

mgr inż. ANDRZEJ PAWLAK
 Centralny Instytut Ochrony Pracy
 – Państwowy Instytut Badawczy
 dr inż. KRZYSZTOF ZAREMBA
 Politechnika Białostocka
 Katedra Promieniowania Optycznego

Model oprawy oświetlenia miejscowego dla osób słabowidzących

W artykule określono założenia, jakie powinna spełniać oprawa oświetlenia miejscowego przewidziana do doświetlania stanowisk pracy osób słabowidzących oraz opisano konstrukcję modelu takiej oprawy, opracowanego w CIOP-PIB, wraz z wynikami pomiarów parametrów świetlnych.

Local lighting luminaire for people with poor eyesight

This paper describes the requirements for local luminaires provided for lighting working places for people with poor eyesight. It also presents a design of such a luminaire together with the measurement results of lighting parameters.



Fot. Myles Davidson

Wstęp

Według danych zawartych w raporcie Głównego Urzędu Statystycznego pt. *Stan zdrowia ludności Polski w 2004 r.* [1] osoby z wadami wzroku stanowią w populacji Polaków znaczny odsetek. Obniżona sprawność widzenia, która dodatkowo pogarsza się wraz z wiekiem, często uniemożliwia nie tylko wykonywanie precyzyjnej pracy wzrokowej, ale nawet takich prostych czynności, jak czytanie czy poruszanie się. Wtórny skutkiem może być depresja, przedwczesna rezygnacja z życia zawodowego i społecznego. Szczególnie w tej grupie osób stwierdza się, w warunkach niskich poziomów natężenia oświetlenia, spadek zdolności spostrzegania objawiający się upośledzeniem widzenia zmierzchowego i adaptacji do ciemności. Dlatego też prawidłowe oświetlenie z możliwością jego regulacji jest zaliczane do grupy pomocy nieoptycznych ułatwiających widzenie tym osobom.

Osoby z wadami wzroku stanowią grupę pracowników, która powinna mieć zapewnione warunki oświetleniowe dostosowane do wymagań zmienionego czynnościowo narządu wzroku. Jednak dotychczas nie określono parametrów oświetleniowych oraz preferowanego systemu

oświetlenia pomieszczeń i stanowisk pracy przewidzianych dla takich osób. W aktualnej normie dotyczącej oświetlenia elektrycznego [2] podano tylko lakoniczne zalecenie dotyczące „zwiększenia wymaganego poziomu eksploatacyjnego natężenia oświetlenia dla pracowników, których zdolność wzrokowa jest poniżej normy”. Dlatego też niezbędne jest opracowanie odpowiednich zaleceń oświetleniowych, co jest możliwe tylko na podstawie wyników badań eksperymentalnych. W celu przeprowadzenia tych badań konieczne jest wykonanie oprawy oświetlenia miejscowego, która wchodziłaby w skład całego systemu oświetleniowego przeznaczonego do oświetlenia stanowisk pracy osób słabowidzących.

Założenia projektowe oprawy oświetlenia miejscowego

W związku z brakiem na rynku systemu oświetleniowego przewidzianego do oświetlenia stanowisk pracy obsługiwanych przez osoby słabowidzące podjęto w CIOP-PIB prace nad opracowaniem takiego systemu, z uwzględnieniem szczególnych potrzeb tej grupy osób. Najistotniejszym elementem tego systemu jest oprawa oświetlenia miejscowego, która ma do-

świetlić stanowisko pracy. Z dostępnej literatury [3–5] wynika, że powinna ona charakteryzować się m.in. następującymi cechami:

- układ świetlny optyczny powinien mieć rozsył asymetryczny, tzn. środek optyczny tego układu nie może znajdować się bezpośrednio nad płaszczyzną roboczą; na rys. 1 (str. 24.) pokazano geometrię położenia oprawy, o układzie asymetrycznym i symetrycznym, względem oświetlanego pola zadania wzrokowego

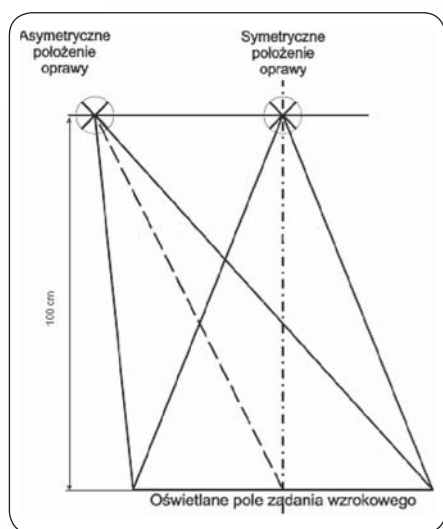
- przyjęty obszar pola zadania powinien być oświetlany ze średnim natężeniem oświetlenia nie mniejszym niż 1500 lx z możliwością płynnej regulacji oraz normatywną [2] równomiernością ($\delta \geq 0,7$)

- temperatura barwowa emitowana przez oprawę powinna być płynnie regulowana w zakresie od barwy pośredniej (chłodno-białej) do barwy zimnej (diennej)

- wskaźnik oddawania barw powinien być na poziomie 80

- odległość pomiędzy częścią świecąca oprawy a płaszczyzną roboczą powinna wynosić około 1 m, z możliwością regulacji w dół i w górę

- wydzielanie ciepła z układu świetlny-optycznego oprawy powinno być maksymalnie ograniczone.



Rys. 1. Geometria położenia oprawy względem pola zadania wzrokowego (skala 1:10)

Fig. 1. Geometry of luminaire setting's orientation in relation to the surface of a visual task (scale 1:10)



Rys. 2. Widok przykładowej diody dużej mocy [3]

Fig. 2. Sample high-powered LEDs [3]

Na podstawie dokonanego przeglądu dostępnych opraw oświetlenia miejscowego przewidzianych dla osób słabowidzących stwierdzono, że oprawy, która spełniałaby powyższe założenia nie są oferowane przez żadną firmę. W przypadku opraw miejscowych ze świetlówkami możliwe jest stosowanie źródeł o różnych, dostępnych temperaturach barwowych, ale zawsze o jednej barwie, bez możliwości jej regulacji. Jeżeli oprawa oświetla powierzchnię roboczą z dużym poziomem natężenia oświetlenia i dobrą równomiernością, to z małej odległości. W innym przypadku odległość oprawy jest regulowana i może wynieść 1 m, ale oprawa musi być umieszczona bezpośrednio nad powierzchnią roboczą, czyli również nad głową danej osoby. W żadnej z opraw nie zastosowano też układu do regulacji poziomu natężenia oświetlenia, pomimo że takie układy w oprawach z żarówkami czy świetlówkami są powszechnie znane. W związku z tym jedynymi źródłami światła, które spełniałyby określone założenia są diody świecące dużej mocy (LEDY).

Budowa modelu oprawy

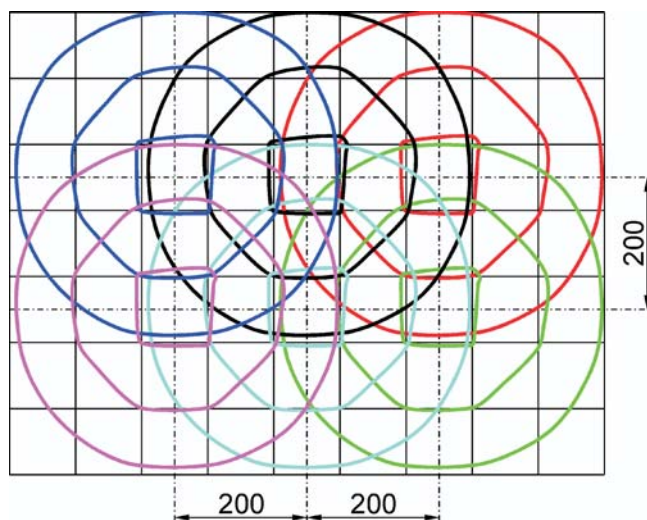
W ostatnich latach nastąpił dynamiczny rozwój diod świecących. Są one stosowane nie tylko w urządzeniach sygnalizacyjnych, ale coraz częściej w oprawach oświetleniowych. Do celów oświetleniowych stosowane są już diody świecące o dużych mocach rzędu 1-6 W i strumieniu świetlnym powyżej 100 lm. Wszystkie diody o dużych mocach mają krzywe światłości zbliżone do rozsyłu lambertowskiego (kosinusowego), co uniemożliwia osiągnięcie równomiernego oświetlenia powierzchni roboczej, jak i ograniczenie ośnienia. Są one punktowymi źródłami światła o luminancji wynoszącej od 1 Mcd/m² do 10 Mcd/m², czyli porównywalnej z żarnikiem

żarówek głównego szeregu (40, 60, 75, 100 W). Dlatego, aby diody te mogły być wykorzystywane do doświetlania stanowisk pracy o różnym stopniu trudności pracy wzrokowej należy je zamontować w oprawach z właściwie dobranym układem świetlnym-optycznym.

W zbudowanym w CIOP-PIB modelu oprawy zastosowano najnowszej generacji diody dużej mocy typu K2 w wersji star (rys. 2.). Deklarowany przez producenta strumień świetlny emitowany przez te diody wynosi 114 lm (przy prądzie 1 000 mA). Natomiast maksymalny prąd, który może przepłynąć przez złącze diody wynosi 1 500 mA [6].

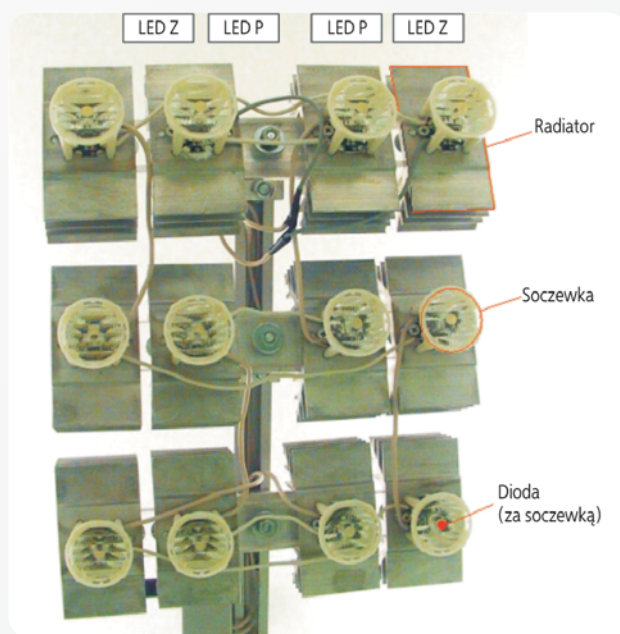
W zbudowanym modelu oprawy w układzie optycznym z diodą typu K2 zastosowano soczewkę o kącie rozsyłu strumienia świetlnego wynoszącym 22°. Na podstawie wstępnych badań stwierdzono, że zastosowanie już 6 tych diod z soczewkami, których osie optyczne będą przesunięte względem siebie zarówno w osi x, jak i y o 20 cm (rys. 3.), może prowadzić do osiągnięcia założonego średniego poziomu natężenia oświetlenia i równomierności.

W wykonanym modelu oprawy zastosowano 12 diod świecących – 6 o zimnej (dziejnej) barwie światła i 6 o barwie pośredniej (chłodno-białej). Spowodowane to było wymaganym zakresem regulacji temperatury barwowej przy jednoczesnym utrzymaniu poziomu natężenia oświetlenia na poziomie minimum 1 500 lx. Diody zostały rozmieszczone w 3 rzędach po 4 sztuki (rys. 4.), przy czym w każdym rzędzie znajdują się 2 diody o barwie zimnej i 2 o barwie pośredniej. W przypadku diod o zimnej barwie światła deklarowana przez producenta wartość wskaźnika oddawania barw wynosi 70, a typowa temperatura barwowa 6 500 K. Jednak, zgodnie z danymi katalogowymi



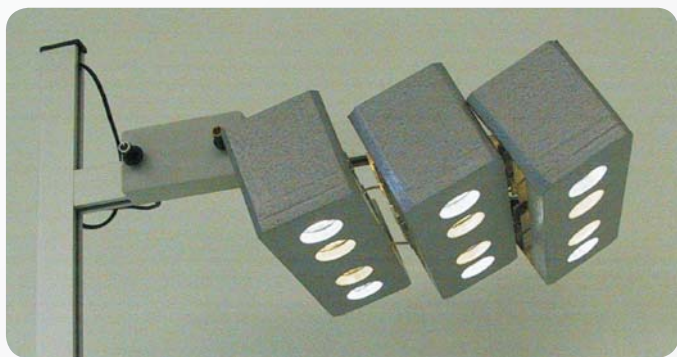
Rys. 3. Układ 6 diod świecących z przesuniętymi osiami pozwalający na osiągnięcie dużej równomierności oświetlenia (linie izoluksów poszczególnych diod LED różnią się kolorem)

Fig. 3. Set of 6 light-emitting diodes with shifted axes, so that high uniformity ratio illuminance is possible (iso-illuminance curves of each LED are indicated with different colors)



Rys. 4. Widok opracowanego w CIOP-PIB modelu oprawy dla osób słabowidzących, przy zdjętych osłonach: LED Z – LED o barwie zimnej, LED P – LED o barwie pośredniej

Fig. 4. View of the luminaire pattern for people with poor sight with the casing removed: LED Z – LED based cool, LED P – LED based intermediate. Design by CIOP-PIB



Rys. 5. Widok wykonanego modelu oprawy oświetlenia miejscowego przeznaczonego do oświetlania stanowisk pracy dla osób słabowidzących

Fig. 5. View of a model of a local lighting luminaire for lighting working places for people with poor sight

mi rozrzut wartości temperatury barwowej tej diody jest dość duży i zawiera się w przedziale od 4 500 K do 12 000 K [6]. Natomiast, zgodnie z deklaracją producenta, wskaźnik oddawania barw diody o barwie pośredniej wynosi 75, a typowa temperatura barwowa 4 100 K (rozrzut od 3 500 K do 4 500 K) [6]. Na rys. 4. przedstawiono widok modelu oprawy (bez zamontowanych osłon) – widoczne są radiatory, na których zamontowano diody wraz z soczewkami.

Diody o poszczególnych barwach połączone są szeregowo i każdy szereg ma możliwość niezależnej regulacji strumienia świetlnego, której dokonuje się metodą PWM (*Pulse-width modulation* – modulacja szerokości impulsu), co pozwala na uzyskanie dużej dokładności i łatwości sterowania urządzeniem. W wykonanym modelu oprawy zastosowano regulację sygnału prądowego poprzez zmianę szerokości wypełnienia prostokątnych impulsów prądowych o maksymalnej wartości 1 200 mA przy częstotliwości ok. 1 000 Hz. Metoda ta jest zalecana przez producentów diod świecących o dużej mocy, gdyż ma podczas regulacji strumienia świetlnego mniejszy wpływ na parametry jakościowe światła niż sterowania wartością stałego prądu zasilania. Całość jest zasilana za pomocą zasilacza o napięciu 24 V ze stabilizacją prądu o wartości 4,5 A. Całkowita moc wykonanego modelu oprawy wynosi 70,6 W.

Podczas projektowania i realizacji modelu oprawy uwzględniono również stawiane przez producenta diod wymagania dotyczące temperatury pracy (zapewnienie odpowiedniego chłodzenia) i układu połączeń elektrycznych.

Na rys. 5. pokazano model oprawy oświetlenia miejscowego z zamontowanymi osłonami na elementach świecących.

Wyniki pomiarów parametrów świetlnych modelu oprawy

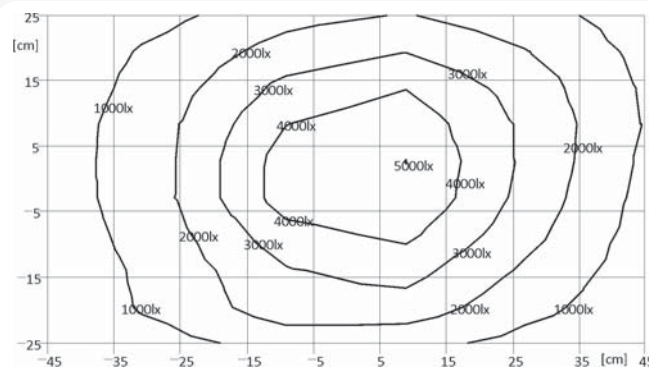
Przy maksymalnym wystawieniu strumienia świetlnego wszystkich diod uzyskany rozkład natężenia oświetlenia na powierzchni o wymiarach 0,9 x 0,5 m pokazano na rys. 6. Średnia wartość natężenia w tym obszarze $E_v = 2 828$ lx (przy odległości płaszczyzny roboczej od części

świecącej oprawy wynoszącej 1 m). Natomiast obszar o normatywnej równomierności oświetlenia [2] wynosi 0,3 x 0,3 m, przy średniej wartości natężenia oświetlenia $E_v = 3 988$ lx.

Zaobserwowany na podstawie pomiarów spektrometrycznych zakres zmian temperatury barwowej wynosi od 3 867 K do 4 789 K. Zastosowano diody, które zgodnie z deklaracją producenta [6] mają wysoki poziom wskaźnika oddawania barw. W efekcie, w modelowej oprawie na podstawie pomiarów spektrometrycznych wartość tego wskaźnika wyniosła 72. Należy jednak pamiętać, że oprawa ta jest przeznaczona do doświetlenia stanowiska pracy przy istniejącym systemie opraw oświetlenia ogólnego o parametrach świetlnych spełniających wymagania normatywne. Natomiast obecnie są już produkowane diody świecące o wskaźniku oddawania barw wynoszącym 80 (LUXEON Rebel).

Podsumowanie

Wyniki pomiarów natężenia oświetlenia na płaszczyźnie roboczej wykonanego modelu oprawy oświetlenia miejscowego wskazują, że wybrane diody świecące wraz z zastosowanym układem świetlnooptycznym oraz przyjęte założenie zastosowania dwóch grup po 6 diod z soczewkami, których osie optyczne są przesunięte względem siebie zarówno w osi x, jak i y o 20 cm, prowadzi do osiągnięcia dobrej równomierności oraz wysokich poziomów natężenia oświetlenia. Normatywną (0,7) [2] równomierność oświetlenia uzyskano na obszarze o wymiarach 0,3 x 0,3 m, który odpowiada wielkości np. kartki papieru w formacie A4. Natomiast średnia wartość natężenia oświetlenia w tym obszarze wynosi aż 3 988 lx, co ma duże znaczenie dla zapewnienia wysokiego poziomu oświetlenia w przypadku doświetlania pola zadania w postaci takiej kartki papieru. Dzięki niezależnej regulacji strumienia świetlnego każdej grupy diod, metodą modulacji szerokości impulsu, uzyskano nie tylko płynną regulację strumienia świetlnego, ale i temperatury barwowej. Uzyskany w modelowej oprawie zakres regulacji temperatury barwowej wynoszący od 3 867 K do 4 789 K jest w zupeł-



Rys. 6. Rozkład natężenia oświetlenia na powierzchni oświetlonej wykonanym modelem oprawy przy maksymalnym wystawieniu strumienia świetlnego

Fig. 6. Light brightness arrangement on the surface illuminated by the local lighting luminaire pattern with the light ray intensity set to maximum

ności wystarczający do zapewnienia zmian barwy światła zgodnej z preferencjami osób niedowidzących. Natomiast w praktyce zakres regulacji temperatury barwowej jest zależny od wartości tego parametru zastosowanych diod.

Uzyskane parametry techniczne wykonanego modelu oprawy oświetlenia miejscowego wskazują na możliwości jego pełnego wykorzystania np. w systemie oświetleniowym przeznaczonym do oświetlania pomieszczenia ze stanowiskami komputerowymi. Zbudowany model oprawy dla osób słabowidzących będzie wykorzystywany do badań eksperymentalnych zmęczenia wzroku w grupie osób słabowidzących ze schorzeniami siatkówki i rogówki. Badania będą miały na celu określenie preferowanych poziomów natężenia oświetlenia i barwy światła badanej grupy. Ich wyniki posłużą do opracowania wytycznych i doskonalenia konstrukcji oprawy.

PIŚMIENICTWO

[1] Stan zdrowia ludności Polski w 2004 r. www.stat.gov.pl
 [2] PN-EN 12464-1. Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach
 [3] K. Kowalski *Mieszkanie dostępne dla osób z dysfunkcjami wzroku*. Stowarzyszenie Przyjaciół Integracji. Warszawa <http://www.niepelnosprawni.pl>
 [4] *Poradnik pracodawcy osób niedowidzących i słabowidzących*. Fundacja Aware Europe, Warszawa 2000
 [5] *Technical Report. Low Vision. Lighting needs for the partially sighted*. CIE123-1997
 [6] *Technical Datasheet DS. 51. Power light source*. LUXEON K2. Philips Lumileds Lighting company 2008

Publikacja opracowana na podstawie wyników uzyskanych w ramach I etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” dofinansowywanego w latach 2008-2010 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.