

Oświetlenie pomieszczeń biurowych z komputerami

Praca biurowa polega przede wszystkim na wykonywaniu czynności związanych z obsługą komputera czy laptopa, w których bardzo istotną rolę odgrywa narząd wzroku. Pracownicy spędzają obecnie w pomieszczeniach biurowych 8 i więcej godzin dziennie. W związku z tym oświetlenie pomieszczeń, w których znajdują się komputery, powinno zapewnić wykonywanie typowych prac biurowych w sposób efektywny. Przy projektowaniu oświetlenia należy uwzględnić odpowiednią widoczność zadania wzrokowego, ale równie ważna jest dbałość o właściwe oświetlenie całego pomieszczenia. Dlatego nie tylko należy zapewnić prawidłowe (spełniające wymagania normy oświetleniowej¹) oświetlenie zadania wzrokowego, ale również zwrócić uwagę na otoczenie świetlne, które musi zagwarantować pracownikom wygodę widzenia, odpowiednią wydolność wzrokową oraz bezpieczeństwo¹. Oczywiście oba te aspekty powinny ze sobą współgrać, tak aby stworzyć zarówno stymulujące (pobudzające) warunki do pracy, jak i dobrą widoczność zadania wzrokowego. Jeżeli oświetlenie spełnia również aspekt energooszczędności, to można uznać, że w pomieszczeniu spełnione zostały podstawowe cele oświetleniowe.

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. Pojawia się 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 przykrości, niewygody, nadmiernego zmęczenia, a przeciwnie, jest połączone z pewną przyjemnością.

Wygoda widzenia zależy od czynników określających cechy ilościowe i jakościowe oświetlenia oraz od wrażliwości osobniczej.

Ważne jest, aby poza zapewnieniem wymaganego poziomu natężenia oświetlenia zadano również o poprawne otoczenie świetlne stanowiska pracy. W normie PN-EN 12464-1:2012¹ do parametrów wpływających na otoczenie świetlne zaliczono: rozkład luminancji, natężenie oświetlenia, ośnienie, kierunkowość światła, oddawanie barw i barwa światła oraz migotanie.

Istotnym parametrem oświetlenia, związanym również z właściwościami pomieszczenia, jest rozkład luminancji, określany przez współczynniki odbicia oraz natężenie oświetlenia na powierzchniach (wartości te są sprecyzowane w normie¹). Powinien on być zrównoważony w całym pomieszczeniu, a powierzchnie we wnętrzu mają być jasne – szczególnie ściany i sufit. Związane jest to z zastosowaniem opraw oświetleniowych o dosyć dużych powierzchniach świecących, równomiernie rozmieszczonych oraz umożliwiających rozświetlenie ścian. W niektórych przypadkach możliwe jest stosowanie oświetlenia z określonego kierunku, w celu np. ukazania

¹ PN-EN 12464-1:2012 Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach.



Fot. Constantinos/Bigstockphoto

detali w obszarze zadania wzrokowego. Jednak takie oświetlenie nie może powodować ośnienia odbiciowego oraz ostrych cieni.

Wymagania normatywne

Zgodnie z polską normą¹ wymagania oświetleniowe dla stanowisk pracy z komputerem są następujące:

- eksploatacyjne natężenie oświetlenia:
 - 500 lx – w obszarze zadania (klawiatura, dokumenty)
 - 300 lx – w obszarze bezpośredniego otoczenia (np. drukarka, skaner, segregatory itp.)
- równomierność oświetlenia (U_0):
 - nie mniejsza niż 0,60 – w obszarze zadania
 - nie mniejsza niż 0,40 – w obszarze bezpośredniego otoczenia
- wskaźnik oddawania barw (R_p) – nie mniejszy niż 80
- ujednoczona ocena ośnienia (UGR) – nie większa niż 19.

W normie określono również wymóg oświetleniowy dla obszaru tła, czyli podłogi w pomieszczeniu biurowym (tzw. strefa komunikacyjna). Eksploatacyjne natężenie oświetlenia nie może być w tym obszarze mniejsze niż 100 lx, a równomierność nie mniejsza niż 0,10. Przytoczone parametry są obligatoryjne dla pracodawcy, tzn. musi on zapewnić takie oświetlenie w pomieszczeniu, które spełnia wymogi normy.

Barwa ma znaczenie

Parametrem, który nie jest obligatoryjny, ale wpływa na nastrój panujący w pomieszczeniu biurowym, jest barwa zastosowanych źródeł światła, czyli temperatura barwowa (T_c). W pomieszczeniach biurowych projektanci z reguły projektowali oświetlenie świetłówkowe o temperaturze barwowej 4000 K. Przy zastępowaniu opraw świetłówkowych oprawami ze źródłami LED również zauważalna jest tendencja do stosowania temperatury barwowej o wartości 4000 K.

Jednak subiektywne postrzeganie (odczucie) barwy o wartości 4000 K świetlówek i źródeł LED jest znacząco różne. Przy tej wartości temperatury barwowej barwa źródeł LED jest odbierana już jako chłodna. Wynika to z odmiennego sposobu wytwarzania promieniowania widzialnego w obu tych źródłach światła. Stosowanie ciepłych barw światła (2700-3000 K) uzasadnione jest psychofizjologią naszego wzroku, z której wynika większy komfort pracy wzrokowej, lepsze samopoczucie oraz eliminacja subiektywnego odczucia dyskomfortu.

Ponadto oświetlenie elektryczne ma duży wpływ na rytm okołodobowy (cyrkadyalny), który steruje dziennymi zmianami wydolności, zachowania i porą snu człowieka. Z najnowszych badań dotyczących oświetlenia niezakłócającego rytmu okołodobowego wynika, że oświetlenie, zwłaszcza przy pracy jednozmianowej, powinno charakteryzować się rozkładem widmowym o jak najmniejszej składowej niebieskiej, tak aby nie hamować wydzielania melatoniny². W związku z tym, stosując oświetlenie LED należy zawsze wybierać barwy ciepłe, nieprzekraczające 3000 K.

Przy doborze źródeł/opraw LED należy zwracać uwagę na wartość wskaźnika oddawania barw. Praca biurowa nie wymaga wprawdzie na ogół precyzyjnego rozróżniania barw, wskaźnik ten ma natomiast wpływ na tzw. odczucia przyjemnościowe pracowników. Przy małych wartościach wskaźnika oddawania barw (40-60) rozróżnianie barw jest utrudnione, a skóra przybiera nieatrakcyjną, szarą barwę. Nie ma natomiast uzasadnienia stosowanie źródeł o maksymalnej wartości – pomiędzy 90 a 100 – gdyż nie wpływa to istotnie na komfort i odczucia pracowników, a znacząco podnosi koszty instalacji oświetleniowej.

Sposoby oświetlania pomieszczeń biurowych

Jak wspomniano wcześniej, elementem wyposażenia stanowisk biurowych jest zwykle monitor ekranowy. Jednak charakter pracy z monitorem różni się od tradycyjnej pracy biurowej. Główny obiekt pracy wzrokowej – monitor komputera – ma pionową płaszczyznę pracy wzrokowej i jest obserwowany przy zachowaniu w przybliżeniu poziomej linii obserwacji. Duże znaczenie ma przy tym otoczenie świetlne: występują odbicia na ekranie, spadek kontrastu znaku. Podniesiona (w porównaniu z tradycyjną pracą biurową) linia obserwacji wpływa na wzrost znaczenia charakterystyki otoczenia świetlnego.

W zależności od typu pracy wykonywanej przy komputerze można rozróżnić dwie podstawowe czynności wzrokowe, polegające na dostosowaniu funkcji wzroku (akomodacja, adaptacja) do znaków prezentowanych na ekranie (np. czytanie tekstu, tworzenie wykresów, obróbka zdjęć itp.) lub do znaków na wydrukowanym dokumencie i klawiaturze³. Oświetlenie musi w obu przypadkach zapewnić wygodę widzenia. Na pewno należy unikać nadmiernego oświetlenia ekranu, z uwagi na ograniczenie kontrastu znaków na tle ekranu, co powoduje zmniejszenie ich czytelności. Natomiast przy pracy z dokumentem należy zwrócić uwagę na jego prawidłowe oświetlenie.

Najczęściej w pomieszczeniach biurowych stosowane jest oświetlenie ogólne, tzw. bezpośrednio. Oprawy oświetleniowe montowane są bezpośrednio na suficie lub w suficie podwieszanym, ewentualnie na zwieszakach o długości około 20-30 cm. Oświetlenie bezpośrednie charakteryzuje się tym, że strumień świetlny oprawy kierowany jest w dolną półprzestrzeń, czyli na powierzchnię roboczą oraz podłogę pomieszczenia. Równomierne rozmieszczenie opraw na suficie zapewnia bardzo dobrą równomierność oświetlenia na stanowiskach pracy. Często strumień świetlny kierowany jest również bezpośrednio na ściany.

Oświetlenie to może być projektowane i instalowane z wykorzystaniem wielu typów opraw oświetleniowych różniących się układem świetlnooptycznym, dzięki czemu uzyskuje się szeroki zakres wyboru odpowiedniej krzywej światłości oprawy, począwszy od bardzo szerokiego rozsyłu światłości (klosze rozpraszające) do bardzo wąskiego (odbłyśniki i rastry metalizowane, soczewki).

Elementy opraw oświetleniowych wpływające na rozsył strumienia świetlnego

Podstawowym elementem oprawy oświetleniowej jest źródło światła. Z reguły charakteryzuje się ono wysoką luminancją (jaskrawością), szczególnie w przypadku źródeł LED. Parametrami źródeł światła wpływającymi na konstrukcję oprawy są: wielkość źródła światła, wymiary obszaru świecącego oraz jego luminancja i rozkład, typ trzonka (nie dotyczy opraw zintegrowanych ze źródłami LED) oraz wielkości elektryczne: moc, natężenie prądu pracy, napięcie na lampie, a także konstrukcja elektronicznego zasilacza.

Elementy optyczne mające wpływ na rozsył strumienia świetlnego w oprawach to:

- klosze (rozpraszające, pryzmatyczne, polaryzacyjne)
- rastry (metalizowane lustrzane, matowane, białe, paraboliczne, proste)
- soczewki (skupiające, rozpraszające)
- odbłyśniki (proste, paraboliczne, eliptyczne itp.).

Klosze, rastry oraz soczewki mają również bardzo duży wpływ na ochronę użytkownika przed oślnieniem, ponieważ luminancja nieosłoniętych źródeł światła jest bardzo wysoka i wynosi np. około 4000 cd/m² w przypadku świetlówek T8 o średnicy 38 mm.

W praktycznych zastosowaniach źródeł LED w sprzęcie oświetleniowym stosuje się nie pojedyncze LEDy, a moduły złożone z kilku, kilkunastu pojedynczych LEDów. Cały strumień świetlny emitowany jest wówczas z powierzchni kilku milimetrów kwadratowych. Luminancja tej powierzchni wynosi, w zależności od konstrukcji i mocy źródła, od kilku do ponad 50 milionów cd/m². Należy więc bardzo uważnie przeprowadzać analizę możliwości oślnienia powodowanego przez źródła i instalację LED. Takie wartości luminancji w pewnych warunkach (np. przy małych luminancjach tła) mogą wywołać zjawisko oślnienia nie tylko przeszkadzającego, ale i oślepiającego. Tak więc źródło światła i elementy opraw oświetleniowych o dużej luminancji muszą być przesłonięte przed wzrokiem użytkownika.

Ograniczenie oślnienia

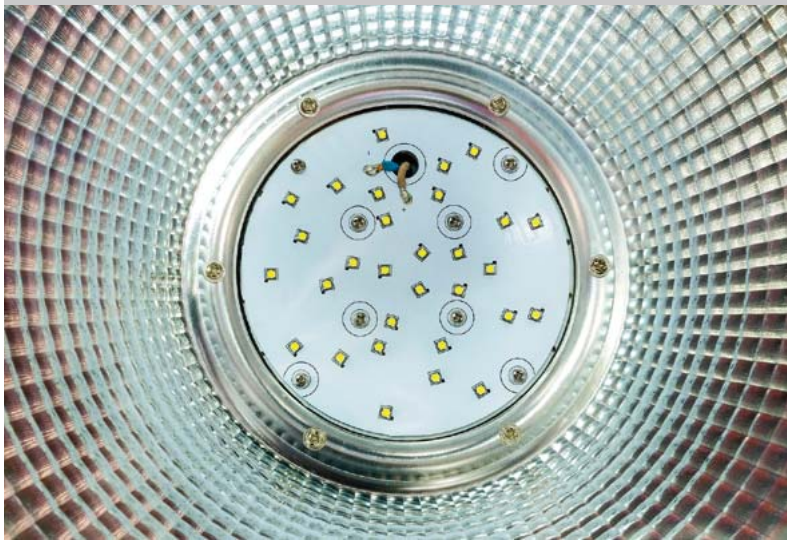
Przy projektowaniu oświetlenia bezpośredniego szczególną uwagę należy zwrócić na zapewnienie wymaganego przez wspomnianą wcześniej normę stopnia ochrony przeciwosłnieniowej. Wiąże się to z wyborem oprawy oświetleniowej o odpowiednim kącie ochrony oraz z właściwym rozmieszczeniem i wysokością zawieszenia opraw w pomieszczeniu. W przypadku stosowania opraw ze źródłami LED należy przyjmować bardziej ostre kryteria ochrony przeciwosłnieniowej niż w przypadku opraw ze świetłówkami. Wynika to często z punkтового charakteru emisji światła oraz z charakterystyki emitowanego widma promieniowania optycznego, które różni się od widm innych źródeł światła uznanych za tradycyjne. Również w dużych pomieszczeniach biurowych, w których znajduje się wiele stanowisk komputerowych, należy przyjmować bardziej ostre kryteria ochrony przeciwosłnieniowej niż w przypadku małych pomieszczeń, w których także wykonuje się pracę przy komputerze.

Oświetlenie bezpośrednie pomieszczeń biurowych często odbywa się z zastosowaniem opraw z metalizowanym rastrem parabolicznym, tzw. *dark-light*. Najczęściej przyjmuje się, że ich luminancja powyżej kąta 45° (licząc od pionu) powinna być ograniczona do 200 cd/m². Oprawy te charakteryzują się rozsyłem światłości, który powoduje, że na stanowiskach pracy zlokalizowanych między dwoma liniami opraw uzyskuje się wyższe natężenie oświetlenia niż pod oprawami – w przejściach. W związku z tym stanowiska pracy z monitorami ekranowymi należy tak rozmieszczać, aby kierunek obserwacji był równoległy do linii opraw. Trzeba przy tym unikać ustawiania biurka oraz krzeseł bezpośrednio pod oprawami, aby nie dopuszczać do powstawania odbić opraw na błyszczącym blacie biurka i na klawiaturze. Ponadto oprawy te nie powinny znajdować się w kierunku typowej obserwacji – czyli na wprost wzroku pracownika.

Oświetlenie ogólne charakteryzuje się dużą sprawnością, należy jednak pamiętać, aby stanowiska pracy nie były usytuowane bezpośrednio pod oprawami, co może przesądzać o pewnym ograniczeniu stosowania tego sposobu oświetlenia. W przypadku stosunkowo małych pomieszczeń, w których znajduje się kilka stanowisk z monitorami, często ten sposób nie jest możliwy do zrealizowania. Wówczas należy stosować oświetlenie pośrednie, które nie ma tych wad. Charakteryzuje się ono tym, że strumień

² Wolska A. *Oświetlenie skuteczne biologicznie na stanowiskach pracy zmianowej*. „Przegląd Elektrotechniczny” 2018, 2.

³ ISO/DIS 9241-6.2: 1998. Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs). Guidance on work environment.



Fot. Chiradech/Bigstockphoto

światłny oprawy, zamontowanej do sufitu za pomocą zwieszaka, kierowany jest na sufit, który staje się najjaśniejszą powierzchnią w pomieszczeniu. Następnie strumień światłny odbija się od sufitu i oświetla płaszczyznę roboczą. Aby uniknąć nadmiernych wartości luminancji, oświetlenie sufitu powinno być równomierne.

Sprawność oświetlenia w dużym stopniu zależy od własności pomieszczenia, a zwłaszcza współczynników odbicia sufitu oraz wysokości pomieszczenia. Ważne jest, aby zastosowane oprawy miały szeroki rozsył światłości, a sufit odbijał światło w sposób rozproszony. Oświetlenie pośrednie zapewnia równomierne, rozproszone oświetlenie stanowiska pracy, bez występowania cieni czy jaskrawych plam światłnych w pomieszczeniu, podobnie jak przy oświetleniu pochodzącym od niebosłonu. Pozwala na swobodne ustawianie stanowisk pracy względem opraw oświetleniowych – i w żadnym przypadku nie powoduje olśnienia przykrego oraz odbiciowego, co jest bardzo istotne przy pracy z monitorami ekranowymi.

Ocena występowania olśnienia na stanowisku pracy nie jest, niestety, możliwa przy zastosowaniu metody pomiarowej. Stopień ograniczenia olśnienia można ocenić jedynie na etapie projektowania oświetlenia. Każdy program wspomagający projektowanie oblicza wskaźnik *UGR* (ujednoczonej oceny olśnienia) w czterech kierunkach obserwacji (w przypadku pomieszczeń czworokątnych). Im mniejsza jest jego wartość, tym ograniczenie olśnienia jest na większym poziomie. Najmniejsza wartość tego wskaźnika spotykana w praktyce to 16.

Obecnie na rynku nie występują jednak oprawy oświetlenia pośredniego ze źródłami LED, ani oprawy typu *mildes light*, które tworzą oświetlenie pośrednie przy bezpośrednim zamontowaniu do sufitu. A może nadszedł już czas na poszerzenie asortymentu opraw oświetleniowych ze źródłami LED, w perspektywie zbliżającego się bardzo szybko terminu wycofania z naszego rynku świetlówek rurowych (T8)?

Jak prawidłowo zmienić system oświetleniowy na źródła LED

Należy wspomnieć o praktykach związanych z zastępowaniem istniejącej instalacji oświetleniowej, najczęściej świetlówkowej, oprawami LED lub samymi źródłami, tzw. tubami LED. Zamiana istniejącego systemu oświetleniowego na nowy, wykorzystujący źródła LED, jest możliwa tylko w przypadku profesjonalnie wykonanego projektu oraz sprawdzających pomiarów natężenia oświetlenia, dokonanych po zakończeniu inwestycji.

Niedopuszczalna jest zamiana opraw na zasadzie „sztuka za sztukę”. Związane jest to z faktem zmiany wartości strumienia światłnego oraz rozsyłu światłości nowych opraw, a w konsekwencji może to doprowadzić do niespełnienia wymagań ujętych w przytoczonej wcześniej normie, przede wszystkim w zakresie eksploatacyjnego natężenia oświetlenia i ujednoczonego wskaźnika olśnienia (*UGR*). Podczas doboru źródeł i opraw LED należy kierować się nie tylko ich ceną, ale również parametrami technicznymi oraz producentem – czy jest on znany na rynku oświetleniowym, czy jest to tzw. firma „no name”. Zdarza się bowiem, że produkty tanie i nieznanymi producentów nie spełniają deklarowanych parametrów, a ich zasilacze, nienajlepszej jakości, mogą powodować migotanie strumienia światłnego.

Innym sposobem modernizacji oświetlenia jest zamontowanie w istniejących oprawach, przystosowanych do świetlówek, tzw. tub LED w miejsce świetlówek. W tym przypadku z reguły szacuje się zyski związane z energooszczędnością, nie uwzględniając aspektów oświetleniowych oraz bezpieczeństwa. Taka modernizacja powoduje konieczność dokonania przeróbek w pierwotnej oprawie oświetleniowej, polegających czasami tylko na zmianie zapłonika, aż po zmiany w wewnętrznej instalacji elektrycznej, polegające na doprowadzeniu do tub LED napięcia 230 V.

Każde modyfikacje pierwotnej oprawy oświetleniowej mogą naruszyć jej bezpieczeństwo i zmieniają jej parametry. Strumień światłny zaadaptowanej oprawy oświetleniowej ulega zmianie, gdyż źródła LED zastępujące świetlówkę T8 najczęściej mają niższy strumień światłny. Kolejnym skutkiem takiej zamiany jest możliwość przesunięcia osi światłości oprawy, co będzie miało wpływ na rozsył światła. Ten sam skutek wystąpi również w przypadku stosowania odbicia zwierciadlanego (metalizowane rastry oraz odbłyśniki).

Należy pamiętać, że tuby LED nie emitują, jak świetlóvky, strumienia światłnego w kącie 360°, a w znacznie mniejszym: 180-220°. Ponadto nie wszystkie wyposażone są w bardzo dobrej jakości rozpraszacze, więc widocznych jest wiele punktowych źródeł światła. Jak wcześniej wspomniano, źródła LED mają znacznie większą luminancję niż świetlóvky T8, które zastępują. W związku z tym jest bardzo wątpliwe, czy przedział granicy luminancji (wartość współczynnika *UGR*) zmodyfikowanej oprawy oświetleniowej będzie w dalszym ciągu odpowiedni do użytkowania z ekranami monitorowymi. Dlatego też zaadaptowana instalacja oświetleniowa może już nie spełniać wymagań normy PN-EN 12464-1:2012, co zapewniała pierwotnie zaprojektowana instalacja.

Należy zwrócić uwagę, że zmodyfikowana oprawa oświetleniowa jest już nowym produktem, w związku z czym musi zostać poddana badaniom fotometrycznym oraz badaniom związanym z ochroną przeciwporażeniową. Pomiar fotometryczny, dokonywany z wykorzystaniem programu wspomagającego projektowanie oświetlenia, są wymagane w celu ponownego obliczenia natężenia oświetlenia zaadaptowanej instalacji oświetleniowej i porównania jej z wymaganiami normatywnymi¹. Bez wyników tych badań za ewentualne szkody odpowiedzialność ponosi ten, kto dokonał zmian w oprawie, a nie jej producent⁴.

Należy jeszcze zwrócić uwagę na fakt, że według postanowień rozporządzenia WE⁵, strumień światłny emitowany przez źródła LED oceniany jest przez nasz wzrok nieco gorzej niż pochodzący od żarówek głównego szeregu, żarówek halogenowych czy świetlówek kompaktowych. Wynika to z charakterystyki widma promieniowania optycznego emitowanego przez źródła światła wykonane w technologii LED.

W związku z tym, dokonując zamiany tradycyjnych źródeł światła na źródła LED, należy porównywać strumienie światłne, a nie ich moce. Pomocne przy doborze LEDowych zamienników żarówek głównego szeregu, halogenów czy świetlówek kompaktowych może być zestawienie strumieni światłnych i mocy tych źródeł ujęte w tabeli.

Tabela. Porównanie strumieni światłnych i mocy zamienników żarówek

Moc żarówki tradycyjnej [W]	Strumień światłny żarówki tradycyjnej [lm]	Strumień światłny żarówki halogenowej [lm]	Strumień światłny świetlówki [lm]	Strumień światłny źródła LED [lm]
15	90	119	125	136
25	220	217	229	249
40	420	410	432	470
60	710	702	741	806
75	940	920	970	1 055
100	1 360	1 326	1 398	1 521
150	2 160	2 137	2 253	2 452
200	3 040	3 009	3 172	3 452

mgr inż. Andrzej Pawlak
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
Kontakt: anpaw@ciop.pl

⁴ Dokument zawierający stanowisko CELMY w sprawie „Zmodernizowanych komponentów adaptacyjnych” do świetlówek T5 i T8 oraz lamp LED/adapterów modułowych przeznaczonych do opraw T8, T10 i T12. CELMA, 22.02.2010.

⁵ Rozporządzenie WE 244/2012, załącznik II, tabela 6.