emitowanego w danym kierunku.
Elipsy MacAdama	Określają obszary na diagramie chromatyczności wskazujące barwy niemożliwe do odróżnienia przez oko ludzkie od barwy znajdującej się w środku elipsy. Kontur elipsy stanowi granicę dostrzeganych przez oko ludzkie różnic chromatyczności.
Współczynnik zachowania	Współczynnik korekcyjny stosowany przy projektowaniu oświetlenia w celu skompensowania pogorszenie jakości światła wydajności świetlnej w wyniku starzenia się źródła światła i gromadzenia się zanieczyszczeń.
Całkowita skuteczność	Całkowita skuteczność przeliczona na jednostkę energii uwzględniająca zarówno energię zużytą w trybie ON jak i energię w trybie oczekiwania (STANDBY). Czas całkowity odniesienia musi obejmować co najmniej jedną dobę ale dokładność parametru wzrasta wraz z wydłużaniem okresu referencyjnego, np. do tygodnia lub roku. Całkowita skuteczność = $\frac{\text{Strumień świetlny x Czas}_{ON}}{\text{Moc}_{ON} \text{ x Czas}_{ON} + \text{Moc}_{STANDBY} \text{ x Czas}_{STANDBY}}$
Rozsył fotometryczny	Rozsył fotometryczny jest miarą natężenia światła w różnych kątach. Podawana jest w jednostkach bezwzględnych, mierzona w kandelach (cd) i stopniach. Rozsył prezentowany jest graficznie na tak zwanych wykresach polarnych.
Jakość oświetlenia	Odnosi się do jakości widmowych źródeł światła i jego dystrybucji. Termin ten jest stosowany w sensie pozytywnym i implikuje to, jak wszystkie źródła przyczyniają się do o wytworzeniu dobrego oświetlenia, pozbawionego ryzyka, nieprowadzącego do odczucia niewygody i nadmiernego zmęczenia.
Współczynnik odbicia	Stosunek strumienia światła odbitego od powierzchni do strumienia światła padającego na tę powierzchnię.
Refleksyjność	Zdolność powierzchni do odbijania światła lub energii. Rozmaite powierzchnie odbijają światło na rozmaite sposoby, np. powierzchnie krystaliczne albo rozpraszające (dyfuzyjne)
Reflektor	Urządzenie do przekierowywania strumienia światła z wykorzystaniem zjawiska odbicia światła
Lampa inteligentna	Lampa, której działanie można regulować za pośrednictwem sygnału przekazywanego bezprzewodowo, z telefonu komórkowego, pilota lub innego urządzenia. Niektóre lampy inteligentne stanowią element wyposażenia domu w systemy automatyzacji, które obejmują również wiele innych urządzeń i stanowią zintegrowany system zarządzania energią.
Gniazdo oprawy	Element, który mechanicznie i elektrycznie łączy źródłem światła z instalacją elektryczną.
Widmowy rozkład gęstości mocy	Rozkład widmowy mocy przedstawia się w formie krzywych, które precyzyjnie obrazują wydajność barwową danego źródła. Przedstawia się poziom energii przypisany każdej długości fali w całym obrazie widmowym.
Widmo (spektrum)	Widmo widzialne jest fragmentem fali elektromagnetycznego, widocznym dla ludzkiego oka. Promieniowanie elektromagnetyczne tym zakresie długości fal nazywamy promieniowaniem widzialnym lub po prostu światłem. Typowe oko ludzkie reaguje na fale o długości około 390 do 780 nm. Widmo nie obejmuje wszystkich barw, które ludzkie oko potrafi rozróżniać. Barwy nienasycone, takie jak różowa, fioletowa lub ich odmiany nie występują w widmie, ponieważ powstają one wyłącznie w wyniku mieszania (łączenia) fal o różnych długościach. Barwy obejmujące tylko pojedynczą długość fali nazywane są również barwami czystymi lub widmowymi (spektralnymi).

Termin	Definicja
Tryb gotowości (STANDBY)	Tryb, w którym lampa lub źródło światła pozostaje podłączone do źródła zasilania i co najmniej jeden układ jest aktywny. W przypadku urządzeń oświetleniowych, STANDBY występuje wtedy, gdy sama lampa / źródło światła jest wyłączone (OFF) poprzez interfejs użytkownika lub gdy jest w stanie ściemnienia do poziomu zerowego w zakresie światła widzialnego, ale urządzenie nadal pobiera energię w celu zachowania gotowośc do odebrania następnego impulsu (bezprzewodowo) z interfejsu użytkownika. Badania wykazały, że w przypadku lamp, w których światło można zupełnie wyłączyć lub ściemnić do poziomu zero, moc pobierana przez obwód STANDBY jest taka sama.
Oświetlenie zadaniowe	Oświetlenie kierowane na konkretną powierzchnię lub obszar, w sposób umożliwiający wykonanie zadań wymagających widoczności.
Regulacja temperatury	Możliwość regulacji temperatury (ciepła) połączonych elementów w zestawie LED-ów, często w drodze odprowadzania ciepła i ich chłodzenia. Ciepło powstające w złączach może ujemnie wpływać na działanie LED-ów, w tym na ich wydajność, barwę i trwałość.
Panel sufitowy typu Troffer	Prostokątny rodzaj oprawy świetlnej konstrukcji modułowej (w Europe lampy 60 x 60 cm, w USA 2′ x 2′ lub 2′ x 4′). Zazwyczaj oprawy tego typu projektuje się tak, aby umożliwiały zainstalowanie standardowych lamp fluorescencyjnych (T12, T8 lub T5) ale obecnie również często projektuje się je wraz ze zintegrowanymi źródłami LED. Termin powstał w wyniku połączenia angielskich słów „*trough*" i „*coffer*".
Prawdopodobieństwo wystąpienia wygody widzenia	Ocena system oświetleniowego wyrażona przez udział procentowy osób, które, patrząc z określonej pozycji i we wskazany kierunku, prawdopodobnie uznają stan oświetlenia jako komfortowy w aspekcie olśnień. Komfort wizualny ma związek z oceną dyskomfortu w aspekcie odblasków i olśnień (DGR).
Płaszczyzna robocza	Płaszczyzna, na której zwykle wykonuje się pracę wymagającą widoczności i dla której określa się wymagany poziom oświetlenia.
Stanowisko pracy	Połączenie i rozmieszczenie przestrzenne sprzętu roboczego, w otoczeniu środowiska pracy, w warunkach narzuconych przez wykonywane zadania.

8. Źródła

1 *IEA 4E SSL Performance Tiers*, http://ssl.iea-4e.org/product-performance/performance-tiers, 2016.
2 *Minergie Efficacy criteria*, hhtp://www.minergie.ch/
3 *Minergie Produktreglement zu den Gebäudestandards*, v. 2017.2, part 11.1, Switzerland.
4 *Lys-Emitterende Dioder (in Danish)*, LED, Rune Søgaard Larsen, 2011.
5 *Light! On light in life and life in light*, Tor Nørretranders & Olafur Eliasson, 2012.
6 *EU GPP Criteria for Indoor Lighting*, EU JRC, http://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/-criteria/indoor_lighting.pdf, 2012.
7 *How to complement efficient lighting with good lighting design to obtain best practice,* Advice and comments provided by Danish Centre for Lighting (DCL), Anne Bay, 2017.
8 Lys i Læringsmiljø (Norwegian language), Lyskultur, 2015.
9 Code of Practice for the Application of LED Lighting Systems, IET, UK, 2014.
10 *Smart Lighting impacting Energy Consumption,* Casper Kofod, IEA 4E SSL Annex, Sep. 2016, http://ssl.iea-4e.org/product-performance/new-product-features/standby-of-smart-lamps-first-report.
11 *Occupant Sensors,* http://www.qualitylight.com/tecniques/sensors/sensors.html
12 *Human Centric Lighting*, Stan Walerczyk, http://humancentriclighting.com/wp-content/uploads/2012/07/Stan-Article-SSL1.pdf, 2012.
13 https://www1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/opticalsafety_fact-sheet.pdf
14 http://en.licht.de/fileadmin/shop-downloads/1606_Reliable-Planning-with-LED-Lighting-2nd-Ed.pdf
15 http://ieslightlogic.org/lighting-language/
16 *Light's Labour's Lost, Policies for Energy-efficient Lighting*, IEA, 2006.
17 http://www.allaboutvision.com/over60/vision-changes.htm
18 *The Use of the Internal Telephone Network for Control of Lighting in Large Office Buildings*, http://www.caddet-ee.org/register/data-ee/cce02091.htm
19 http://luxreview.com/article/2016/03/dubai-supermarket-is-first-in-middle-east-with-connected-lighting
20 http://luxreview.com/article/2015/04/exclusive-us-retail-giant-target-leads-the-way-in-lighting-based-in-store--navigation-systems
21 *Saving Energy with Efficient Lighting in Commercial Buildings*, (only used information about lighting control), CADDET maxi Brochure 01, 1995.
22 *Lamps and Lighting*, (general lighting design), JR Coaton, AM marsden, Arnold, 1997.
23 *Energy Efficient Lighting in Commercial Buildings*, Stefan Aronsson, Per-Erik Nilsson, CADDET Analyses Series No. 6.
24 http://bygningsreglementet.dk/br15_02_id103/0/42, part 6.5.3 paragraph 2 (in Danish)
25 http://ecodesign-lightingsystems.eu/documents, 2016
26 *Task and Building Lighting: the Link Between Lighting Quality and Energy Efficiency*, David Loe, Right Light 4 p.11.
27 *Strategies for Technologies Procurement in Creating Energy Efficient Lighting Installations*, Arnold Buddenberg, Rienk Visser, Right Light 4.
28 *Lighting Technology and Maintenance*, http://www.facilitiesnet.com/NS/NS3mg6f.html
29 *Electric Lighting Controls – A Guide for Designers, Installers and Users*, BRECSU, Good Practice Guide 160.
30 *Daylight Performance of Buildings: 60 European Case Studies*, m Fontoynont, Right Light 4 Vol.2 p.61.
31 *A Study Performance of Light Pipes Under Cloudy and Sunny Conditions in UK*, L Shao, SB Riffat, W Hicks, Right Light 4 Vol.1 p.155.
32 *Advanced Lighting Control Technologies for User Satisfaction and Energy Efficiency*, T Viljanen, L Halonen, J Lehtovaara, Right Light 4.
33 *Envelope and Lighting Technologies to Reduce Electric Demand in Commercial Buildings*, http://eande.lbl.gov/CBS/NEWSLETTER/NL5/Envelope.html
34 *Give People Control of Lighting Controls*, IAEEL Newsletter 3/96.
35 *Preadaptation and manual Switching*, JA Lynes, PJ Littlefair, AI Slater, Right Light 4.
36 *Results from the Integrated Performance Appraisal of Daylight-Europe Case Study Building*, JA Clarke, JW Hand, M Janak, Right Light 4 Vol.1 p.117.
37 *Increased Energy Savings by Indvidual Light Control,* Rob Embrechts, Chris Van Bellegem, Right Light 4.

38 *Assessing the Energy Saving Potential of Daylight Technologies for Non-Residential Buildings in Germany,* A Kovach-Hebling, m Goller, S Herkel, J Wienold, Right Light 4 Vol.2 p.115.
39 https://echa.europa.eu/addressing-chemicals-of-concern
40 http://eng.mst.dk/topics/chemicals/assessment-of-chemicals/list-of-undesirable-substances/
41 https://e3p.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/files/documents/Lighting/eu_led_quality_charter.pdf
42 http://www.ransen.com/Photometric/understanding-photometric-polar-diagrams.htm

PremiumLight-Pro Konsorcjum:

Austria
Austrian Energy Agency
www.energyagency.at

Czechy
SEVEn, The Energy Efficiency Center
www.svn.cz

Dania
Energy piano

Portugalia
Institute for Systems and Robotics,
University of Coimbra

Wielka Brytania
Energy Saving Trust
www.energysavingtrust.org.uk

Niemcy
co2online gGmbH
www.co2online.de

Włochy
Politecnico Milano
www.energia.polimi.it

Hiszpania
Ecoserveis
www.ecoserveis.net

Polska
FEWE, Polish Foundation for Energy
Efficiency, www.fewe.pl

Autor

Energy piano
Casper Kofod
ck@energypiano.dk
L.F.Cortzens Vej 3
2830 Virum
Dania

Tłumaczenie i adaptacja:
Fundacja na rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii
ul. Rymera 3/4
40-048 Katowice
Polska

Data opracowania: wrzesień 2017