

mgr inż. ANDRZEJ PAWLAK
Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy

dr inż. KRZYSZTOF ZAREMBA
Politechnika Białostocka
Katedra Promieniowania Optycznego

Nowy sposób oświetlenia stanowisk pracy z przedmiotami połyskliwymi

Z przedmiotami połyskliwymi spotykamy się na co dzień. Elementy połyskliwe występują także na stanowiskach pracy. Prawidłowe oświetlenie takich stanowisk pracy jest bardzo trudne, ze względu na występowanie oślnienia odbiciowego. W artykule przedstawiono rezultaty pracy badawczej mającej na celu opracowanie takiego systemu oświetleniowego, który wyeliminowałby to zjawisko oraz wyniki z weryfikacji tego systemu na rzeczywistym stanowisku ręcznego montażu rastrów.

A new lighting system for workstations with glittering objects

Glittering objects are present in our everyday life. However it is very difficult to arrange proper lighting at a workstation that contains such elements. This is so, because of risk of reflected glare. This paper presents the results of research on designing a lighting system that could avoid reflected glare. The results of a verification of this system in a real workstation with manual assembling of louvers are also presented.

Wprowadzenie

Wiele stanowisk pracy zawiera elementy połyskliwe, które odbijają światło w sposób kierunkowo-rozproszony lub nawet kierunkowy, co może powodować powstanie oślnienia odbiciowego. Dotyczy to zarówno stanowisk biurowych (powierzchnie niektórych biurek, papieru dobrej jakości, ekranów, folii, zdjęć itp.) jak i przemysłowych (powierzchnie lakierowane, metalowe elementy obrabiane itp.). Istotny udział w zapewnieniu bezpieczeństwa oraz właściwych warunków pracy wzrokowej na takich stanowiskach ma prawidłowe oświetlenie, zwłaszcza miejscowe.

Zła jakość oświetlenia może prowadzić nie tylko do znacznego zwiększenia kosztów związanych z powstawaniem braków i spadkiem wydajności pracy, ale także do wystąpienia znacznego zmęczenia wzroku, a nawet zagrożenia wypadkowego pracowników. Wagę tych zagadnień odczuwamy także w życiu codziennym, kiedy czytamy czasopisma drukowane na błyszczącym papierze. Pozycja czytelnika względem źródeł oświetlenia (okna lub oprawy) nie może być dowolna, gdyż często się zdarza, że nie jest możliwe przeczytanie treści, a widoczne są jedynie odbicia źródła światła. Innym przykładem powierzchni odbijającej strumień świetlny w sposób kierunkowo-rozproszony jest powierzchnia lakierowana. W zależności od stopnia jej wypolerowania i rodzaju powierzchni, część strumienia odbitego kierunkowo może ulec zwiększeniu. To, że większość materiałów stosowanych na stanowiskach pracy odbija strumień świetlny w sposób kierunkowo-rozproszony oznacza, że na postrzeganie przedmiotów w polu pracy wzrokowej ma wpływ nie tylko natężenie oświetlenia w płaszczyźnie poziomej, które jest powszechnie stosowanym parametrem do oceny jakości oświetlenia, ale należy także brać pod uwagę położenie

oprawy oświetleniowej względem przedmiotu pracy wzrokowej oraz jej luminancję.

Ograniczenie oślnienia w dotychczasowych rozwiązaniach opraw miejscowych jest związane tylko z uzyskaniem odpowiednio niskiej wartości średniej luminancji tego urządzenia oświetleniowego, co jednak w większości przypadków nie ogranicza oślnienia odbiciowego. Dlatego też w celu uzyskania właściwego oświetlenia stanowisk pracy z połyskliwymi elementami należałoby stosować oprawy oświetlenia miejscowego o dużej powierzchni świecącej i małej wartości luminancji. Takie oprawy są obecnie dostępne na rynku, ale charakteryzują się bardzo dużą grubością części świecącej oraz małą sprawnością.

Biorąc to pod uwagę, w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy - PIB, w ramach zadania badawczego [1] opracowano układ świetlno-optyczny oraz wykonano model oprawy oświetlenia miejscowego o małej luminancji i grubości powierzchni świecącej, przy dużej sprawności oraz dodatkowo emitujący światło częściowo spolaryzowane. Osiągnięto to przez zastosowanie płaskiego elementu światłowodzącego o dużej powierzchni i fakturze rozpraszającej, czyli polaryzatora wielowarstwowego. Światło częściowo spolaryzowane zapewniło ograniczenie oślnienia odbiciowego, gdyż przyczyniło się do poprawy kontrastu w polu pracy wzrokowej. To z kolei prowadzi do poprawy wygody widzenia przez zwiększenie kontrastu między zadaniem a jego tłem oraz do poprawy dokładności rozpoznawania szczegółów przedmiotu pracy wzrokowej.

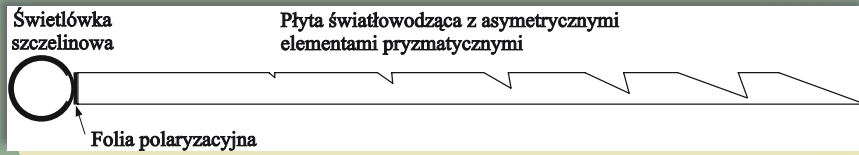
Wielkopowierzchniowe oprawy o równomiernej luminancji mogą służyć do kontroli jakości wykonania powierzchni połyskliwych zarówno płaskich (np. szklarstwo, folie, laminaty itp.) jak i o dowolnym kształcie (np. lakierni samochodowe, obudowy urządzeń agd). Wpłyńnie to na poprawę

zarówno warunków pracy wzrokowej, jak i zwiększy możliwość szybkiej i dokładnej oceny produkowanych wyrobów. Szybkie dostrzeżenie wad powoduje znaczące zmniejszenie braków, dzięki znaczącej przekazaniu odpowiednio szybko stosowanych informacji do służb technologicznych. W efekcie uzyskuje się zwiększenie wydajności i bezpieczeństwa pracy. Ponadto, w przypadku zastosowania specjalnych okularów polaryzacyjnych oraz światła spolaryzowanego, możliwe jest znaczne ograniczenie oślnienia odbiciowego od powierzchni lustrzanych, a także obserwacja naprężeń w wyrobach przezroczystych. To ostatnie jest szczególnie ważne w przypadku produkcji wszelkiego typu folii. Pomimo braku wad ujawnionych w świetle nie spolaryzowanym (typowa oprawa), wyrób może nie nadawać się do dalszej obróbki lub użytkowania ze względu na naprężenia wewnętrzne, które są widoczne wyłącznie w świetle spolaryzowanym.

Budowa modelu oprawy z płytą światłowodzącą

Do budowy modelu wykorzystano płytę światłowodzącą z polimekrylanu metylu (PMMA) o grubości 8 mm. Jako źródło światła zastosowano świetlówkę reflektorową typu TL MINI APERTURE 13W/865-FA50-P firmy PHILIPS. Zgodnie z danymi katalogowymi, przy strumieniu świetlnym wynoszącym 820 lm, charakteryzuje się ona luminancją 55 kcd/m². Luminancja ta jest ok. 5-krotnie większa od typowych świetlówek miniaturowych i ok. 3-krotnie większa niż świetlówki typu T5 o tej samej średnicy. Wybrany typ źródła światła narzucał szerokość płyty światłowodzącej – wynosi ona 520 mm, a długość – 200 mm.

Na podstawie analizy wyników obliczeniowych oraz badań modeli układów świetlno-optycznych [2], stwierdzono celowość budowy oprawy z płytą światłowodzącą o asymetrycznym rozsyłe strumienia świetlnego. Oprawa taka może znajdować się z boku powierzchni roboczej, przez co w mniejszym stopniu przeszkadza użytkownikom. W związku z tym elementy pryzmatyczne mają kąty łamiące wynoszące: 40°, 40°, 35°, 30°, 25°, i rosnące wysokości wynoszące 1,3; 2,6; 4; 5,3; 6,6; 8,0 mm (rys. 1. – str. 18.).



Rys. 1. Budowa układu świetlnego oprawy asymetrycznej z płytą światłowodzącą
 Fig. 1. The structure of a light-optical system of an asymmetric luminaire with a light guiding plates

Pierwszy element znajduje się w większej odległości od światłówki, co umożliwiło przesłonięcie światłówki, wyeliminowanie światła niespolaryzowanego i zwiększenie kąta ochrony oprawy. Ostatni element ma wysokość równą grubości płyty światłowodzącej i został wyfrezowany na końcu płyty światłowodzącej. Wykonany model oprawy oświetlenia miejscowego z płytą światłowodzącą z asymetrycznymi elementami pryzmatycznymi przedstawiono na fot. 1.



Fot. 1. Model oprawy oświetlenia miejscowego z asymetryczną płytą światłowodzącą
 Fot. 1. A model of local lighting luminaires with a light guiding plate and asymmetric prismatic elements

Badania fotometryczne jakości oświetlenia

Badania fotometryczne wykonano na stanowiskach ręcznego montażu rastrów znajdujących się w hali produkcyjnej jednej z fabryk opraw oświetleniowych [3]. Stanowiska te miały jednakowe wymiary płaszczyzny roboczej (długość 1,35 m, szerokość 0,8 m) oraz jednakowe oświetlenie miejscowe, które było wykonane za pomocą oprawy jednoświatłówkowej (o mocy 36 W) typu OKJ 136 z kloszem rozpraszającym. Przykładowe stanowisko ręcznego montażu rastrów pokazano na fot. 2. Podczas wykonywania pomiarów na badanych stanowiskach montowane były wysoko polerowane (lustrzane) rastry paraboliczne, wykonane



Fot. 2. Widok stanowiska ręcznego montażu rastrów
 Fot. 2. A view of a workstation for manual assembling of louvers



Fot. 3. Raster z widocznymi odbłaskami w czasie montażu
 Fot. 3. A louvre with visible reflections during assembling

z cienkiej aluminiowej blachy przeznaczone do opraw 4 x 18 W (fot. 3.).

Na stanowiskach tych stwierdzono występowanie oślnienia odbiciowego na montowanych elementach rastra (fot. 3. i 4.). Jaskrawe odbłaski na lustrzanych powierzchniach rastra pochodziły przede wszystkim od oprawy oświetlenia miejscowego oraz w mniejszym stopniu od opraw oświetlenia ogólnego. W celu oceny oślnienia odbiciowego wykonano pomiary luminancji jaskrawych odbić (odbłasków) oraz wyznaczono kontrasty luminancji pomiędzy odbłaskiem a tłem, na którym odbłask się znajdował w obszarze elementów rastra. Pomiary luminancji jaskrawych odbłasków wykonano na poszczególnych elementach składowych rastra, w obszarach najwięk-



Fot. 4. Widok zmontowanego rastra z widocznymi odbłaskami
 Fot. 4. A view of a louvre with visible reflections



Fot. 5. Widok elementu rastra - lamelki z widocznymi odbłaskami
 Fot. 5. A view of a louvre - with visible reflections

szych odbłasków na nich występujących oraz w ich bliskim otoczeniu na tym samym elemencie. Na fot. 5. pokazano także element rastra – lamelkę z widocznymi odbłaskami.

Wyniki pomiarów warunków oświetleniowych na stanowisku oświetlonym modelem oprawy

Wykorzystany do badań model oprawy został zaprojektowany do oświetlenia mniejszych obszarów zadania wzrokowego niż ma to miejsce na badanym stanowisku ręcznego montażu rastrów i o mniejszym wymaganym poziomie natężenia oświetlenia, ze względu na małą moc zainstalowanej światłówki (13 W). Zastosowanie go w badaniach miało jedynie na celu praktyczne sprawdzenie stopnia ograniczenia oślnienia oraz sprawdzenie, czy ten sposób oświetlenia badanych stanowisk pracy może być w przyszłości rozważany. W celu znaczącego ograniczenia jaskrawości odbłasków od powierzchni zwierciadlanych rastra, których powierzchnie odbijają światło niezależnie od stopnia i kierunku jego polaryzacji, zastosowano dodatkowo okulary polaryzacyjne. Odległość między oprawą a powierzchnią roboczą stanowiska wynosiła 0,5 m. Na fot. 6. i 7. przedstawiono pracownice w czasie montażu rastrów na stanowisku oświetlonym modelem oprawy.

Na podstawie wykonanych pomiarów luminancji wyznaczono współczynniki tłumienia luminancji (jako stosunek wartości średniej luminancji wyznaczonej bez okularów do wartości wyznaczonej przy pomiarze przez okulary), który wyniósł od 4 do 17 w obszarze występowania odbłasku.



Fot. 6. Stanowisko montażu rastrów oświetlone modelem oprawy z asymetryczną płytą światłowodzącą

Fot. 6. A workstation for assembling louvers lit with a model of a local luminaire with an asymmetric light guiding plate



Fot. 7. Montaż rastrów na stanowisku oświetlonym modelem oprawy z asymetryczną płytą światłowodzącą

Fot. 7. Assembling louvers at a workstation lit with a model of a local luminaire with asymmetric light guiding plates

Badania subiektywne oceny jakości oświetlenia oraz zmęczenia wzroku

W celu uzyskania subiektywnej oceny warunków oświetleniowych, występujących na stanowiskach montażu ręcznego rastrów oświetlonych istniejącymi oprawami typu OKJ 136 [3], a w szczególności oceny występowania oślnienia odbiciowego, przeprowadzono badania ankietowe. Osiem pracowników pracujących na badanych stanowiskach podczas wykonywania badań wypełniło specjalnie w tym celu opracowaną ankietę dotyczącą oceny warunków widzenia ze względu na oświetlenie elektryczne. Następnie, po określonym czasie wykonywania pracy na stanowisku oświetlonym modelem oprawy oświetlenia miejscowego, te same pracownice ponownie wypełniły ankietę dotyczącą subiektywnej oceny wygody widzenia oraz udzieliły odpowiedzi na pytania dotyczące zmęczenia wzroku, a w szczególności wystąpienia:

– podrażnienia oczu (swędzenie, pieczenie, czerwienie, łzawienie oczu, kłucia pod

powiekami, uczucia piasku, nadwrażliwości na światło, uczucia ciężkości powiek itp.)

- osłabienia widzenia (podwójne widzenie, zamazywanie się obrazu, uczucie migotania itp.)
- bólu głowy (z określeniem jego nasilenia oraz lokalizacji: skroń, czoło, szczyt głowy, potylica czy okolica gałek ocznych).

Wnioski z badań

• Na wybranym stanowisku ręcznego montażu rastrów w warunkach istniejącego oświetlenia elektrycznego stwierdzono:

– występowanie znacznego oślnienia odbiciowego na elementach składowych montowanych rastrów

– wysokie wartości kontrastów luminancji średnich ($25 \div 100$) i wartości kontrastów luminancji maksymalnych ($78 \div 200$) pomiędzy odbłaskiem a tłem, na którym odbłask się znajdował.

• Na podstawie wyników badań warunków oświetleniowych z zastosowaniem modelu oprawy (wraz z okularami polaryzacyjnymi – gdyż rastry są elementami lustrzanymi), na stanowisku montażu rastrów stwierdzono:

– istotne ograniczenie oślnienia odbiciowego (do 17 razy) na wszystkich elementach rastra

– występowanie zadowalającego poziomu natężenia oświetlenia na płaszczyźnie roboczej, którego wartość była tylko o 7% mniejsza od wartości wymaganej przez PN-EN 12464-1: 2005 [4]

– występowanie bardzo dobrej równomierności oświetlenia na płaszczyźnie roboczej.

• Wszystkie badane osoby oceniły, że istniejące oświetlenie stanowisk pracy jest zbyt jaskrawe, a nadmiernie jaskrawe odbłaski występują praktycznie na całym obserwowanym, połyskliwym elemencie, przez co wykonywanie pracy wzrokowej jest znacznie utrudnione. Natomiast w przypadku oświetlenia tego stanowiska za pomocą opracowanego modelu oprawy, badane osoby stwierdziły, że:

– występujące odbłaski są o znacznie mniejszej jaskrawości

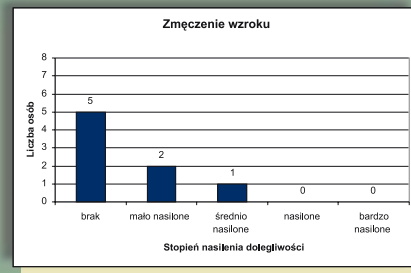
– odbłaski występują na mniejszej powierzchni niż w przypadku dotychczasowego oświetlenia

– występuje większa wygoda widzenia.

• Wyniki badań ankietowych zmęczenia wzroku wskazują na występowanie dolegliwości ze strony narządu wzroku u niewielkiej liczby badanych i o małym nasileniu. Najczęściej zgłaszano uczucie zmęczenia wzroku (rys. 2.) oraz ciężkości powiek.

Podsumowanie

Znaczną poprawę wygody widzenia przedmiotów kierunkowo odbijających światło zapewnia wykonany model oprawy



Rys. 2. Wykres zmęczenia wzroku

Fig. 2. A graph of eye fatigue

oświetlenia miejscowego z płytą światłowodzącą. Na podstawie wykonanych badań stwierdzono, że zaprojektowana oprawa w połączeniu z okularami polaryzacyjnymi może w znacznym stopniu wyeliminować spostrzeganie odbłasków na powierzchniach lustrzanych (także o wielu płaszczyznach). Uzyskane ograniczenia uciążliwego zjawiska, jakim jest oślnienie odbiciowe, spowodowało znaczną poprawę wygody widzenia i mniejsze zmęczenie wzroku, co ma niewątpliwie wpływ na komfort pracy wzrokowej.

Natomiast opracowana metoda projektowania [1] płaskiego elementu światłowodzącego o dużej powierzchni i fakturze rozpraszającej umożliwia wykonanie opraw zapewniających większe poziomy natężenia oświetlenia i większe powierzchnie świecące przez zastosowanie świetlówek o większych mocach.

Obecnie trwają prace prowadzące do znalezienia producenta, wdrożenia tych opraw do produkcji.

PIŚMIENICTWO

[1] Zadanie badawcze nr IV-8.07 pt. „Badanie i optymalizacja systemu oświetleniowego ze względu na wygodę widzenia przedmiotów kierunkowo odbijających światło” realizowane w ramach programu wieloletniego pn. „Dostosowywanie warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej”. CIOP-PIB, Warszawa. Główny wykonawca – A. Pawlak

[2] Pawlak A., Zaremba K. *Modele opraw z płytą światłowodzącą*. Materiały XIII Krajowej Konferencji Oświetleniowej „Technika Świetlna 2004”, Warszawa, 3 – 5 listopada 2004

[3] *Ocena występowania oślnienia na stanowiskach montażu opraw rastrowych*. Praca pozaplanowa nr 421/PZ/2004/NB realizowana w Zakładzie Techniki Bezpieczeństwa CIOP-PIB. Główny wykonawca: A. Pawlak

[4] PN-EN 12464-1: 2004. *Technika świetlna. Oświetlenie miejsc pracy*. Część 1: Miejsca pracy wewnątrz pomieszczeń

Publikacja opracowana w ramach zadań służb państwowych objętych programem wieloletnim pt. „Dostosowywanie warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej” dofinansowywanych przez Ministerstwo Gospodarki i Pracy w latach 2002-2004. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy