



Spis treści

1. Słownik pojęć i terminów.	2.
2. Wstęp.	6.
3. Oświetlenie wewnętrzne.	7.
3.1. Błędy przy projektowaniu oświetlenia wewnętrznego.	7.
4. Sterowanie oświetleniem.	8.
5. Jakość projektów i sprzętu oświetleniowego.	10.
6. Modernizacja oświetlenia.	14.
7. Podsumowanie.	16.
8. Bibliografia.	17.



1. Słownik pojęć i terminów

Strumień świetlny – Jego wartość informuje jaki jest potencjał świetlny danego urządzenia oświetleniowego w każdym kierunku. Jednostką jest lumen [lm].

Światłość – określa potencjał świetlny danego urządzenia oświetleniowego w konkretnym kierunku. Jednostką jest kandela [cd].

Temperatura barwowa – podawana w kelwinach [K]. Określa barwę światła od ciepłej (poniżej 3300 K, np. świeczka ok. 2000 K, żarówka 2700 K) poprzez neutralną (3300 K - 5300 K) do chłodnej (powyżej 5300 K, zwanej też barwą dzienną, zimną).

Wskaźnik oddawania barw (CRI, R_a) – wskaźnik mówiący o tym, w jakim stopniu dane źródło światła oddaje barwę. Przyjmuje on wartości od 0 (brak jakiegokolwiek oddawania barw, np. stosowane w oświetleniu drogowym źródło sodowe niskoprężne) do 100 (np. żarówka). Za wystarczającą wartość wskaźnika oddawania barw przyjmuje się $R_a \geq 80$, poza pewnymi wyjątkami (np. sale operacyjne, pracownie artystyczne).

Równomierność oświetlenia – stosunek minimalnego natężenia oświetlenia (lub luminancji) do średniego natężenia oświetlenia (lub luminancji); dla równomierności wzdłużnej w oświetleniu drogowym jest to stosunek minimalnej do maksymalnej wartości luminancji. Przyjmuje wartości z przedziału 0-1. Informuje o tym, jak równomiernie jest oświetlona dana powierzchnia (np. czy nie występują ciemniejsze miejsca w pomieszczeniu lub czy oświetlenie drogi nie zawiera obszarów wyraźnie ciemniejszych i jaśniejszych).

Natężenie oświetlenia – określa ile strumienia świetlnego dociera do danej powierzchni. Jednostką jest luks [$lx = lm/m^2$]. Np. poprawnie oświetlone stanowisko do pracy biurowej powinno charakteryzować się średnim natężeniem oświetlenia na poziomie min. 500 lx.

Cylindryczne natężenie oświetlenia – jest to średnie natężenie oświetlenia w danym punkcie dla pełnego obrotu pionowej płaszczyzny wokół osi zawierającej ten punkt. Jednostką jest luks [lx].

Modelowanie – określa stan równowagi pomiędzy oświetleniem kierunkowym, a rozproszonym. Jest to stosunek cylindrycznego natężenia oświetlenia do poziomego natężenia oświetlenia na tej samej wysokości, dla tego samego punktu. Wartości modelowania powinny wynosić pomiędzy 0,3 a 0,6.



Trwałość – trwałość tradycyjnych źródeł światła określało się jako czas, po którym połowa źródeł danej populacji światła przestanie świecić (np. dla żarówki wynosi 1000 godzin). Trwałość LED określa się parametrami L i B, np. L70B10 50 000h oznacza, że po 50 000 godzin co najmniej 90% opraw (B=100-90) zachowa 70% (L) swojego początkowego strumienia świetlnego. W praktyce oznacza to, że po pewnym czasie oprawy (lub źródła) LED należy wymienić na nowe pomimo, że jeszcze działają (świecą), lecz ich strumień świetlny jest zbyt niski, aby zapewnić wymagane zgodnie z normą poziomy oświetlenia.

Rozsył (wykres) światłości, bryła fotometryczna – bryła fotometryczna jest odwzorowaniem graficznym kierunków świecenia oprawy. Informuje o sposobie świecenia oprawy (źródła światła). Patrząc na bryłę fotometryczną oprawy (lub wykres światłości, który jest przekrojem tej bryły w danych płaszczyznach) możemy wywnioskować czy oprawa świeci wąsko, czy szeroko, czy świeci tak samo w każdym kierunku, czy może świeci szerzej w jednym kierunku, a bardziej wąsko w innym (np. oprawa oświetlenia drogowego).

Moc bierna, współczynnik mocy ($\cos\phi$, PF) – jej jednostką jest var [var]. Moc bierna urządzenia związana jest z występowaniem w urządzeniu elementów o charakterze pojemnościowym i/lub indukcyjnym. W przypadku oświetlenia tradycyjnego moc ta praktycznie nie występowała (żarówki) lub miała charakter indukcyjny (świetlówki, lampy wyładowcze) i wymagała kompensacji za pomocą kondensatorów. W przypadku źródeł LED ma ona charakter pojemnościowy. Moc bierna powoduje, że odbiorca energii musi liczyć się z dodatkowymi opłatami za jej pobór (nie dotyczy gospodarstw domowych). Zazwyczaj stawki za zużycie energii biernej [kvarh] pojemnościowej są dużo większe niż za energię czynną. Należy więc zwracać uwagę na współczynnik mocy urządzenia ($\cos\phi$). Im jest bliższy jedności (np. $\cos\phi \geq 0,9$) tym mniejszy jest udział mocy biernej w pracy urządzenia.

Moc czynna – jednostką jest wat [W]. Jest to moc danego urządzenia, która odpowiada za pobór energii elektrycznej jeśli odniesiemy ją do czasu działania urządzenia (np. żarówka 100 W przez godzinę działania zużyje 0,1 kWh energii elektrycznej).

Luminancja – Opisuje jasność (jaskrawość) danej powierzchni. W przypadku oświetlonej powierzchni rozpraszającej zależna jest od natężenia oświetlenia tej powierzchni, wielkości tej powierzchni, współczynnika odbicia danej powierzchni, a także od kąta obserwacji. W przypadku oprawy oświetleniowej (lub źródła światła) luminancja wynika z tego, jak dużo strumienia świetlnego emitowane jest w danym kącie z danej powierzchni. Jednostką luminancji jest kandela na metra kwadratowy [cd/m^2]. Np. luminancja oświetlonej jezdni powinna wynosić $0,5 \text{ cd}/\text{m}^2 - 2 \text{ cd}/\text{m}^2$, monitory komputerowe charakteryzują się luminancjami



ok. 100 cd/m^2 – 300 cd/m^2 , a luminancja pojedynczego chipu ledowego sięga setek milionów cd/m^2 .

Wskaźnik olśnienia UGR – wskaźnik mówiący o tym, jakie jest ryzyko olśnienia pochodzącego od opraw oświetleniowych we wnętrzach. Obliczany jest za pomocą oprogramowania do projektowania oświetlenia (np. Relux, Dialux). Zależy m.in. od rozmieszczenia opraw oświetleniowych, ich luminancji i brył fotometrycznych, ale także od luminancji różnych powierzchni w pomieszczeniu (głównie ścian). Np. dla pomieszczeń biurowych wartość UGR nie może być wyższa niż 19.

Luminancja L_{65} – luminancja oprawy oświetleniowej w cd/m^2 dla kąta $\gamma \geq 65^\circ$. Może zostać odczytana z tabeli luminancji oprawy dostarczonej przez producenta. W zależności od konkretnego przypadku dla pomieszczeń z monitorami komputerowymi żadna wartość

luminancji od kąta 65° i powyżej nie powinna przekraczać wartości 3000 cd/m^2 , 1500 cd/m^2 lub 1000 cd/m^2 .

Współczynnik utrzymania – określa przewymiarowanie poziomów wymaganych w normie. Aby instalacja oświetleniowa spełniała wymagania w jak najdłuższym okresie od jej uruchomienia należy przewymiarować oświetlenie zgodnie z założonym systemem konserwacji. Na poziomy natężenia oświetlenia wpływają czynniki takie jak: zabrudzenie opraw oświetleniowych, zabrudzenie pomieszczenia (ścian, sufitu), spadek strumienia świetlnego opraw czy wygasanie źródeł światła. Projekt oświetleniowy powinien zawierać opis systemu konserwacji z interwałami zabiegów konserwacyjnych, takich jak np. czyszczenie opraw, okres odnawiania pomieszczenia czy czas, po którym należy wymienić źródła światła (lub oprawy oświetleniowe). Np. jeżeli zgodnie z wynikami obliczeń w danym pomieszczeniu średnie natężenie oświetlenia wynosi 500 lx przy współczynniku utrzymania 0,8 to z pomiarów, zaraz po uruchomieniu instalacji oświetleniowej, powinniśmy uzyskać $500/0,8=625 \text{ lx}$.

Migotanie (flickering) – zjawisko związane z migotaniem, pulsowaniem światła. Migotanie może być widoczne gołym okiem lub nie, natomiast w obu przypadkach jest zjawiskiem szkodliwym. Może źle wpływać na samopoczucie osób przebywających w pomieszczeniu, prowadzić do problemów z koncentracją, bólów oczu i głowy i szybszego zmęczenia wzroku. Może być zmierzone za pomocą specjalnych mierników fotometrycznych (czasami jest także widoczne po skierowaniu obiektywu aparatu cyfrowego na źródło światła).



Skuteczność świetlna – określa jaki strumień świetlny jest uzyskiwany z jednego wata mocy czynnej pobieranej przez źródło światła (oprawę oświetleniową). Jednostką są lumeny na wat [lm/W]. Skuteczności świetlne współczesnych ledów sięgają wartości 200 lm/W, dla porównania skuteczność świetlna żarówek to kilkanaście lumenów z wata.

Sprawność oprawy oświetleniowej – podawana w [%]. Jest to stosunek strumienia świetlnego oprawy oświetleniowej do strumienia świetlnego wszystkich źródeł światła w oprawie (pomnożony przez 100%). Pojęcie sprawności oprawy odnosi się głównie do opraw z wymiennymi źródłami światła (np. oprawy świetlówkowe). Większość opraw ze źródłami LED ma sprawność 100% (nie mierzy się samego strumienia źródeł LED), stąd oceniając oprawę oświetleniową LED lepiej zwracać uwagę na jej skuteczność świetlną.

Przyrost progowy f_{RI} – podawany w [%]. Określa maksymalny wzrost kontrastu obiektu zapewniający jego widoczność w związku z olśnieniem pochodzącym od opraw oświetlenia drogowego. Obliczany jest za pomocą oprogramowania do projektowania oświetlenia (np. Relux, Dialux).

Wskaźnik oświetlenia otoczenia R_{EI} – stosunek natężenia oświetlenia na poboczu drogi do natężenia oświetlenia na sąsiadującym z nim pasie ruchu. Do obliczeń bierze się pod uwagę pobocze o szerokości takiej samej jak pas ruchu.

Wskaźnik olśnienia R_{GL} – wskaźnik olśnienia dla oświetlenia zewnętrznego. Dopuszczalne normą wartości w zależności od typu pracy wahają się od 40-55. Obliczany jest za pomocą oprogramowania do projektowania oświetlenia (np. Relux, Dialux).

Elipsy MacAdama (SDCM) – Parametr ten określa jednorodność (chromatyczność) światła. W oprawach oświetleniowych, w których LEDy mają duże wartości elips MacAdama możemy zauważyć, że pojedyncze diody nie mają tej samej temperatury barwowej lub nawet dwie takie same oprawy różnią się od siebie temperaturą barwową. Parametr ten możemy spotkać także pod skrótem SDCM. Im niższa wartość tego parametru, tym diody w danej oprawie zostały dokładniej wyselekcjonowane. Za wartości nierozróżnialne gołym okiem przyjmuje się niższe bądź równe 3.



2. Wstęp

Oświetlenie sztuczne towarzyszy człowiekowi od wieków. Najpierw były to ogniska, pochodnie, lampy oliwne czy naftowe, aż pod koniec XIX wieku pojawiło się oświetlenie elektryczne. Od ponad stu lat było ono systematycznie rozwijane i ulepszone, pojawiały się nowe sposoby wytwarzania światła, a wraz z nimi nowe konstrukcje źródeł światła i opraw oświetleniowych. Era żarówek, świetlówek i lamp wyładowczych, które dziesiątki lat były obecne w naszym otoczeniu powoli dobiega końca. Obecnie zaczynają królować źródła w technologii LED (light emitting diode), które wypierają tradycyjne źródła światła, zarówno z rozwiązań przemysłowych jak i z naszych domów. Wraz z LED-ami pojawiło się wiele nowych możliwości oraz zagrożeń. Umiejętne i świadome wykorzystanie technologii LED w oświetleniu przynosi zyski w postaci oszczędności na zużyciu energii elektrycznej, jak i wieloletniej bezproblemowej eksploatacji tego typu urządzeń. O tym, czy ta eksploatacja rzeczywiście będzie bezproblemowa decyduje zarówno jakość sprzętu oświetleniowego, jego poprawne zamontowanie oraz dobór i rozmieszczenie opraw oświetleniowych do danych potrzeb.

Projektowanie oświetlenia jest zadaniem inżynierskim. Poza kwestiami związanymi z estetyką danego sprzętu jego dobór musi być poparty analizą parametrów technicznych danego urządzenia i wykonaniem projektu oświetlenia za pomocą specjalistycznego oprogramowania komputerowego (np. Relux, Dialux). Projekt oświetlenia jest częścią projektu elektrycznego, więc jako element dokumentacji musi zostać zatwierdzony przez osobę posiadającą odpowiednie uprawnienia. Podstawowymi wytycznymi do projektowania oświetlenia są poszczególne normy. W tym opracowaniu umówiono aspekty związane z oświetleniem miejsc pracy we wnętrzach (PN-EN 12464-1:2012) i miejsc pracy na zewnątrz (PN-EN 12464-2:2014-05). Warto także dodać, że istnieją inne normy związane z projektowaniem oświetlenia dotyczące np. oświetlenia awaryjnego (PN-EN 1838:2013-11, PN-EN 50172:2005) czy oświetlenia w sporcie (PN-EN 12193:2019-01).



3. Oświetlenie wewnętrzne

W oświetleniu wewnętrznym, podobnie jak w zewnętrznym należy zapewnić odpowiednie warunki oświetleniowe zależne od charakterystyki wykonywanej pracy wzrokowej. Zapewnienie odpowiedniego oświetlenia miejsc pracy we wnętrzach nie tylko pozwala na łatwiejsze wykonywanie danej czynności, ale może również podnieść efektywność pracy i zniwelować zjawiska niepożądane, takie jak szybkie zmęczenie wzroku. Wyjściem do projektowania oświetlenia są wymagania zawarte w normie PN-EN 12464-1:2012. Jeśli chodzi o podstawowe wymagania są one niemal identyczne jak w przypadku oświetlenia zewnętrznego. Projektant musi zapewnić:

- średnie natężenie oświetlenia \bar{E}_m na płaszczyźnie roboczej,
- równomierność natężenia oświetlenia U_0 ,
- wskaźnik oddawania barw R_a ,
- wskaźnik oślnienia UGR.

Ponownie w przypadku pierwszych trzech wartości wymagania dotyczą poziomów minimalnych, a w przypadku wskaźnika oślnienia norma podaje wartość maksymalną. Ponadto w oświetleniu wewnątrz występuje kilka innych istotnych wymagań. Norma definiuje również jakie minimalne średnie poziomy natężenia powinny występować na ścianach i sufitach pomieszczeń, jakie powinno być średnie cylindryczne natężenie oświetlenia \bar{E}_z , modelowanie lub, w przypadku pracy z monitorami komputerowymi, jakie jest ograniczenie luminancji oprawy oświetleniowej L_{65} . Spełnienie każdego z tych wymagań zapewnia odpowiednią jakość oświetlenia: niedoświetlone, ciemne ściany i sufit powodują zły odbiór pomieszczenia przez użytkowników, zbyt niskie cylindryczne natężenie oświetlenia skutkuje trudnościami np. z rozpoznawaniem twarzy, a nie zrównoważone modelowanie może prowadzić do występowania w pomieszczeniu ostrych cieni lub monotonnego otoczenia świetlnego. Ograniczenie luminancji opraw oświetleniowych ma na celu uniknięcie sytuacji, w których zbyt jasna część oprawy oświetleniowej odbija się od powierzchni ekranu komputerowego zaburzając jego czytelność, a w efekcie powoduje dyskomfort w trakcie wykonywania pracy wzrokowej.

3.1. Błędy przy projektowaniu oświetlenia wewnętrznego:

Najczęściej popełniane błędy przy projektowaniu oświetlenia wewnętrznego:

- źle dobrana gęstość siatki pomiarowej;
- niewłaściwe współczynniki odbicia;
- niewłaściwie dobrany system konserwacji.

Więcej na temat projektowania oświetlenia i parametrów jakie należy spełnić poniżej.



4. Sterowanie oświetleniem

W dobie powszechnie obecnej elektroniki, smartfonów, komputerów sterowanie oświetleniem staje się bardziej dostępne dla użytkowników domowych. Pozwala nam na dopasowanie otoczenia świetlnego do własnych, chwilowych preferencji. To, co w warunkach domowych wiąże się głównie z komfortem użytkownika, w przypadku rozwiązań dedykowanych do profesjonalnych systemów oświetleniowych jest w stanie nieść znacznie więcej korzyści. Obecnie na rynku dostępnych jest wiele różnych systemów sterowania oświetleniem. Niektóre z nich są hermetyczne i działają w nich tylko oprawy danego producenta, inne natomiast korzystają z powszechnie dostępnych standardów i mogą być łatwo rozszerzane. Najbardziej powszechnymi standardami są: 1-10V, DALI, DMX czy Casambi. W warunkach domowych możemy często spotkać ściemnianie fazowe (Phase-cut). Aby dana oprawa oświetleniowa mogła być ściemniania w danym systemie musi być wyposażona w zasilacz (driver), który obsługuje dany protokół sterowania. Oprócz tego należy taki system wyposażyć w elementy sterujące, elementy wykonawcze czy programowalne. Wiąże się to zazwyczaj z wyższymi kosztami inwestycyjnymi, ale daje wiele możliwości i w stosunkowo niedługim okresie taka inwestycja może się zwrócić na kilka sposobów.

W przypadku oświetlenia wewnętrznego możemy sterować oświetleniem na wiele sposobów. Niezależnie od protokołu sterowania możemy stosować ściemniacze w postaci pokręteł lub przycisków dzwonekowych, paneli numerycznych lub dotykowych a nawet tabletów i smartfonów, dzięki którym możemy ściemnić lub rozjaśnić daną grupę opraw oświetleniowych, wybrać konkretne, wcześniej zaprogramowane ustawienie (scenę świetlną) w sposób manualny. Sterowanie to może jednak zostać w pewien sposób zautomatyzowane. Istnieją systemy, gdzie na podstawie aktualnego natężenia oświetlenia system sam decyduje która oprawa i o ile ma zostać ściemniona. Do automatyzacji sterowania oświetleniem możemy zaliczyć także czujniki ruchu i obecności, które same decydują kiedy oświetlenie ma zostać włączone czy wyłączone i w jakiej części pomieszczenia. Najnowsze systemy oświetleniowe oprócz sterowania strumieniem świetlnym oprawy oferują także sterowanie temperaturą barwową (tunable white). Łącząc obie te możliwości można stworzyć system zwany HCL (Humac Centric Lighting), który będzie automatycznie dopasowywał barwę światła (ciepłe, neutralne, zimne) do pory dnia, regulując jednocześnie natężenie oświetlenia. Z badań wynika, że zastosowanie takiego systemu znacznie poprawia samopoczucie i wydajność pracowników, a także zmniejsza ich zmęczenie i redukuje problemy np. z bezsennością. O ile w przypadku systemów sterowania oświetleniem najbardziej oczywistym benefitem wydaje się redukcja

zużycia energii elektrycznej to, jak widać, możemy uzyskać dodatkowe korzyści ze zwiększonej efektywności ludzkiej pracy, która tak naprawdę stanowi znacznie większą korzyść niż same oszczędności wynikające z tańszej eksploatacji oświetlenia.

Opisany wcześniej system sterowania oświetleniem wewnętrznym miał na celu poprawę jakości oświetlenia i zmniejszenie zużycia energii.



5. Jakość projektów i sprzętu oświetleniowego

Nawet najlepszy sprzęt oświetleniowy bez odpowiedniego projektu i nawet najlepszy projekt bez odpowiedniego sprzętu same w sobie nie zagwarantują dobrej jakości oświetlenia. Rolą projektanta jest umiejętne dobranie i rozmieszczenie sprzętu oświetleniowego, który nie tylko spełni wymagania normatywne, ale pozwoli na długą i bezproblemową eksploatację. Jak zatem rozpoznać dobry projekt oświetlenia i dobry jakościowo sprzęt oświetleniowy?

Projekt oświetlenia wewnętrznego powinien zacząć się od analizy przeznaczenia pomieszczeń i czynności w nich wykonywanych. Istotny jest czas wykorzystania pomieszczenia, potrzeby użytkowników z niego korzystających i typowe kierunki obserwacji i pracy. Bardzo istotne są też kwestie bezpieczeństwa związane np. z wykorzystywanymi maszynami. Następnie pomieszczenie powinno zostać scharakteryzowane pod kątem ewentualnych ograniczeń związanych z możliwymi do zastosowania typami opraw oświetleniowych (np. rodzaj sufitu w pomieszczeniu, wysokość pomieszczenia). Powinny też zostać ustalone współczynniki odbicia głównych powierzchni w pomieszczeniu (np. ścian, sufitu, podłogi, elementów wyposażenia), które mają istotny wpływ na wyniki obliczeń. Następnie powinno zostać określone rozmieszczenie płaszczyzn pracy w pomieszczeniu i ustalenie wysokości na jakiej praca się odbywa (np. wysokość biurka). W tym przypadku zazwyczaj występują dwa rozwiązania. Projektant może przyjąć zasadę oświetlenia ogólnego jeśli nie zna rozmieszczenia miejsc pracy w pomieszczeniu i zaprojektować np. pomieszczenie biurowe na średnie natężenie oświetlenia 500 lx lub, jeśli zna rozmieszczenie miejsc pracy, skorzystać z rozwiązania dopuszczalnego w normie i wyznaczyć obszar zadania i obszar bezpośredniego otoczenia (ewentualnie też obszar tła). Każde z rozwiązań ma swoje wady i zalety. W przypadku oświetlenia ogólnego mamy dużą swobodę rozmieszczania miejsc pracy, oprawy oświetleniowe rozmieszczone są równomiernie w całym pomieszczeniu. Trzeba jednak liczyć się z tym, że zawarta w normie równomierność np. na poziomie 0,6 pozwala na sytuację, w której w części pomieszczenia natężenie oświetlenia może wynosić zaledwie 60% średniego natężenia oświetlenia w pomieszczeniu i ulokowanie w takim miejscu stanowiska pracy wiąże się z koniecznością jego dodatkowego doświetlenia. Jest to również wariant mniej energooszczędny, gdyż oprawy oświetleniowe muszą zapewnić wymagany poziom średniego natężenia oświetlenia w całym pomieszczeniu. Druga opcja, czyli oświetlenie zlokalizowane polega na zapewnieniu odpowiednio mniejszych poziomów natężenia oświetlenia w całym pomieszczeniu a uzyskanie wymaganych wyższych tylko na miejscach pracy. Projektant musi jednak znać wówczas

rozmieszczenie miejsc pracy i umieścić w ich okolicy dodatkowe oprawy oświetleniowe. Jest to wariant bardziej energooszczędny jednak wiąże się z ograniczeniami, jeśli takie miejsce pracy



chcielibyśmy przesunąć. Kolejnym krokiem projektowym jest określenie potencjalnego zanieczyszczenia pomieszczenia i pomieszczeń do niego przyległych. Dane te posłużą do doboru systemu konserwacji i odpowiedniego sprzętu oświetleniowego (np. oprawy o podwyższonej szczelności). Po przeprowadzonej opisanej analizie przychodzi czas na określenie wymagań oświetleniowych.

Projektant powinien, powołując się na odpowiednią normę (w przypadku wewnątrz PN-EN 12464-1:2012), sprecyzować wymagania oświetleniowe: średnie natężenie oświetlenia i równomierność w polu pracy (ewentualnie w bezpośrednim otoczeniu i tle), wskaźnik olśnienia UGR, wskaźnik oddawania barw R_a , średnie natężenie oświetlenia i równomierność sufitu i ścian, cylindryczne natężenie oświetlenia, modelowanie (wymaga określenia wysokości na jakiej będzie liczone) i w przypadku, jeśli w pomieszczeniu będą znajdowały się ekrany komputerowe, maksymalnej luminancji L_{65} . Na podstawie wymagań oświetleniowych powinna zostać stworzona koncepcja projektu oświetlenia zakładająca dobór sprzętu oświetleniowego i systemu konserwacji. W ramach systemu konserwacji powinno być określone, jaki jest spadek strumienia świetlnego opraw w czasie, co jaki okres należy odnawiać pomieszczenie i czyścić oprawy oświetleniowe. Na podstawie tych danych określa się współczynnik utrzymania, który powinien być uwzględniony w projekcie. W wynikach projektu powinno pojawić się rozmieszczenie opraw w danym pomieszczeniu (wraz z wysokością montażu opraw) i wyniki obliczeń w postaci wydruku z programu do projektowania oświetlenia (np. Relux, Dialux). Przy wynikach należy zwrócić uwagę na odpowiedni dobór gęstości siatki obliczeniowej. Na podstawie wzoru z normy projektant powinien przedstawić uzasadnienie doboru gęstości siatki, gdyż zbyt rzadkie rozmieszczenie oczek siatki może znacznie wpłynąć na uzyskane wyniki. W podsumowaniu projektu powinno znaleźć się ilościowe zestawienie sprzętu wraz z jego specyfikacją techniczną, całkowita moc zaprojektowanych urządzeń oświetleniowych i zestawienie uzyskanych wyników z wymaganiami z normy.

Projekt oświetleniowy został jest tworzony na konkretnym sprzęcie. Użyte w projekcie oprawy oświetleniowe cechują się konkretnym strumieniem świetlnym, bryłą fotometryczną czy innymi właściwościami. Dlatego też w przypadku propozycji zamienniej dla takiego projektu obliczenia powinny być wykonane od nowa, aby mieć pewność, że zostaną spełnione wszystkie wymagania normatywne. Powinna również zostać przeprowadzona analiza, czy

rozwiązania zamienne są tożsame z założeniami projektowymi w zakresie np. szczelności konstrukcji oprawy (IP), możliwości montażu czy wyglądu i kolorystyki sprzętu. Bez względu na to czy będzie realizowany projekt oryginalny, czy zamienny realizacja taka powinna zostać



zakończona pomiarami oświetleniowymi. Pomiary powinny być dokonane za pomocą wywzorcowanych przyrządów pomiarowych takich jak luksomierz czy miernik luminancji. Przy pomiarach należy zadbać o to, żeby punkty pomiarowe pokrywały się z punktami siatki obliczeniowej ujętymi w wynikach obliczeń. Należy też pamiętać, że zmierzone wartości powinny zostać pomnożone przez obliczony w projekcie współczynnik utrzymania, aby można je było porównać z wynikami z projektu.

Mnogość dostępnego na rynku sprzętu oświetleniowego powoduje, że dla osoby spoza branży oświetleniowej zorientowanie się w parametrach czy jakości danych urządzeń może przysporzyć wiele trudności. Często osoba decyzyjna w postaci inwestora zmuszona jest wybrać danego dostawcę sprzętu bez świadomości na co powinna zwrócić uwagę. Jakich danych zatem szukać w kartach katalogowych producentów sprzętu? Jeśli chodzi o dane fotometryczne będzie to na pewno skuteczność świetlna, która decyduje o wydajności oprawy oświetleniowej. Im wyższa skuteczność świetlna oprawy tym mniej mocy potrzeba na wygenerowanie tego samego strumienia świetlnego. Kolejnym parametrem jest wskaźnik oddawania barw. W oświetleniu wnętrзовym praktycznie nie powinno stosować się opraw oświetleniowych o $R_a < 80$. Im wyższe R_a tym barwy będą oddawane naturalniej. Do oceny

jednorodności barwy światła stosuje się elipsy MacAdama. Im niższa wartość (krok) tego parametru, tym światło jest bardziej jednorodne. Do jakościowych parametrów elektrycznych oprawy możemy zaliczyć współczynnik mocy. Niskie wartości tego współczynnika ($\cos\phi$) mogą oznaczać duży pobór mocy biernej, która jest w stanie wygenerować duże rachunki za energię elektryczną pomimo stosunkowo niskiej mocy czynnej oprawy oświetleniowej. W niektórych układach zasilających współczynnik mocy może szybko maleć przy ściemnianiu opraw, więc jeśli planowany jest system sterowania ze ściemnianiem warto poprosić producenta o przedstawienie odpowiedniego wykresu, gdyż oprawa ściemniona może generować wyższe rachunki niż ta, świecąca na 100% swojej mocy. Od jakości układu zasilającego zależy też, czy oprawa będzie migotała. Zjawisko **flickeringu** jest zjawiskiem niepożądanym i również może nasilać się wraz ze ściemnianiem oprawy oświetleniowej, stąd warto stosować oprawy oświetleniowe, w których używane są zasilacze eliminujące ten efekt. Prąd rozruchowy oprawy oświetleniowej jest to maksymalny prąd, jaki pobiera ona przy włączaniu. Wartości tego prądu mogą być wielokrotnie wyższe niż prąd znamionowy, który płynie przez obwód elektryczny oprawy przy jej ustabilizowanej pracy. Zbyt wysoki prąd

rozruchowy może powodować, że aparatura zabezpieczeniowa będzie wyłączać dany obwód. Producent powinien podać informację ile maksymalnie danych opraw oświetleniowych może znaleźć się na jednym obwodzie elektrycznym dla danego zabezpieczenia prądowego (np.



B16). Jeśli chodzi o właściwości fizyczne oprawy to powinna ona cechować się odpowiednią szczelnością. Tam, gdzie oprawy pracują w warunkach dużej wilgotności czy zapylenia powinny być odporne na wnikanie pyłów i wilgoci do środka. Oprawa oświetleniowa powinna mieć zatem odpowiednią klasę szczelności IP. Tam, gdzie sprzęt oświetleniowy jest narażony na fizyczne uszkodzenia wymagana będzie wyższa klasa odporności IK (np. sale sportowe). Jeśli instalacja oświetleniowa pracuje w niskich lub wysokich temperaturach warto zwrócić uwagę dla jakiego zakresu temperatur jest przystosowana dana oprawa oświetleniowa. Istnieją też oprawy oświetleniowe, które są w stanie pracować w szczególnie trudnych warunkach np. w agresywnym środowisku oparów chemicznych czy soli morskiej. Ważnym parametrem jest przede wszystkim trwałość oprawy oświetleniowej. Warto zwrócić uwagę nie tylko na to, na ile tysięcy godzin producent określa trwałość oprawy, ale też dla jakich parametrów L i B ta trwałość jest podawana.

Każda oprawa oświetleniowa powinna posiadać deklarację zgodności CE, w której producent deklaruje zgodność oprawy oświetleniowej z obowiązującymi normami i dyrektywami europejskimi. Ponadto niektóre oprawy oświetleniowe mogą posiadać dodatkowe atesty i certyfikaty. Tam, gdzie mamy do czynienia z podwyższonymi wymaganiami odnośnie czystości (np. szpitale, produkcja żywności) zazwyczaj oczekiwane jest, aby oprawy oświetleniowe posiadały atest PZH. Oprawy oświetlenia awaryjnego muszą posiadać dopuszczenie CNBOP, a oprawy przeciwwybuchowe w wyższych strefach muszą posiadać potwierdzenie certyfikacji ATEX. Niektórzy producenci dodatkowo certyfikują swoje oprawy w niezależnych jednostkach certyfikujących, aby potwierdzić ich jakość. Warto więc zainteresować się sprzętem, który posiada certyfikaty m.in takie jak. ENEC, ENEC+, IECEE

czy UL. Istotną kwestią jest też to, jaką gwarancję (lub rękojmię) producent oferuje na swój produkt. Zazwyczaj gwarancja 5 lat lub dłuższa oznacza, że komponenty zastosowane w oprawie oświetleniowej będą lepszej jakości niż w tych z gwarancją dwuletnią.



6. Modernizacja oświetlenia

Do tej pory omówione zostały ogólne wytyczne dotyczące oświetlenia wewnątrz, a także przedstawiono główne cechy dobrego projektu i sprzętu oświetleniowego. Modernizacja oświetlenia z tradycyjnych źródeł światła na LED-y również wpisuje się w te zasady, natomiast na inwestora mogą czekać pewne pułapki i pojawić się pytania odnośnie rzeczywistej możliwości zwrotu takiej inwestycji. Powoduje to, że nierzadko sięga się po rozwiązania najtańsze, które przeważnie nie spełniają swojego zadania. Do modernizacji oświetlenia należy podejść jak do każdego innego projektu. Niezależnie od tego czy dotyczy to biura, czy drogi należy wykonać projekt oświetlenia od początku stosując nowe oprawy oświetleniowe. Dodatkowo projektant powinien posiadać wiedzę na temat dotychczasowego rozmieszczenia punktów świetlnych tak, aby mógł ewentualnie zaproponować rozwiązanie niewymagające zmiany instalacji elektrycznej. Na rynku możemy spotkać źródła LED, które są „zamiennikami” tradycyjnych źródeł takich jak np. lampa sodowa czy świetlówka. Źródła te (tzw. retrofity) w założeniu mają zastąpić źródła tradycyjne i służyć do modernizacji oświetlenia. W praktyce wygląda to tak, że źródła takie zamontowane w oprawie oświetleniowej powodują zmianę jej bryły fotometrycznej i efekt świecenia jest trudny do przewidzenia. Oprawy oświetleniowe, które do tej pory gwarantowały spełnienie wymagań normatywnych po zmianie źródeł na źródła LED mogą nie doświetlać odpowiednio pomieszczenia lub drogi, czy generować duże oślnienia. Mogą wystąpić też inne zjawiska takie jak powstawanie ciemnych prążków, multi-cieni czy przyspieszone starzenie się (np. żółknięcie) materiałów z których wykonana jest oprawa oświetleniowa. Samo zastosowanie retrofitów może również wiązać się z koniecznością ingerencji w układ zasilający oprawy oświetleniowej. Określanie więc takich źródeł światła jako zamienników może być zbyt dużym uproszczeniem.

Przeprowadzenie kalkulacji czasu zwrotu modernizacji oświetlenia należy oprzeć na pewnych założeniach. Dla przykładu przyjmijmy pomieszczenie biurowe, w którym oświetlenie sztuczne włączone jest średnio przez 2500 h/rok. W pomieszczeniu znajdują się oprawy świetlówkowe 4x18W, strumień świetlny jednej świetlówki to 1350 lm, sprawność oprawy wynosi 65% a straty na układzie zasilającym wynoszą 5 W. Zatem całkowity strumień świetlny wychodzący z oprawy wynosi $4 \times 1350 \text{ lm} \times 0,65 = 3510 \text{ lm}$, a całkowita moc oprawy $4 \times 18 \text{ W} + 5 \text{ W} = 77 \text{ W}$. Skuteczność świetlna oprawy wynosi zatem $3510 \text{ lm} / 77 \text{ W} = 45 \text{ lm/W}$. Jeśli w zamian

użyjemy oprawy oświetleniowej w technologii LED o skuteczności świetlnej 140 lm/W to upraszczając, że oprawa oświetleniowa o tym samym strumieniu świetlnym będzie w stanie zastąpić poprzednią oprawę wystarczy nam oprawa o mocy 25 W. Kalkulując samą różnicę w



zużyciu energii elektrycznej oszczędzamy rocznie $(77 \text{ W} - 25 \text{ W}) \times 2500 \text{ h/rok} / 1000 = 130 \text{ kWh/rok}$. Przyjmując cenę 55 gr/kWh otrzymujemy 71,50 zł oszczędności rocznie na każdej oprawie oświetleniowej. Warto wziąć pod uwagę, że w przypadku opraw z tradycyjnymi źródłami światła dochodzą też inne koszty eksploatacyjne związane z wymianą tych źródeł. Poza samym kosztem źródła światła koszt wymiany może

zostać znacznie zwiększony, np. w przypadku konieczności użycia podnośnika przy oświetleniu drogowym czy na hali przemysłowej. Jeśli zmodernizowane oświetlenie będzie ponadto posiadało system sterowania czas zwrotu inwestycji może jeszcze znacznie się skrócić.



7. Podsumowanie

Pomimo, że oświetlenie sztuczne towarzyszy każdemu z nas codziennie to w dalszym ciągu dobór odpowiedniego oświetlenia może okazać się problematyczny. Szybki rozwój źródeł LED spowodował, że pojawiło się wiele różnych i niespotykanych dotąd rozwiązań. Nowe źródła cechują się szeregiem parametrów decydujących o ich możliwych zastosowaniach czy jakości. Napływ wielu produktów o niskiej jakości mógł zniechęcić konsumentów i inwestorów do inwestycji w modernizację oświetlenia, gdyż nie posiadali oni odpowiedniej wiedzy czy wytycznych, jakich produktów powinni szukać, a jakich unikać. Podsumowując najważniejsze aspekty tego artykułu można nakreślić kilka podstawowych zasad, które pomogą podjąć decyzję o wyborze dostawcy oświetlenia:

- każda oferta na sprzęt oświetleniowy powinna zostać poparta obliczeniami,
- projekt oświetlenia powinien być kompletny, zawierać obliczenia dotyczące każdego z wymagań normatywnych, nie można traktować pewnych wymagań wybiórczo,
- dokumentacja techniczna proponowanego sprzętu oświetleniowego powinna zawierać wszystkie najważniejsze opisane wcześniej dane fotometryczne, elektryczne i fizyczne, aby na ich podstawie można było ocenić jego jakość,
- proponowany sprzęt oświetleniowy powinien być dostosowany do warunków w jakich będzie pracował, posiadać odpowiednią szczelność, zakres temperatur pracy czy wymagane atesty i certyfikaty,
- niezalecane jest stosowanie zamienników tradycyjnych źródeł światła w postaci źródeł LED bez analizy ich wpływu na właściwe działanie oprawy oświetleniowej, w której zostaną zainstalowane,
- brak dodatkowych certyfikatów potwierdzających jakość sprzętu oświetleniowego i jego zgodność z normami nie oznacza, że sprzęt jest złej jakości, certyfikat taki jest jednak ich gwarancją,
- cena sprzętu oświetleniowego nie powinna być głównym kryterium jego wyboru,
- systemy sterowania podwyższają zazwyczaj koszt inwestycyjny, który jednak z czasem zwraca się w postaci oszczędności na zużyciu energii elektrycznej.

Ten krótki biuletyn miał za zadanie streścić obszerny temat oświetlenia. Może być on wskazówką dla inwestorów czy decydentów, jakich danych powinni oczekiwać od oferentów i

na jakie parametry zwrócić uwagę porównując różne oferty tak, aby cena nie była jednym kryterium wyboru. W razie wątpliwości i pytań związanych z oświetleniem Pol-lighting służy radą i pomocą: **biuro@pollighting.pl**.



8. Bibliografia

1. PN-EN 12464-1:2012, Światło i oświetlenie -- Oświetlenie miejsc pracy -- Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach, PKN, Warszawa, 2012
2. Żagan W. „Podstawy techniki świetlnej”, OWPW, Warszawa, 2005
3. Pracki P. „Projektowanie oświetlenia wnętrz”, OWPW, Warszawa, 2011
4. Wiśniewski A. „Źródła światła”, SEP COSiW, Warszawa, 2013