

Promieniowanie widzialne (oświetlenie)

mgr inż. Andrzej Pawlak - Centralny Instytut Ochrony Pracy

(artykuł z pakietu edukacyjnego „Nauka o pracy – bezpieczeństwo, higiena, ergonomia” CIOP)

1. Podstawowe pojęcia techniki świetlnej

Światło jest promieniowaniem widzialnym (elektromagnetycznym) zdolnym do wywoływania bezpośrednio wrażeń wzrokowych, z których wynika widzenie. Przyjmuje się, że promieniowanie widzialne zawiera się w przedziale 380 ÷ 780 nm. Poniżej przedstawiono podstawowe wielkości, którymi zajmuje się technika świetlna.

1.1. Strumień świetlny

Strumień świetlny (Φ) jest to ta część promieniowania optycznego emitowanego przez źródło światła, którą widzi oko ludzkie w jednostce czasu. Na przykład żarówka emituje oprócz promieniowania widzialnego - widocznego dla oka, dużą ilość promieniowania podczerwonego, czyli ciepłego. Podobnie jest z żarówką halogenową, która oprócz promieniowania widzialnego emituje zarówno promieniowanie podczerwone, jak i nadfioletowe - oba niewidoczne dla oka. Jednostką strumienia świetlnego jest lumen, lm.

1.2. Światłość

Światłość (I) jest to gęstość kątowna strumienia świetlnego źródła światła w danym kierunku. Światłość charakteryzuje rozsył strumienia świetlnego w przestrzeni, czyli ilość strumienia świetlnego wysyłanego przez źródło światła w niewielkim kącie bryłowym otaczającym określony kierunek. Światłość wyznacza się ze wzoru: $I = \Phi/\omega$, gdzie ω jest to kąt bryłowy, który na powierzchni kuli o promieniu r , zakreślonej z wierzchołka tego kąta, ogranicza pole $S = r^2$. Jednostką światłości jest kandela $\text{cd} = \text{lm}/\text{sr}$, gdzie: sr - steradian to jednostka kąta bryłowego.

1.3. Natężenie oświetlenia

Natężenie oświetlenia (E) jest to gęstość powierzchniowa strumienia świetlnego padającego na daną płaszczyznę, czyli jest to stosunek strumienia świetlnego padającego na płaszczyznę do jej pola powierzchni $E = \Phi/S$. Jednostką natężenia oświetlenia jest luks (lx), gdzie: $\text{lx} = \text{lm}/\text{m}^2$.

1.4. Luminancja

Luminancja (L) jest to fizyczna miara jaskrawości. Zależy ona od natężenia oświetlenia na obserwowanym obiekcie, właściwości odbiciowych powierzchni obiektu (barwa, stopień chropowatości) oraz od jego pola pozornej powierzchni świecącej. Pozorna powierzchnia świecąca jest to wielkość postrzeganej przez obserwatora powierzchni płaszczyzny świecącej uzależniona od kierunku jej obserwacji. Pozorna powierzchnia świecąca jest to zarówno płaszczyzna świecąca w sposób bezpośredni - oprawa oświetleniowa, jak i płaszczyzna świecąca w sposób pośredni, np. ściana, przez odbicie światła.

Wówczas gdy kąt pomiędzy prostopadłą do powierzchni świecącej a kierunkiem obserwacji wynosi 0° , pole pozornej powierzchni świecącej równe jest polu powierzchni świecącej. W miarę wzrostu ww. kąta, pole pozornej powierzchni świecącej zmniejsza się zgodnie z

kosinusem tego kąta, aż do kąta 90° , kiedy wynosi zero. Luminancja wyrażana jest wzorem: $L = \rho E / p$. Jednostką luminancji jest cd/m^2 .

1.5. Kontrast jaskrawości

Kontrast jaskrawości (k) oznacza subiektywne oszacowanie różnicy w wyglądzie dwu części pola widzenia, oglądanych równocześnie lub kolejno. W znaczeniu obiektywnym kontrast jest najczęściej określany wzorem: $k = L_1 / L_2$, gdzie: L_1, L_2 - luminancje, a $L_1 > L_2$.

2. Podstawowe funkcje i rodzaje oświetlenia

Światło na stanowisku pracy i w jego otoczeniu wpływa bezpośrednio na szybkość i pewność widzenia oraz określa w jaki sposób widzimy formy, sylwetki, barwę i właściwości powierzchni przedmiotów tam występujących. Aby praca wzrokowa była optymalna, stanowisko pracy oraz pomieszczenie, w którym się ono znajduje, muszą być tak oświetlone, aby występowała wygoda widzenia. Występuje ona wtedy, gdy spełnione są co najmniej trzy następujące warunki:

- zdolność rozróżniania szczegółów jest pełna,
- spostrzeganie jest sprawne, pozbawione ryzyka dla człowieka,
- spostrzeganie nie prowadzi do odczucia pewnej przykrości, niewygody, nadmiernego zmęczenia, a przeciwnie jest połączone z pewną przyjemnością.

Wystąpienie wygody widzenia zależy od czynników określających cechy ilościowe i jakościowe oświetlenia oraz od wrażliwości osobniczej. Oświetlenie wewnątrz powinno zapewniać:

- bezpieczeństwo ludziom przebywającym we wnętrzu,
- odpowiednie warunki do wykonywania zadań wzrokowych,
- pomoc w kreowaniu właściwego otoczenia świetlnego.

Wyróżnia się trzy podstawowe rodzaje oświetlenia:

- **oświetlenie ogólne** - równomierne oświetlenie pewnego obszaru bez uwzględnienia szczególnych wymagań dotyczących oświetlenia niektórych jego części,
- **oświetlenie miejscowe** - dodatkowe oświetlenie przedmiotu pracy wzrokowej, z uwzględnieniem szczególnych potrzeb oświetleniowych, w celu zwiększenia natężenia oświetlenia, uwidocznienia szczegółów itp., załączane niezależnie od oświetlenia ogólnego,
- **oświetlenie złożone** - oświetlenie składające się z oświetlenia ogólnego i oświetlenia miejscowego.

Wybór odpowiedniego rodzaju oświetlenia powinien być uzależniony od wymaganego poziomu natężenia oświetlenia. Dla poziomów natężenia oświetlenia poniżej 200 lx zaleca się stosowanie oświetlenia ogólnego. Dla poziomów natężenia oświetlenia z przedziału $200 \div 750 \text{ lx}$ zaleca się stosowanie oświetlenia ogólnego jako wyłącznego rodzaju oświetlenia, wtedy gdy występuje potrzeba jednakowego lub prawie jednakowego oświetlenia danej przestrzeni. Stosuje się je tam, gdzie nie jest wiadome rozmieszczenie stanowisk pracy i gdzie są one rozmieszczone równomiernie w całym pomieszczeniu, a praca wzrokowa na nich wykonywana jest taka sama lub o podobnej trudności (tzn. praca wymagająca rozróżniania

szczegółów o podobnej wielkości). Natomiast dla poziomów natężenia oświetlenia powyżej 750 lx zaleca się stosowanie oświetlenia złożonego (ogólne oraz miejscowe).

3. Parametry oświetlenia

3.1. Poziom natężenia oświetlenia

Określenie właściwego poziomu natężenia oświetlenia we wnętrzu lub na stanowisku pracy jest jednym z podstawowych problemów techniki oświetlania. Poziom natężenia oświetlenia potrzebny do wykonywania określonej pracy wzrokowej dobiera się w zależności od:

- stopnia trudności pracy wzrokowej,
- wielkości pozornej szczegółu pracy wzrokowej.

O stopniu trudności pracy wzrokowej decyduje:

- współczynnik odbicia przedmiotu pracy,
- wielkość kontrastu jaskrawości szczegółu przedmiotu z jego tłem.

Im mniejszy jest współczynnik odbicia (tzn. bliższy zeru) i kontrast szczegółu z tłem, tym większy jest stopień trudności pracy wzrokowej.

Z kryterium minimalnego poziomu natężenia oświetlenia wynika, że natężenie oświetlenia na poziomej płaszczyźnie roboczej, które można zaakceptować w pomieszczeniach, w których ludzie przebywają przez długi czas, niezależnie od tego, jakie jest wykonywane zadanie wzrokowe, powinno wynosić 200 lx. Wymagania szczegółowe dla różnego rodzaju stanowisk pracy są podane w załącznikach do normy PN 84/E-02033 [4]. Przy stopniu trudności pracy wzrokowej większym od przeciętnego, przy utrudnieniach w wykonywaniu pracy, przy wymaganiu zapewnienia dużej wygody widzenia, jak również, gdy pracownikami są w większości osoby powyżej 40 lat należy przyjmować poziom natężenia oświetlenia o stopień wyższy niż poziom minimalny dopuszczalny (podany w ww. normie). Poziomy natężenia oświetlenia zostały przyjęte wg następującego szeregu: 10; 20; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 500; 750; 1 000; 2 000; 3 000 i 5 000 lx.

3.2. Równomierność oświetlenia

Równomierność oświetlenia (d) na danej płaszczyźnie wyznacza się jako iloraz najmniejszej zmierzonej wartości natężenia oświetlenia występującej na danej płaszczyźnie (E_{\min}) do średniego natężenia oświetlenia na tej płaszczyźnie (E_{sr}): $d = E_{\min}/E_{\text{sr}}$, gdzie:

$$E_{\text{sr}} = (E_1 + E_2 + \dots + E_n) / n; n - \text{liczba punktów pomiarowych};$$

$$E_1 \div E_n - \text{wyniki pomiarów w kolejnych punktach pomiarowych.}$$

W normie PN 84/E-02033 [4] ustalono minimalne dopuszczalne wartości równomierności oświetlenia w zależności od charakteru czynności oraz ze względu na ciągłość lub dorywczość ich wykonywania. Przyjmuje się, że dla czynności ciągłych równomierność oświetlenia na płaszczyźnie roboczej powinna wynosić **co najmniej 0,65**, a dla czynności dorywczych oraz na klatkach schodowych i korytarzach - **co najmniej 0,4**.

W normie tej podano również wymaganie dotyczące stosunku wartości średnich natężenia oświetlenia (E_{sr}) na sąsiadujących płaszczyznach roboczych o różnych funkcjach lub na płaszczyźnie roboczej w stosunku do pozostałej nieroboczej części pomieszczenia, lub w sąsiadujących pomieszczeniach. Stosunek ten nie powinien przekraczać wartości 5:1.

3.3. Rozkład luminancji

Otoczenie świetlne wyrażone przez rozkład luminancji we wnętrzu jest czynnikiem wpływającym pośrednio, ale w sposób istotny na jakość widzenia. Stanowi on również w znacznym stopniu o nastroju we wnętrzu i jego dekoracyjności. Rozkład luminancji we wnętrzu określa się przez podanie charakterystycznych dla wnętrza ilorazów luminancji (zwanymi kontrastami) wyodrębnionych pól. Wyodrębnia się w tym celu pola występujące w bliższym i dalszym otoczeniu użytkownika (sąsiedztwie zadania wzrokowego). Na ogół wymagana jest znajomość luminancji ścian i sufitu wnętrza, a także luminancji płaszczyzny roboczej i przedmiotów na niej występujących. Pośrednio można określić rozkład luminancji przez podanie wartości współczynników odbicia w danym wnętrzu.

Kryteria oceny rozkładu luminancji we wnętrzu zależą od przeznaczenia danego pomieszczenia i rodzaju wykonywanej pracy. Dla pomieszczeń roboczych wymaga się możliwie równomiernej luminancji otoczenia. Zaleca się, aby luminancja bezpośredniego otoczenia przedmiotu pracy wzrokowej była mniejsza od luminancji samego przedmiotu, lecz nie mniejsza niż 1/3 tej wartości. Jednak warunek ten rzadko może być spełniony, zwłaszcza w pomieszczeniach produkcyjnych, gdzie zarówno luminancja przedmiotu pracy może być mniejsza od luminancji otoczenia, jak i kontrast luminancji może być większy od 3:1. Wówczas można ustalić łagodniejsze wymagania, tzn. kontrast luminancji nie powinien być większy od 10:1.

3.4. Olśnienie

Olśnieniem nazywa się pewien przebieg (stan) procesu widzenia, przy którym występuje odczucie niewygodności lub zmniejszenie zdolności rozpoznawania przedmiotów czy jedno i drugie, w wyniku niewłaściwego rozkładu luminancji lub niewłaściwego zakresu luminancji albo nadmiernych kontrastów w przestrzeni lub w czasie. Z punktu widzenia występujących skutków wyróżnia się następujące rodzaje olśnienia:

- **przeszkadzające** - zmniejszające zdolność widzenia na bardzo krótki, ale zauważalny czas i bez wywoływania uczucia przykrości. Nadmierna ilość światła docierająca do oka ulega rozproszeniu w ośrodkach optycznych oka, co powoduje nakładanie się tzw. luminancji zamglenia na prawidłowo zogniskowany obraz przedmiotu obserwowanego. Jako przykład tego rodzaju olśnienia może służyć sytuacja, gdy po krótkotrwałej obserwacji żarnika żarówki próbowalibyśmy nawlec igłę nitką. Postrzeganie tzw. „mroczków” (jest to luminancja zamglenia nakładająca się na obserwowany obraz) przez pewien krótki, lecz zauważalny okres uniemożliwia wykonanie tej czynności;
- **przykre** - wywołujące uczucie przykrości, niewygodności, rozdrażnienia oraz wpływające na brak koncentracji bez zmniejszenia zdolności widzenia. Natychmiast po usunięciu przyczyny olśnienia niewygodność ustępuje. Olśnienie to zależy od: luminancji poszczególnych źródeł olśniewających, luminancji tła, na którym znajdują się źródła, wielkości kątowych tych źródeł, ich położenia względem obserwatora oraz ich liczby w polu widzenia. Jako przykład takiego rodzaju olśnienia może być obserwacja otwartej przestrzeni równomiernie pokrytej czystym śniegiem podczas słonecznego dnia. W każdym kierunku obserwacji biel śniegu zdaje się razić w oczy i wywołuje uczucie niewygodności;
- **oślepiające** - olśnienie tak silne, że przez pewien zauważalny czas żaden przedmiot nie może być spostrzeżony. Jest to skrajny przypadek olśnienia przeszkadzającego. Przykładem tego rodzaju olśnienia może być sytuacja, gdy podczas przebywania nocą

na nieoświetlonej drodze nagle w polu widzenia pojawi się samochód jadący z naprzeciwka z włączonymi światłami drogowymi. W wyniku olśnienia zanika zdolność spostrzegania na pewien krótki, ale zauważalny czas.

Z punktu widzenia warunków powstawania rozróżniamy następujące rodzaje olśnienia:

- **olśnienie bezpośrednie**, które jest spowodowane przez jaskrawy przedmiot występujący w tym samym lub prawie tym samym kierunku co przedmiot obserwowany,
- **olśnienie pośrednie**, które jest spowodowane przez jaskrawy przedmiot występujący w innym kierunku niż przedmiot obserwowany,
- **olśnienie odbiciowe**, które powodują kierunkowe odbicia jaskrawych przedmiotów.

3.5. Tętnienie i zmiany aperiodyczne światła

Zmienny w czasie strumień świetlny wysyłany przez elektryczne źródło światła wynika praktycznie z częstotliwości prądu zasilającego to źródło. Fakt zmian strumienia świetlnego w rytm zmian prądu przemiennego, od wartości minimalnej do maksymalnej, nazwano tętnieniem światła. Wykorzystywane obecnie do ogólnych celów oświetleniowych źródła światła są zasilane prądem przemiennym o częstotliwości 50 Hz. Wówczas częstotliwość zmian światła wynosząca 100 Hz jest niedostrzegalna dla naszego wzroku i widzimy to światło w sposób ciągły. Tętnienie światła występuje w żarówkach w różnym stopniu, zależnie od grubości włókna wolframowego. Jednak problem ten jest bardziej uciążliwy, wówczas gdy stosujemy lampy wyładowcze, przede wszystkim świetlówki.

W przypadku oświetlania stanowisk pracy z wirującymi elementami czy źródłami wyładowczymi (świetlówki, ręciovki, sodówki) może wystąpić efekt stroboskopowy, czyli pozorny bezruch tych elementów.

Działania ograniczające lub eliminujące występowanie tego efektu oraz tętnienia światła przedstawiono w normie PN 84/E-02033 [4] i polegają one między innymi na: zasilaniu sąsiednich opraw z różnych faz, stosowaniu układu antystroboskopowego w oprawach oświetleniowych lub elektronicznego układu stabilizująco-zapłonowego (podwyższającego częstotliwość zasilania samych źródeł światła). Zgodnie z wymienioną normą należy stosować środki zmniejszające tętnienie światła w pomieszczeniach, w których może powstać efekt stroboskopowy, oraz wszędzie tam, gdzie wymagane natężenie oświetlenia jest nie mniejsze niż 200 lx, a stosowane są lampy wyładowcze zasilane z sieci 50 Hz. W przypadku świetlówek zużytych lub wadliwych, poprawę warunków świetlnych można jedynie uzyskać, wymieniając je na nowe. Pomimo że tętnienie światła jest zaliczane jedynie do czynników uciążliwych, niemniej jednak wymaga ograniczenia, ponieważ może niekorzystnie wpływać na samopoczucie człowieka.

4. Źródła światła

Poniżej przedstawiono podstawowe parametry źródeł światła.

4.1. Skuteczność świetlna źródła światła

Skuteczność świetlna (η_z) jest to stosunek strumienia świetlnego emitowanego przez źródło światła do pobieranej przez nie mocy. Jednostką skuteczności świetlnej jest lm/W.

4.2. Trwałość użyteczna

Trwałość użyteczna jest określana najczęściej czasem świecenia źródła światła do chwili, kiedy wartość jego strumienia świetlnego zmniejszy się o 20 ÷ 30% w stosunku do wartości początkowej.

4.3. Barwa światła i oddawanie barw

Wygląd określonego przedmiotu może ulegać zmianom w warunkach oświetlania różnymi typami źródeł światła. Dlatego też ważny jest dobór odpowiedniego stopnia oddawania barw do danego rodzaju pracy. Właściwości oddawania barw przez źródła światła charakteryzuje się tzw. ogólnym **wskaźnikiem oddawania barw** (R_a). Jest on miarą stopnia zgodności wrażenia barwy przedmiotu oświetlonego danym źródłem światła z wrażeniem barwy tego samego przedmiotu oświetlonego odniesieniowym źródłem światła w określonych warunkach. Maksymalna możliwa wartość tego wskaźnika wynosi 100. Przyjmuje się ją dla światła dziennego i większości źródeł żarowych. Wartości zbliżone do 100 charakteryzują najlepsze właściwości oddawania barw. Im większe jest wymaganie dotyczące właściwego postrzegania barw, jak np. w przemyśle poligraficznym, tekstylnym, tym wskaźnik oddawania barw powinien być większy.

W zależności od wykonywanych czynności zaleca się stosowanie źródeł światła o wskaźniku oddawania barw R_a :

- bardzo dużym, $R_a \geq 90$, dla stanowisk pracy, na których rozróżnianie barw ma zasadnicze znaczenie, jak np. kontrola barwy, przemysł tekstylny i poligraficzny, sklepy,
- dużym, $90 > R_a \geq 80$ biura, przemysł tekstylny, precyzyjny, w salach szkolnych i wykładowych,
- średnim oraz ewentualnie małym, $80 > R_a \geq 40$, inne prace, jak np. walcownie, kuźnie, magazyny, kotłownie, odlewnie, młyny oraz wszędzie tam, gdzie rozróżnianie barw nie ma zasadniczego lub istotnego znaczenia.

We wnętrzach, w których ludzie pracują albo przebywają dłuższy czas, zaleca się stosowanie źródła światła o wskaźniku oddawania barw większym od 80.

Barwę światła określa się za pomocą tzw. **temperatury barwowej** (T_c) i podaje się ją w kelwinach, K. Źródła, które emitują białą barwę światła, można podzielić, w zależności od ich temperatury barwowej, na trzy grupy: ciepłobiała (ciepła), neutralna (chłodnobiała) i dzienna (zimna). Wraz ze zwiększaniem wartości średniej wymaganego natężenia oświetlenia powinna wzrastać temperatura barwowa stosowanego źródła światła.

Dla poziomów natężenia oświetlenia poniżej 300 lx temperatura barwowa powinna być niższa od 3000 K, co odpowiada ciepłobiałej barwie światła. Dla poziomów 300 ÷ 750 lx temperatura barwowa powinna zawierać się w przedziale 3000 ÷ 5000 K, co odpowiada neutralnej barwie światła, natomiast dla poziomów natężenia powyżej 750 lx temperatura barwowa powinna być wyższa od 5000 K, co odpowiada dziennej barwie światła.

5. Oprawy oświetleniowe

Oprawa oświetleniowa jest to urządzenie służące do rozsyłu, filtracji i przekształcania strumienia świetlnego jednego lub kilku źródeł światła. Zawiera ono wszystkie elementy niezbędne do podtrzymania, mocowania i zabezpieczenia tych źródeł oraz w razie potrzeby obwody pomocnicze wraz z elementami niezbędnymi do ich podłączenia do sieci zasilającej.

W dalszej części rozdziału przedstawiono podstawowe właściwości świetlne opraw oświetleniowych.

5.1. Skuteczność świetlna oprawy oświetleniowej

Skuteczność świetlna (η_{op}) jest to stosunek całkowitego strumienia świetlnego wysyłanego przez oprawę oświetleniową do całkowitej mocy pobieranej przez tę oprawę (dla źródeł wyładowczych - moc pobierana przez źródło i osprzęt elektryczny). Jednostką skuteczności świetlnej jest lm/W.

5.2. Krzywa światłości

Krzywa światłości jest to krzywa odzwierciedlająca rozkład światłości oprawy przedstawiony dla charakterystycznej płaszczyzny lub płaszczyzn przekroju danej oprawy, którymi są płaszczyzny przechodzące przez wzdłużny (C_{90}) i poprzeczny (C_0) przekrój osiowy oprawy - dla opraw wydłużonych (np. do świetlówek) lub jedna krzywa dla opraw obrotowosymetrycznych (np. do żarówek, niektórych lamp wysokoprężnych). Producenci opraw podają krzywe światłości w formie wykresowej w przeliczeniu na znamionowy strumień świetlny $\Phi_0 = 1\ 000$ lm źródła (źródeł) światła lub w formie tabelarycznej.

5.3. Kąt ochrony

Kąt ochrony (δ) jest to kąt płaski wyznaczony w pionowej płaszczyźnie przechodzącej przez środek świetlny oprawy, określający strefę, w której przedziałach oko obserwatora jest chronione przed bezpośrednim promieniowaniem źródła światła.

6. Sposoby oświetlania miejscowego

Sposoby oświetlania miejscowego polegają na doborze oprawy oświetlenia miejscowego ze względu na jej średnią luminancję i wielkość powierzchni świecącej oraz na odpowiednim jej umieszczeniu w stosunku do oka obserwatora. Umieszczenie to wynika z charakterystyki odbiciowej przedmiotu pracy wzrokowej oraz wymagań dotyczących oświetlenia. Charakterystyka przedmiotu pracy wzrokowej zależy od jego wartości współczynników odbicia i przepuszczania oraz od faktury jego powierzchni (powierzchnia z załamaniami, pęknięciami, rysami, wżerami itp.), która wpływa na charakterystykę odbicia światła (kierunkowe, rozproszone, kierunkoworozproszone).

W praktyce przyjmuje się cztery charakterystyczne sposoby oświetlenia miejscowego, polegające na zróżnicowaniu umieszczania opraw (fol. 1):

- układ **a** doświetlający zapewnia równomierne doświetlenie (bez cieni) pola pracy wzrokowej lub uwidocznienie szczegółów o małym kontraście. Kierunek padania strumienia świetlnego w tym układzie nie odgrywa znaczącej roli;
- układ **b** odbijający do oczu zapewnia uwidocznienie szczegółu przez postrzeganie odbicia od przedmiotu pracy wzrokowej o zróżnicowanych właściwościach odbijających światło. Układ ten umożliwia dostrzeżenie np. pęknięć, znaków zrobionych punktakiem na matowym materiale, podziałek na suwmiarce itp.;
- układ **c** odbijający kierunkowo umożliwia ujawnienie nierównomierności powierzchni przez zauważenie cieni powstałych od tych nierównomierności na skutek skierowania światła pod małym kątem względem powierzchni obserwowanego przedmiotu. Promienie odbite kierunkowo nie trafiają do oka;

- układ **d** ujawniający szczegóły w świetle przechodzącym (z oprawą rozpraszającą) umożliwi prześwietlenie przedmiotu, np. obserwacja światłoczułych materiałów, pęknięć w materiale lub ciągłości ścieżek na płycie drukowanej.

W każdym z tych układów można zastosować, między innymi, następujące typy opraw oświetlenia miejscowego:

- oprawy skupiające, np. źródło punktowe z odbłyśnikiem skupiającym,
- oprawy rozpraszające o dużej luminancji ($L > 14\ 000\ \text{cd/m}^2$), np. źródło punktowe z odbłyśnikiem rozpraszającym, nieprzeświecalnym, bez klosza rozpraszającego,
- oprawy rozpraszające o średniej luminancji ($L < 14\ 000\ \text{cd/m}^2$), np. źródło liniowe z odbłyśnikiem rozpraszającym, nieprzeświecalnym, z kloszem rozpraszającym lub bez klosza rozpraszającego.

Odpowiedni układ umieszczania i typu oprawy oświetlenia miejscowego dobiera się po uwzględnieniu występujących na stanowisku pracy warunków pracy wzrokowej (np. kontrast i charakterystyka odbiciowa przedmiotu pracy wzrokowej) oraz zasad oświetlania.

7. Czynniki decydujące o jakości widzenia

7.1. Wydolność wzrokowa

Jakość widzenia charakteryzuje się na podstawie oceny dokładności i szybkości wykonywania czynności, niekiedy z uwzględnieniem stopnia wydatkowania energii. Na podstawie tak określonej wydolności wzrokowej ustalono dwie grupy czynników decydujących o jakości widzenia. Pierwsza grupa są to czynniki fizjologiczne (np. akomodacja, adaptacja), na które oświetleniowiec nie ma wpływu, ale niektóre z nich powinien brać pod uwagę przy projektowaniu oświetlenia (w szczególności wiek użytkowników). Druga grupa są to czynniki fizyczne, które zależą od cech spostrzeganych szczegółów i ich otoczenia. Zalicza się do nich: luminancję przedmiotu pracy wzrokowej i jego kontrast z tłem, rozkład luminancji, wymiar kątowy najmniejszego szczegółu i czas przeznaczony na spostrzeganie. Na podstawie analizy wyników badań dotyczących wydolności wzrokowej sformułowano następujące wnioski:

- przedmiot pracy wzrokowej jest tym łatwiej spostrzegany, im większy jest kontrast luminancji, np. czarna litera na białym tle. Wówczas gdy kontrast jest mały, natężenie oświetlenia musi być tak zwiększone, aby zagwarantować łatwość rozpoznawania obiektu;
- poprawa kontrastu luminancji obserwowanych obiektów ma większy wpływ na wydolność wzrokową niż znaczący wzrost natężenia oświetlenia;
- wzrost natężenia oświetlenia ma wpływ na poprawę wydolności widzenia i to wpływ ten jest bardziej znaczący przy małym kontraście niż przy dużym;
- wzrost natężenia oświetlenia powoduje wzrost wydolności wzrokowej tylko do pewnej granicy. Powiększenie wielkości kątowej szczegółu ma wpływ na poprawę wydolności wzrokowej większy niż znaczący wzrost natężenia oświetlenia i kontrastu;
- gdy dalsze podwyższanie poziomu natężenia oświetlenia wpływa minimalnie lub praktycznie wcale na wzrost wydolności wzrokowej, to następuje ciągle obniżanie się wydatkowania energii, wpływające na mniejsze zmęczenie;

- zmniejszanie się z wiekiem wydolności wzrokowej uwydatnia się szczególnie przy niższych poziomach natężenia oświetlenia;
- taki sam wzrost poziomu natężenia oświetlenia spowoduje wyższy stopień poprawy wydolności wzrokowej u osoby w wieku np. 45 lat niż u osoby w wieku np. 30 lat. Wynika stąd postulat zapewnienia pracownikom ze starszowzrocznością odpowiednio wyższych poziomów natężenia oświetlenia.

7.2. Rozkład luminancji

Dla danego poziomu natężenia oświetlenia różnice w luminancji wynikają z różnic w odbiciach strumienia świetlnego od powierzchni. Poniżej przedstawiono zalecane zakresy luminancji dla wybranych sytuacji:

- preferowana **luminancja zadania wzrokowego** (przedmiotu pracy): $100 \div 500 \text{ cd/m}^2$
- preferowana **luminancja otoczenia ogólnego** > (ścian i sufitu): $50 \div 300 \text{ cd/m}^2$
- preferowana **luminancja tła**: $50 \div 250 \text{ cd/m}^2$.

Luminancja tła jest to luminancja obszaru, na którym występuje przedmiot pracy, tj. luminancja bezpośrednio granicząca z luminancją zadania wzrokowego. Natomiast luminancja otoczenia ogólnego jest to luminancja nie granicząca bezpośrednio z luminancją zadania wzrokowego. Luminancja otoczenia określonego zadania wzrokowego powinna być, jeśli to możliwe, mniejsza niż luminancja samego zadania, ale nie mniejsza niż 1/3 jej wartości. Zarówno wartość luminancji ścian, jak i luminancji zadania wzrokowego jest zależna od poziomu natężenia oświetlenia jakiego wymaga dana czynność. Przy założeniu, że mieści się on w przedziale od około 500 do 1 000 lx, luminancja ścian powinna wynosić odpowiednio od 50 do 100 cd/m^2 . Typowe wartości współczynnika odbicia ścian potrzebne do uzyskania tych wartości luminancji są zawarte w przedziale między 0,5 a 0,8. Wartość luminancji sufitu powinna być duża na tyle, aby we wnętrzu było stworzone przyjemne, ogólne wrażenie oraz zminimalizowane kontrasty jaskrawości między sufitem a każdą oprawą oświetleniową na nim zamocowaną. Aby sufit nie powodował odbić, jego luminancja nie powinna być większa od 500 cd/m^2 . Natomiast z punktu widzenia satysfakcji wzrokowej są preferowane wartości od 100 do 300 cd/m^2 . Zaleca się poza tym, aby średnia luminancja sufitu była większa o około 20 ÷ 30% od średniej luminancji ścian, czyli luminancja otoczenia ogólnego powinna być na tyle duża, aby był zapewniony odpowiedni poziom adaptacji oczu i wytworzony odpowiedni nastrój we wnętrzu. Wynika stąd, że luminancja tła i otoczenia nie powinny być zbyt małe w stosunku do luminancji zadania wzrokowego, przy jednoczesnym spełnieniu warunku, że nie może występować zbyt duży kontrast między przedmiotem pracy i jego tłem.

7.3. Ochrona przed olśnieniem

Największą luminancją we wnętrzu wytworzoną przez urządzenia oświetleniowe jest ta, którą powodują same źródła światła. Zwykle luminancje te są zbyt duże, aby pozwolić na używanie źródeł światła bez odpowiedniego ograniczenia ich jaskrawości w kierunku oczu pracownika. Z tego powodu źródła światła są umieszczane w oprawach, których jednym z zadań jest ograniczanie luminancji w kierunkach chronionych do akceptowalnego poziomu. Ograniczanie olśnienia bezpośredniego lub pośredniego oznacza ograniczenie luminancji opraw oświetleniowych w strefie powyżej kąta 45° , mierząc od pionu. Kąt δ jest to kąt widzenia środka świetlnego oprawy położonej najdalej od obserwatora. W przypadku pomieszczeń z komputerami strefa ograniczenia luminancji najczęściej występuje powyżej

kąta 50°; 55° lub 60°, mierząc od pionu. Im wartość tego kąta jest większa, tym strefa ograniczenia luminancji jest mniejsza i występuje większe prawdopodobieństwo wystąpienia olśnienia bezpośredniego.

Ograniczenie olśnienia jest związane z odpowiednim doбором oprawy oświetleniowej, a decydują o tym elementy optyczne kształtujące jej bryłę fotometryczną, np. klosz mleczny, odbłyśnik, raster (różny kształt oraz rodzaj powierzchni).

W praktyce oświetlania wnętrz olśnienie przykre jest większym problemem niż olśnienie przeszkadzające. Uczucie przykrości ma tendencję do wzrostu wraz z upływem czasu i powoduje uczucie stresu i zmęczenia. Środki podjęte do ograniczenia olśnienia przykrego zwykle niwelują olśnienie przeszkadzające.

Na stopień olśnienia przykrego nie wpływa tylko luminancja w polu widzenia pracownika, lecz zależy on także od rodzaju wykonywanej czynności. Im bardziej wymagające jest zadanie wzrokowe i im większa jest potrzeba koncentracji, tym silniejsze będzie uczucie przykrości. W tych sytuacjach, gdy pracownik musi się przemieszczać, wykonując określone czynności, doświadczana przykrość będzie mniejsza niż gdy pracownik wykonuje pracę bez wykonywania znaczących ruchów. W tym drugim przypadku największe zagrożenie olśnieniem jest powodowane przez krańcowe oprawy oświetleniowe, szczególnie w pomieszczeniach wydłużonych. Dlatego też w pomieszczeniach wydłużonych, w celu minimalizowania olśnienia, należy unikać opraw z kloszami mlecznymi (oprócz takich opraw umieszczonych np. w kasetonach sufitowych, zapewniających odpowiednie kąty ochrony).

Olśnienia odbiciowe oraz odbicia obniżające kontrast mogą być zminimalizowane przez:

- rozplanowanie systemu oświetlenia lub rozlokowanie miejsc pracy w taki sposób, aby żadna oprawa oświetleniowa nie była umieszczona nad miejscem wykonywania zadania wzrokowego,
- zwiększenie strumienia świetlnego padającego z kierunków bocznych na zadanie wzrokowe pod kątem ostrym, różnym od kąta obserwacji,
- stosowanie opraw mających dużą, dolną powierzchnię świecąca i małą luminancję,
- projektowanie stanowisk pracy i materiałów do pracy o matowych powierzchniach w celu zmniejszenia skutków odbicia.

8. Oświetlenie pomieszczeń z komputerami

Praca przy monitorach jest związana z wystąpieniem co najmniej dwóch różnych zadań wzrokowych:

- czytanie drukowanego tekstu na dokumencie i znaków na klawiaturze,
- czytanie znaków na monitorze (znaki mogą być jasne na ciemnym tle lub ciemne na jasnym tle).

Projektowanie oświetlenia do pracy przy komputerze wymaga więc stosowania oświetlenia zapewniającego dobre warunki widzenia dla obu ww. zadań wzrokowych. Wysoki poziom natężenia oświetlenia jest niezbędny na płaszczyźnie klawiatury i stołu, natomiast w płaszczyźnie ekranu jest niekorzystny ze względu na obniżenie kontrastu jaskrawości znaków i tła na ekranie.

W normie PN 84/E-02033 [4] określono wymaganie dotyczące wartości najmniejszego dopuszczalnego średniego natężenia oświetlenia w pomieszczeniach komputerów, które powinno wynosić 500 lx. W normie tej zaleca się unikania kierunkowych odbić opraw

oświetleniowych i ograniczenia oświetlenia na ekranach monitorów. Zaleca się także, aby luminancja powierzchni pracy (dotyczy to średniej luminancji) nie była większa od 3-krotnej wartości luminancji obserwowanych powierzchni występujących w centralnym polu widzenia oraz 10-krotnej wartości luminancji dalszych powierzchni w peryferyjnym polu widzenia (np. ściany, sufit, podłoga).

W celu ograniczenia oślnienia odbiciowego od opraw należy stosować właściwie rozmieszczone oprawy oświetleniowe z odpowiednim rastrem (parabolicznym, metalizowanym) oraz odpowiednio rozmieszczone stanowiska pracy. Do oświetlania stanowisk pracy z komputerami luminancja opraw powinna być nie większa niż 200 cd/m^2 dla kąta wypromieniowania oprawy powyżej $45 \div 55^\circ$ (licząc od pionu) w płaszczyźnie wzdłużnej i poprzecznej oprawy. Wymagania powyższe spełniają oprawy o rozsyłach światłości kształtowanym przez głębokie zwierciadlane odbłyśniki paraboliczne oraz metalizowane, paraboliczne rastry, tzw. *dark-light*. Oprawy oświetleniowe o takich rozsyłach światłości są korzystne ze względu na następujące zalety:

- uwydatnione kierunki promieniowania leżą w płaszczyźnie prostopadłej do osi obserwacji, co ogranicza wpływ składowej kierunkowej odbicia strumienia świetlnego od przedmiotów znajdujących się na biurku, utrudniającej rozróżnianie szczegółów;
- na stanowiskach pracy zlokalizowanych między dwoma liniami opraw świetłkowych uzyskuje się większe natężenie oświetlenia niż pod oprawami w przejściach komunikacyjnych;
- nieobrotowa bryła fotometryczna umożliwia intensywniejsze oświetlenie stanowisk pracy z boku w porównaniu z innymi kierunkami.

9. Wymagania dotyczące oświetlenia

W celu uzyskania efektywnego oświetlenia (również energooszczędnego) należy wziąć pod uwagę poniższe zasady:

- w urządzeniu oświetleniowym należy dążyć do użycia najbardziej wydajnych źródeł światła;
- źródła światła należy eksploatować w warunkach znamionowych (nie obniżając ich strumienia świetlnego);
- sprzęt oświetleniowy należy utrzymywać w dobrym stanie;
- w czasie pracy w ciągu dnia należy w pełni wykorzystać światło dzienne (np. przez ustawienie stanowisk pracy w pobliżu okien), a w przypadku konieczności doświetlania stanowisk pracy światłem elektrycznym, należy włączać tylko niezbędne sekcje oświetlenia.

10. Podsumowanie

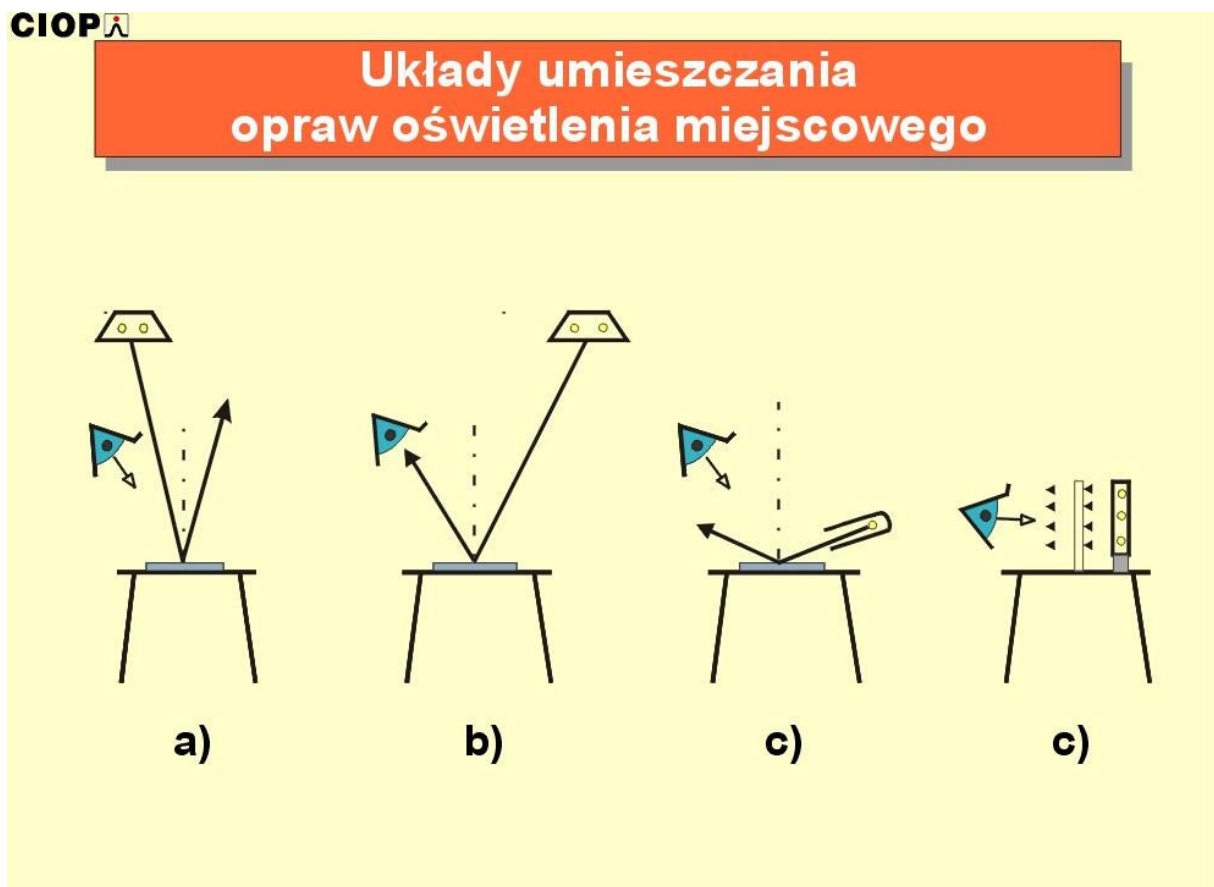
Na jakość oświetlenia w danym pomieszczeniu, którą ma zapewnić określony system oświetleniowy, mają wpływ następujące parametry:

- poziom natężenia oświetlenia i jego równomierność,
- rozkład luminancji,
- ograniczenie oślnienia przykrego,
- barwa światła (temperatura barwowa) i wskaźnik oddawania barw źródeł światła.

11. Literatura

1. Bąk J., Pabjańczyk W.: Podstawy techniki świetlnej. Skrypt dla szkół wyższych. Łódź, Politechnika Łódzka 1994.
2. Katalog opraw oświetleniowych. Philips 1999, 4.
3. Katalog źródeł światła, osprzętu i systemów sterowania oświetleniem 2000-2002. Philips 1999, 11.
4. PN-84/E-02033 Oświetlenie wnętrz światłem elektrycznym.
5. PN-90/E-001005 Technika świetlna. Terminologia.
6. Publication CIE No 29.2 (1986). Guide on interior lighting.

12. Foliogramy



Foliogram 1.