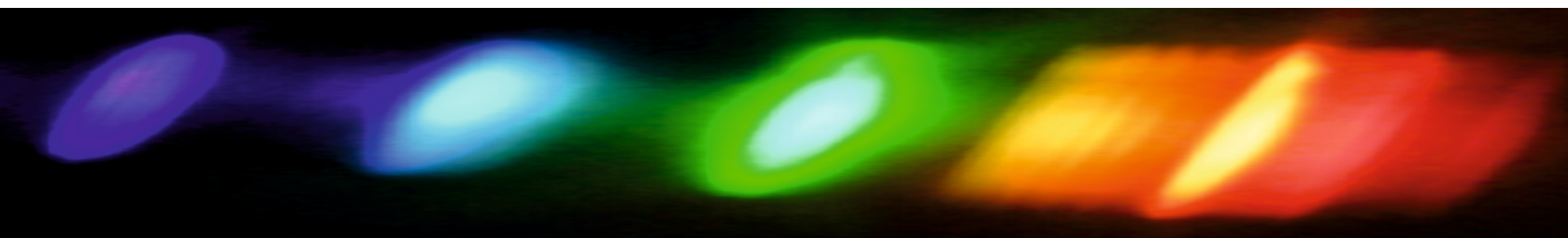


Andrzej Pawlak

Metoda oceny zagrożenia zdrowia pracowników promieniowaniem optycznym emitowanym przez źródła elektryczne (LED) na podstawie wyznaczonych grup ryzyka ze względu na zagrożenie fotobiologiczne oraz wskazówki co do prawidłowego stosowania źródeł LED



Materiały informacyjne CIOP-PIB

Metoda oceny zagrożenia zdrowia pracowników promieniowaniem optycznym emitowanym przez źródła elektryczne (LED) na podstawie wyznaczonych grup ryzyka ze względu na zagrożenie fotobiologiczne oraz wskazówki co do prawidłowego stosowania źródeł LED

*Opracowano na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, sfinansowanego w latach 2017-2019 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej.*

*Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy*

*Zadanie 1.G.14: Opracowanie mobilnej aplikacji komputerowej do oceny zagrożenia pracowników promieniowaniem optycznym emitowanym przez źródła światła nowej generacji (LED)*

Autor:

mgr inż. Andrzej Pawlak – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Techniki Bezpieczeństwa, Pracownia Promieniowania Optycznego

Zdjęcie na okładce: CIOP-PIB

© Copyright by

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy  
Warszawa 2019

**CIOP**  **PIB**

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy  
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa  
tel. (48-22) 623 36 98, [www.ciop.pl](http://www.ciop.pl)

## 1. Wstęp

Władze Unii Europejskiej jako jedno z priorytetowych działań traktują ograniczenie zużycia energii elektrycznej oraz ograniczenie emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery. Z tego względu ratyfikowano w 2005 roku protokół z Kioto, w ramach którego kraje uprzemysłowione zostały zobligowane do redukcji ogólnej emisji gazów powodujących efekt cieplarniany. Kolejnym efektem działań było przyjęcie w 2009 roku przez Komisję Europejską dwóch rozporządzeń:

- Rozporządzenie Komisji (WE) nr 244/2009 dotyczyło ekoprojektu dla bezkierunkowych lamp do użytku domowego – określono w nim m.in. proces wycofywania energochłonnych źródeł światła (żarówek), proces ten zakończono we wrześniu 2012 r.;
- Rozporządzenie Komisji (WE) nr 245/2009 dotyczyło ekoprojektu dla m.in. lamp fluorescencyjnych bez wbudowanego statecznika – w dokumencie określono wymagania dotyczące skuteczności świetlnej lamp fluorescencyjnych.

Równoległe z procesem wycofywania energochłonnych źródeł światła Unia Europejska promowała wprowadzanie na rynek unijny nowoczesnych źródeł światła, a szczególnie tych zbudowanych na elementach półprzewodnikowych, tj. diod elektroluminescencyjnych (LED) oraz diod organicznych. Miało to odzwierciedlenie w dokumencie pt. *Zielona księga. Oświetlenie przyszłości*. W dokumencie tym przedstawiono perspektywy rozwoju technologii półprzewodnikowej w oświetleniu oraz wskazano działania mające na celu przyspieszenie wdrażania nowoczesnych technologii, szczególnie opartych na LED-ach.

Ekspansja elektroluminescencyjnych źródeł światła jest widoczna we wszystkich działach rynku oświetleniowego, który obecnie oferuje wiele tego typu źródeł światła. Ze względu na swoje niekwestionowane zalety, takie jak energooszczędność i trwałość, są one coraz częściej stosowane do oświetlenia stanowisk i pomieszczeń pracy, a także naszych mieszkań. Od oficjalnego wycofania z rynku oświetleniowego tradycyjnych żarówek o mocy powyżej 7 W (1.09.2016 r.) oraz niekierunkowych żarówek halogenowych – zamienników żarówek głównego szeregu (1.09.2018 r.) źródła LED stały się praktycznie podstawowym zamiennikiem źródeł żarowych. Niektóre koncerny oświetleniowe wycofały się już z produkcji nie tylko źródeł żarowych, ale i lamp fluorescencyjnych (świełówek) na korzyść bardzo dynamicznego rozwoju źródeł światła nowej generacji – diod elektroluminescencyjnych (LED). W oświetleniu wewnątrz kilka firm oświetleniowych przeszło już całkowicie na technologię LED. Jest to związane z zapowiedzią Unii Europejskiej stopniowego wycofywania

z rynku unijnego świetlówek. Przy tak szybkim – w stosunkowo krótkim czasie – rozwoju technologii LED nasuwa się pytanie, czy te źródła światła nie są szkodliwe dla ludzi oraz czy można dokonać bezpośredniej zamiany żarówki, świetlówki kompaktowej lub liniowej na źródło LED.

## 2. Zagrożenie fotobiologiczne źródeł LED

O ile w przypadku stosowania promienników emitujących promieniowanie nadfioletowe lub podczerwone użytkownicy zazwyczaj mniej lub bardziej zdają sobie sprawę z tego, że promieniowanie przez nie emitowane może być dla nich szkodliwe, o tyle przy stosowaniu źródeł światła, zwłaszcza nowej generacji, obawa taka już nie występuje. Wynika to głównie z braku ogólnej świadomości, że promieniowanie optyczne przez nie emitowane może przede wszystkim stanowić zagrożenie siatkówki oka promieniowaniem widzialnym, szczególnie z zakresu tzw. światła niebieskiego, a sporadycznie może stwarzać również zagrożenie oczu i skóry promieniowaniem nadfioletowym. Ma to szczególne znaczenie, ponieważ promieniowanie optyczne (światło białe) jest wytwarzane w źródłach LED w inny sposób niż w pozostałych rodzajach źródeł światła. Zwykle użytkownik wybiera zamiennik tradycyjnej żarówki na podstawie zastosowanej w nim technologii wytwarzania światła, jego ceny i/lub zadeklarowanych przez producenta parametrów, takich jak: moc znamionowa, moc równoważna żarówki, barwa światła. Natomiast nie mamy informacji, czy dane źródło światła jest bezpieczne, czy emitowane przez nie promieniowanie optyczne nie stanowi ryzyka dla zdrowia. W związku z tym należy mieć możliwość wykonania badań źródeł światła, w tym LED, w celu określenia ich grupy ryzyka ze względu na bezpieczeństwo fotobiologiczne.

Ocena zagrożeń fotobiologicznych wytwarzanych przez promieniowanie optyczne emitowane przez źródła światła jest złożonym działaniem metrologicznym ze względu na potrzebę wykonywania pomiarów w szerokim obszarze widmowym (200÷3000 nm) z uwzględnieniem wielkości skutecznych. Wymaga to specjalistycznej, wzorcowanej aparatury pomiarowej oraz opracowania metod badania parametrów promieniowania optycznego emitowanego przez elektryczne źródła promieniowania optycznego. Metoda ta musi opierać się przede wszystkim na wskazówkach i kryteriach zawartych w normie PN-EN 62471:2010 *Bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp i systemów lampowych* oraz uwzględniać uwarunkowania wynikające z zastosowania określonej aparatury pomiarowej. W metodzie tej musi być również opisany sposób określania grup ryzyka źródeł świa-

ta ze względu na zagrożenie fotobiologiczne promieniowaniem optycznym zgodnie ze znormalizowanymi wymaganiami.

## **2.1. Klasyfikacja grup ryzyka źródeł światła ze względu na zagrożenia fotobiologiczne**

Norma PN-EN 62471:2010 zawiera kryteria bezpieczeństwa fotobiologicznego źródeł promieniowania optycznego oraz metody pomiarów natężenia napromienienia i luminancji energetycznej. Zgodnie z normą wyróżnia się cztery grupy ryzyka, które są zdefiniowane następująco:

- grupa wolna od ryzyka (RG0) – źródła światła nie stwarzają zagrożenia fotobiologicznego,
- grupa ryzyka 1 (niskie ryzyko) (RG1) – źródła światła nie powodują zagrożenia w normalnych warunkach użytkowania,
- grupa ryzyka 2 (umiarkowane ryzyko) (RG2) – źródła światła nie powodują zagrożenia związanego z reakcją oka na bardzo jaskrawe źródła,
- grupa ryzyka 3 (wysokie ryzyko) (RG3) – źródła światła stanowią zagrożenie nawet przy krótkiej ekspozycji, wykorzystywanie ich w oświetleniu ogólnym jest niedozwolone.

Klasyfikacja ta opiera się na maksymalnych dopuszczalnych ekspozycjach (MDE) przyjmowanych dla zagrożenia zdrowia pracowników promieniowaniem optycznym określonych w Dyrektywie 2006/25/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5 kwietnia 2006 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na ryzyko spowodowane czynnikami fizycznymi (sztucznym promieniowaniem optycznym) oraz uwzględnia poziom promieniowania emitowanego przez źródło światła, zakres widmowy promieniowania i dostęp człowieka. Różnica w przyjętej klasyfikacji polega tylko na tym, że na potrzeby określenia kryteriów klasyfikacji do poszczególnych grup ryzyka przyjęto oddzielne założenia o dopuszczalnych czasach bezpiecznej ekspozycji dla każdego z pięciu rodzajów rozpatrywanych zagrożeń fotobiologicznych w ramach danej kategorii. Grupa wolna od ryzyka to taka, która nie stwarza zagrożenia nadfioletem aktywnym w ciągu 8 godz. ekspozycji i nadfioletem bliskim w ciągu 1 000 s ekspozycji, a także zagrożenia siatkówki fotochemicznego w ciągu 10 000 s ekspozycji i termicznego w ciągu 10 s oraz zagrożenia rogówki i soczewki oka promieniowaniem podczerwonym w ciągu 1 000 s. Ponadto do grupy wolnej od ryzyka zaliczane są źródła, które emitują promieniowanie podczerwone bez silnego bodźca świetlnego (tj. o luminancji mniejszej od 10 cd/m<sup>2</sup>) i nie stwarzają zagrożenia siatkówki bliską podczerwienią w ciągu 1 000 s ekspozycji. W przyjętej klasyfikacji do grupy ryzyka 3 (RG3) zalicza się te źródła światła, które mogą stwarzać zagrożenia nawet przy chwilowej lub krótkiej ekspozycji i których wyznaczone z pomiarów wartości poszcze-

gólnych parametrów służących do oceny zagrożenia przekraczają granice grupy ryzyka 2 (RG2). Zgodnie z zapisem normy PN-EN 62471:2010 w inny sposób należy określać wartości graniczne emisji dla zagrożenia termicznego siatkówki oka, gdy dane źródło jest silnym bodźcem świetlnym, a inaczej, gdy jest słabym bodźcem świetlnym (tj. o wartości luminancji świetlnej mniejszej lub większej niż 10 000 cd/m<sup>2</sup>). Dodatkowo w przypadku zagrożenia siatkówki znaczenie ma nie tylko moc promieniowania, lecz również kąt, w jakim to promieniowanie jest emitowane. Im kąt bryłowy jest mniejszy, tym stopień zagrożenia jest większy.

Powiązanie rodzaju zagrożenia fotobiologicznego, funkcji skuteczności biologicznej i czasu bezpiecznej ekspozycji z granicami emisji grup ryzyka dla źródeł o działaniu ciągłym zestawiono w tabeli 1. W tabeli tej nieprzypadkowo podano te same wartości bezpiecznych czasów ekspozycji i wartości granicznych emisji dla grupy wolnej od ryzyka i grupy ryzyka 1 przy ocenie zagrożenia termicznego siatkówki oka z silnym bodźcem świetlnym. Jest to spowodowane tym, że autorzy normy PN-EN 62471:2010 przyjęli dla tych grup takie samo kryterium czasowe. Natomiast te same wartości graniczne emisji dla wszystkich grup ryzyka oprócz grupy 3 przy ocenie zagrożenia termicznego siatkówki oka ze słabym bodźcem świetlnym wynikają z tego, że dla czasów ekspozycji powyżej 10 s obowiązuje ten sam wzór na wartość graniczną, który nie jest zależny od czasu, tylko od kąta widzenia źródła ( $\alpha$ ).

Jako ogólną (wynikającą ze wszystkich wymienionych zagrożeń fotobiologicznych) grupę ryzyka badanego źródła światła przyjmuje się najwyższą z otrzymanych grupę ryzyka.

Należy zwrócić uwagę, że ustalone wymagania opierają się na założeniu rozsądnego użytkownika źródeł światła, tzn. unikaniu przez użytkownika długotrwałego kontaktu wzrokowego ze źródłem światła w warunkach stanowiących wyraźne zagrożenie dla oka, np. patrzenie w żarnik lub inny element świecący, szczególnie o dużej wartości luminancji, lub nadmierne zbliżanie źródła do oka.

Tabela 1. Zestawienie wartości granicznych emisji dla źródeł światła o działaniu ciągłym opracowane na podstawie normy PN-EN 62471:2010

Rodzaj zagrożenia fotobiologicznego	Zakres widmowy [nm]	Funkcja skuteczności biologicznej	Symbol	Jednostka	RG0		RG1		RG2	
					Czas bezpiecznej ekspozycji	Granice emisji	Czas bezpiecznej ekspozycji	Granice emisji	Czas bezpiecznej ekspozycji	Granice emisji
Aktyczne UV	200÷400	$S_{UV}(\lambda)$	$E_s$	$W \cdot m^{-2}$	8 godz.	<b>0,001</b>	10 000 s	<b>0,003</b>	1 000 s	<b>0,03</b>
UV-A	315÷400	–	$E_{UVA}$	$W \cdot m^{-2}$	1 000 s	<b>10</b>	300 s	<b>33</b>	100 s	<b>100</b>
Światło niebieskie	300÷700	$B(\lambda)$	$L_B$	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	10 000 s	<b>100</b>	100 s	<b>10 000</b>	0,25 s <sup>3)</sup>	<b>4 000 000</b>
Światło niebieskie – małe źródło <sup>1)</sup>	300÷700	$B(\lambda)$	$E_B$	$W \cdot m^{-2}$	10 000 s	<b>1,0</b>	100 s	<b>1,0</b>	0,25 s <sup>3)</sup>	<b>400</b>
Termiczne siatkówki oka	380÷1400	$R(\lambda)$	$L_R$	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	10 s	<b>28 000/α</b>	10 s	<b>28 000/α</b>	0,25 s <sup>3)</sup>	<b>71 000/α</b>
Termiczne siatkówki oka – słaby bodziec wzrokowy <sup>2)</sup>	780÷3000	$R(\lambda)$	$L_{IR}$	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	1 000 s	<b>6 000/α</b>	10 s	<b>6 000/α</b>	10 s	<b>6 000/α</b>
Promieniowanie IR – rogówki i soczewki oka	780÷3000	–	$E_{IR}$	$W \cdot m^{-2}$	1 000 s	<b>100</b>	100 s	<b>570</b>	10 s	<b>3 200</b>

α – rozmiar kątowy w radianach

1) Małe źródło definiowane jest jako źródło o rozmiarze kątowym  $\alpha < 0,011$  radiana.

2) Słaby bodziec wzrokowy (światłny):  $L < 10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$  wymaga oceny źródła jako nieużytkowanego w oświetleniu ogólnym.

3) 0,25 s przyjmuje się jako czas odruchu obronnego (awersyjnego) oczu.

## 2.2. Granica ekspozycji przy zagrożeniu skóry promieniowaniem widzialnym i podczerwonym

W normie PN-EN 62471:2010 znajduje się informacja o występowaniu zagrożenia termicznego skóry, jednak nie określono w niej wymagań wartości granicznych dla tego zagrożenia. Podano natomiast wzór, zgodnie z którym należy ograniczyć napromienienie skóry w obszarze widzialnym i podczerwieni (od 380 do 3 000 nm)

$$E_H \cdot t = \sum_{380}^{3000} \sum_t E_\lambda(\lambda, t) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leq 20000 \cdot t^{0,25} \text{ [J} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (t \leq 10 \text{ s}) \quad (1).$$

gdzie:

$E_\lambda(\lambda, t)$  – widmowe natężenie napromienienia w  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ ,

$\Delta \lambda$  – szerokość widmowa pasma w nanometrach,

$t$  – czas ekspozycji w sekundach.

Określona tym wzorem granica ekspozycji to uszkodzenie skóry spowodowane wzrostem temperatury tkanki i stosuje się ją tylko do małych obszarów napromienienia. Granice ekspozycji dla okresów dłuższych niż 10 s nie są określone. Ostry ból występujący poniżej temperatury, przy której następuje uszkodzenie skóry, zwykle ogranicza ekspozycję osób do stanu komfortu. Duże pole napromienienia i obciążenie cieplne nie są oceniane, ponieważ wymagają rozważań dotyczących wymiany ciepła między człowiekiem a środowiskiem, aktywności fizycznej i różnych innych czynników, które nie mogą być stosowane w normie bezpieczeństwa, lecz powinny zostać ocenione przy użyciu kryteriów środowiskowych odnoszących się do stresu cieplnego. W celu oceny grup ryzyka dla tego zagrożenia przyjęto wartości graniczne z przedziału 1÷10 s, tj. dla RG0 i RG1 przyjęto wartość graniczną  $E_H = 20\,000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , a dla RG2 wartość graniczną  $E_H = 35\,566 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ .

## 2.3. Metoda badania bezpieczeństwa fotobiologicznego źródeł światła

Metoda badania parametrów promieniowania optycznego do określenia grupy ryzyka źródeł światła została opracowana na podstawie zapisów zawartych w normie PN-EN 62471:2010. W normie tej podano ogólne wymagania i schematy układów odwzorowujących przy pomiarach natężenia napromienienia i luminancji energetycznej. W zależności od przeznaczenia źródeł światła i opraw stosuje się następujące kryteria pomiaru natężenia napromienienia lub luminancji energetycznej:

- w przypadku źródeł przeznaczonych do oświetlenia ogólnego, stosowanych np.: w biurach, szkołach, domach, fabrykach, na drogach oraz w samochodach, należy wykonywać pomiar



w odległości, dla której osiągnięto natężenie oświetlenia równe 500 lx (typowa wartość natężenia oświetlenia ogólnego stosowanego np. w biurach, szkołach itp.),

- w przypadku wszystkich pozostałych źródeł, w tym do takich zastosowań specjalnych, jak: wyświetlanie filmów, procesy reprograficzne, solaria, procesy przemysłowe, zabiegi medyczne oraz działania poszukiwawcze, kryterium opiera się na pomiarze bezpieczeństwa fotobiologicznego w odległości 200 mm od źródła światła.

Takie rozróżnienie jest niezwykle istotne, gdyż np. w biurze nikt z odległości 200 mm nie patrzy na oprawę oświetleniową znajdującą się na suficie, natomiast w niektórych zastosowaniach przemysłowych, np. podczas kontroli jakości, pracownicy mogą spotkać się z koniecznością patrzenia na źródła światła z tak niewielkiej odległości. W takich przypadkach niezbędne są dodatkowe instrukcje mające na względzie zapobieganie uszkodzeniu wzroku. Należy również pamiętać, że gdy źródła światła są umieszczone w oprawie oświetleniowej, na klasyfikację grup ryzyka może wpływać optyka oprawy. Dlatego jeśli oprawa w jakikolwiek sposób modyfikuje pierwotne parametry źródła światła, niezbędny jest nowy pomiar w celu ponownej klasyfikacji oprawy.

### Zakres badań

W zależności od rodzaju badanego źródła światła oraz rodzaju ocenianego zagrożenia fotobiologicznego wykonuje się pomiary natężenia napromienienia, widmowego natężenia napromienienia i widmowej luminancji energetycznej.

Pomiary natężenia napromienienia wykonuje się w celu określenia następujących zagrożeń:

- soczewki oka bliskim nadfioletem 315÷400 nm,  $E_{UVA}$ ,
- rogówki i soczewki oka podczerwienią 780÷3000 nm,  $E_{IR}$ ,
- termicznego skóry 380÷3000 nm,  $E_H$ .

Pomiary widmowego (skutecznego) natężenia napromienienia stosuje się do następujących zagrożeń:

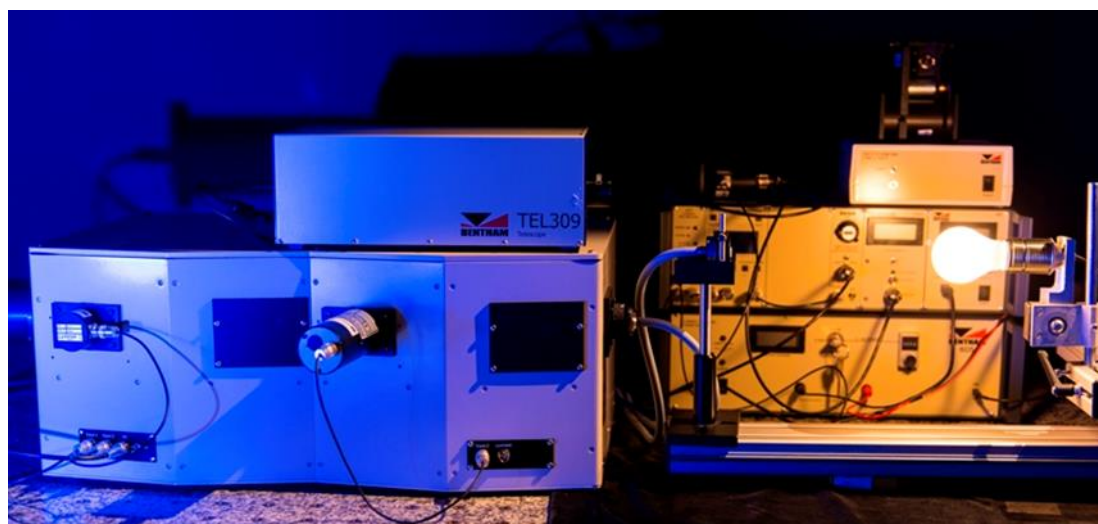
- oka i skóry promieniowaniem UV 200÷400 nm,  $E_S$ ,
- siatkówki oka światłem niebieskim 300÷700 nm,  $E_B$  – małe źródło.

Pomiary widmowej (skutecznej) luminancji energetycznej stosuje się do zagrożeń:

- siatkówki oka światłem niebieskim 300÷700 nm,  $L_B$ ,
- termicznego siatkówki 380÷1400 nm,  $L_R$ ,
- termicznego siatkówki 780÷1400 nm,  $L_{IR}$ .

### **Metodyka pomiaru**

Ocena bezpieczeństwa fotobiologicznego polega na wykonaniu pomiarów określonych w poprzednim punkcie parametrów promieniowania optycznego emitowanego przez elektryczne źródło promieniowania optycznego. Ogólne wskazówki co do sposobu wykonania tych pomiarów zostały zawarte w normie PN-EN 62471:2010 oraz Dyrektywie 2006/25/EC Parlamentu Europejskiego i Rady dotyczącej sztucznego promieniowania optycznego. Do wykonania tych pomiarów niezbędny jest spektrometr. Możliwe jest również wykorzystanie standardowego urządzenia, za pomocą którego zostanie wykonany pomiar widma w wymaganym przez normę zakresie, ale późniejsze przeliczenia i obróbka wyników będą bardzo uciążliwe i pracochłonne. W związku z tym w opracowanej metodzie wykorzystano system spektrometryczny firmy Bentham typ IDR 300-PSL, który znacznie ułatwia ocenę bezpieczeństwa fotobiologicznego (rys. 1).



Rys. 1. Widok stanowiska do badań zagrożeń promieniowaniem optycznym podczas wykonywania pomiarów natężenia napromienienia źródła światła LED

### **Warunki pomiaru**

W celu otrzymania stabilnej emisji strumienia energetycznego emitowanego przez źródła LED podczas procesu pomiarowego oraz powtarzalnych wyników nowe źródła przed wykonaniem pomiarów należy odpowiednio wyświecić (tzw. starzenie lub sezonowanie). Żaden dokument nie podaje jednak, ile w przypadku źródeł LED ten czas ma wynosić. Badania własne potwierdzają, że nie powinien on być krótszy niż 100 godz. Przed wykonaniem pomiarów źródła LED należy włączyć je co najmniej 60 min wcześniej. Czas ten wiąże się z ustabilizowaniem się strumienia świetlnego emitowanego przez te źródła.

Pomiary należy wykonywać w ciemni fotometrycznej, w której ściany pomalowane są matową czarną farbą. Ciemnia fotometryczna zapewnia eliminację wpływu promieniowania optycznego bezpośredniego pochodzącego od innych źródeł niż badane oraz promieniowania odbitego od elementów wyposażenia i ścian pomieszczenia, a także wyposażenia pomiarowego. Ponadto w ciemni należy utrzymywać stałą temperaturę, co jest istotne dla stabilności pracy badanych źródeł światła i ograniczenia błędu pomiarowego przy pomiarach promieniowania emitowanego przez te źródła.

W omawianej metodzie pomiar natężenia oświetlenia wykonuje się z wykorzystaniem głowicy luksomierza (DH400-VL) podłączonej do monochromatora firmy Bentham typ IDR 300-PSL. Głowica ta ma pomiarową czułość względną dopasowaną do czułości względnej oka ludzkiego  $V(\lambda)$ . Pomiar wykonywano w płaszczyźnie pionowej w miejscu usytuowania detektora pomiarowego, zmieniając odległość badanego źródła zamontowanego na miniławie optycznej. W przypadku, gdy wskazanie wynosi  $500 \pm 1$  lx, dana odległość jest przyjmowana jako odległość pomiarowa przy pomiarach rozkładu widmowego.

#### *Opis systemu spektrometrycznego firmy Bentham*

Podstawowym elementem całego systemu spektrometrycznego firmy Bentham typ IDR 300-PSL jest podwójny monochromator IDR 300-PSL. Monochromator ma jedną szczelinę wejściową i trzy wyjściowe – jedną na pierwszym monochromatorze i dwie na drugim.

Układy wyjściowe są przeznaczone do podłączenia następujących detektorów (rys. 1):

- fotopowielacz DH-3, PMT – precyzyjny pomiar promieniowania UV w zakresie 200÷320 nm,
- detektor DH-SI (silikonowy) – pomiar promieniowania w zakresie 200÷1100 nm,
- detektor DH-GA (InGaAs) – pomiar promieniowania IR w zakresie 900÷1700 nm,
- detektor PbS – pomiar promieniowania IR w zakresie 1000÷3000 nm.

Fotopowielacz jest zainstalowany na porcie po przeciwnej stronie szczeliny, detektor SI na porcie w pobliżu fotopowielacza, a detektory InGaAs lub PbS są wymiennie instalowane na szczelinie wyjściowej pierwszego monochromatora.

System spektrometryczny zawiera dwa wielowłóknowe światłowody kwarcowe, które są wymiennie podłączane do szczeliny wejściowej monochromatora. Pierwszy światłowód z elementem optycznym D7 (wyposażonym w dyfuzor PTFE, który zapewnia korekcję kosinusową) jest przeznaczony do pomiaru względnej emisji spektralnej źródeł promieniowania i wyznaczania natężenia napromienienia.

Do prawidłowego wykonania pomiarów niezbędna jest kalibracja systemu spektrometrycznego. Służą do tego trzy źródła wzorcowe: deuterowe CL 7, kwarcowe-halogenowe CL 6-H oraz kwarcowe-halogenowe SRS 12 zamontowane w kuli fotometrycznej.

Całym procesem wykonywania pomiarów steruje oprogramowanie wspomagające procedurę badania źródeł światła – Kreator PSL Wizard. Umożliwia ono zebranie wszystkich danych technicznych oraz wyników pomiarów badanego źródła i w sposób uporządkowany generuje raport z badań. Do oprogramowania wprowadza się wartości graniczne emisji, na podstawie których do badanego źródła przypisuje się konkretną grupę ryzyka.

Bardzo istotny jest poprawny wybór zakresu badań bezpieczeństwa fotobiologicznego. Ma tu duże znaczenie doświadczenie pomiarowca. Oczywiście można wykonać badania w pełnym zakresie opisanym w normie, jednak wiąże się to z kalibracją systemu spektrometrycznego z wykorzystaniem wszystkich źródeł wzorcowych oraz montaż odpowiednich układów wejściowych. Wówczas badanie jednego źródła może trwać nawet 2–3 dni. W przypadku nieznanymi typów źródeł światła jest to konieczne, w innych przypadkach można dokonać pewnych ograniczeń w zakresie badań. Na pewno zawsze należy wykonać pomiary widmowej (skutecznej) luminancji energetycznej w celu określenia zagrożeń siatkówki oka światłem niebieskim z zakresu 300÷700 nm oraz termicznego siatkówki z zakresu 380÷1400 nm. Ocena tych zagrożeń wystarczy w przypadku typowych świetlówek. Źródła żarowe z reguły nie emitują promieniowania nadfioletowego (poza niektórymi typami żarówek halogenowych), ale emitują promieniowanie podczerwone. Żarówki halogenowe i lampy wyładowcze należy badać w pełnym zakresie zagrożeń. W przypadku źródeł LED, szczególnie gdy ich konstrukcja jest oparta na tzw. LED-ach typu SMD, kilkuletnie doświadczenie pomiarowe pozwala stwierdzić, że wystarczy ocena zagrożeń siatkówki – światłem niebieskim oraz promieniowaniem termicznym. Natomiast w przypadku źródeł LED dużej mocy oraz modułów należy również dokonać oceny zagrożenia: soczewki oka bliskim nadfioletem z zakresu 315÷400 nm oraz oka i skóry promieniowaniem UV z zakresu 200÷400 nm.

### **Wyniki badań**

Jednym z celów zadania z zakresu służb państwowych realizowanego w ramach IV etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” było badanie bezpieczeństwa fotobiologicznego źródeł światła LED w celu określenia ich grupy ryzyka. W ramach zadania zbadano 61 źródeł LED przeznaczonych do stosowania w ogólnych celach oświetleniowych.

Przy doborze źródeł i opraw LED przeznaczonych do badań kierowano się:

- łatwą dostępnością (markety budowlane Castorama, OBI, Leroy Merlin, hurtownia oświetleniowa Grodno itp.),
- mocami najbardziej popularnych żarówek głównego szeregu: 60 W, 75 W i 100 W, których są zamiennikami,
- producentem – znanym (produkty markowe) i dalekowschodnim (produkty *no name*),
- ceną – produkty bardzo tanie i o typowej cenie,
- różnicami w konstrukcji.

Do spektrometrycznych badań bezpieczeństwa fotobiologicznego wykorzystano źródła LED będące zamiennikami najbardziej popularnych żarówek głównego szeregu o mocach: 60 W, 75 W i 100 W, źródła typu reflektorowego (PAR), typu retrofit, filament, kuliste, o mocy 150 W, zamienniki żarówek halogenowych – liniowych oraz typu kapsułka, zamienniki świetlówek kompaktowych niezintegrowanych.

Na podstawie wyników badań stwierdzono, że dla badanych źródeł zagrożenia termiczne oka nie występują, gdyż uzyskane wartości z pomiarów stanowią od 0,0% do maksymalnie 0,2% wartości granicy emisji. Podobny wniosek dotyczy zagrożenia soczewki oka promieniowaniem z zakresu bliskiego nadfioletu (UV-A), gdyż uzyskane wartości z pomiarów stanowią od 0,0002% do maksymalnie 0,006% wartości granicy emisji dla tego zagrożenia. W praktyce promieniowanie emitowane przez źródła LED może stwarzać potencjalne zagrożenie oka i skóry aktywnym promieniowaniem nadfioletowym oraz zagrożenie oka światłem niebieskim. W pierwszym przypadku uzyskano największą wartość 46% (tylko dla jednego źródła) w stosunku do wartości granicy emisji, która i tak nie stwarza żadnego zagrożenia, ale otrzymano też wartości rzędu 1%. Natomiast w przypadku zagrożenia oka światłem niebieskim uzyskano wartości z zakresu od 8% do 97% dla źródeł o temperaturze barwowej chłodnej (diennej).

Stwierdzono, że wielkość zagrożenia zależy w największej mierze od wielkości emitowanego strumienia świetlnego i barwy światła (temperatury barwowej), a także od rodzaju zastosowanych źródeł LED.

Na podstawie wykonanych badań poszczególnych parametrów promieniowania optycznego mających na celu określenie grupy ryzyka wszystkie badane źródła zakwalifikowano do grupy wolnej od ryzyka. Oznacza to, że nie stanowią one zagrożenia fotobiologicznego i można je z powodzeniem stosować jako zamienniki żarówek głównego szeregu zarówno w naszych mieszkaniach, jak i w miejscach pracy, ponieważ są bezpieczne. Należy jednak pamiętać, że uzyskane wyniki do-

tyczą tylko jednostkowych egzemplarzy źródeł LED, wybranych spośród szerokiej i zmiennej oferty rynkowej.

Wyniki badań są zbieżne z danymi literaturowymi, które kwalifikują te źródła, podobnie jak inne źródła światła przeznaczone do ogólnych celów oświetleniowych, do grupy niestwarzającej zagrożeń dla oczu. Wyjątkiem mogą być niektóre źródła LED dużej mocy, szczególnie o barwie chłodnej, dla których zagrożenie światłem niebieskim może być zaliczane do grupy drugiej, tzn. o umiarkowanym ryzyku. Porównując parametry LED z innymi źródłami światła, np. żarówkami halogenowymi czy lampami metalohalogenkowymi, można stwierdzić, że te ostatnie znacznie częściej przekraczają poziomy zagrożień uznane za bezpieczne.

#### **2.4. Spełnienie zasadniczych wymagań bezpieczeństwa – wymogi informacyjne**

Promieniowanie emitowane przez źródła światła jest zaliczane do zagrożeń ujętych w zasadniczych wymaganiach bezpieczeństwa określonych w dyrektywie niskonapięciowej. Aby wyrób został legalnie wprowadzony do obrotu, musi być zgodny z zapisami tej dyrektywy. Oznacza to, że producenci źródeł światła i sprzętu oświetleniowego, również z diodami elektroluminescencyjnymi, którzy znakują swoje wyroby znakiem „CE”, potwierdzającym spełnienie zasadniczych wymagań bezpieczeństwa, powinni uwzględniać również zagrożenia związane z promieniowaniem optycznym emitowanym przez źródła LED. W związku z tym producenci źródeł LED i sprzętu z LED-ami powinni oceniać swoje produkty i klasyfikować je do określonych grup zagrożenia fotobiologicznego, a stosowna informacja powinna być zamieszczona na etykiecie danego produktu (od grupy RG2 wzwyż). W przypadku występowania zagrożenia powinno się także określić zalecane środki ostrożności lub wymagane działania w celu wyeliminowania lub ograniczenia zagrożeń.

To, co powinno się znaleźć na etykiecie lub opakowaniu produktu oraz na samym produkcie, określają tzw. wymogi informacyjne. Wymogi informacyjne bezpośrednio wiążą się z wymogami technicznymi i funkcjonalnymi i są niezbędne dla prawidłowej oceny, czy produkt spełnia podstawowe wymagania, czy nie. Do podstawowych wymaganych informacji, które muszą być umieszczone na opakowaniu źródła LED (zgodnie z zał. II pkt 3.1 Rozporządzenia Komisji (WE) nr 244/2009), zalicza się:

- a) nominalną wartość strumienia świetlnego wyrażonego w lumenach [lm];
- b) nominalny okres trwałości lampy, podany w godzinach;
- c) liczbę cykli włącz/wyłącz;
- d) temperaturę barwową, wyrażoną w Kelwinach [K];

e) deklarowaną moc równoważną – jeżeli jest podawana, powinna być zgodna z tabelą 1 pkt.

3.1 (załącznik II pkt 3.1 ww. rozporządzenia);

f) czas nagrzewania lampy.

Do najistotniejszych parametrów należą wartość strumienia świetlnego wyrażonego w lumenach [lm] oraz parametr równoważności mocy wyrażony w watach [W]. Pierwszy z nich jest wartością obligatoryjną i wskazuje ilość światła emitowaną przez produkt oświetleniowy, jakim jest źródło LED. Drugi stanowi informację uzupełniającą i jest pomocą dla konsumenta, który kupując żarówkę głównego szeregu, kierował się wartością mocy wyrażonej w watach.

### **3. Wskazówki co do prawidłowego stosowania źródeł nowej generacji (LED)**

Źródła światła LED mają bardzo dużą trwałość w stosunku do źródeł żarowych oraz znacznie większą trwałość w stosunku do źródeł wyładowczych, w tym świetlówek. Ponadto są to źródła bardzo energooszczędne – oczywiście w największym stopniu w stosunku do źródeł żarowych, ale również znaczne oszczędności energii elektrycznej można uzyskać, zastępując nimi świetłowki kompaktowe i liniowe, a nawet wysokoprężne lampy wyładowcze. W związku z tym proces modernizacji oświetlenia, zarówno mieszkań, jak i obiektów biurowych, przemysłowych itp., staje się coraz powszechniejszy.

Najprostszym sposobem modernizacji jest wymiana tradycyjnych źródeł światła na źródła LED w istniejących oprawach oświetleniowych. Inny sposób, przynoszący większe korzyści, to wymiana całych instalacji z oprawami do tradycyjnych źródeł światła na instalacje z oprawami LED, często takimi, w których źródła LED zostały fabrycznie zintegrowane z oprawami. Jednak specyfika źródeł LED sprawia, że właściwości i parametry źródeł światła i opraw oświetleniowych, w których je zastosowano, różnią się nieco od tych tradycyjnych.

#### **3.1. Różnice w rozsył światła i wartości strumienia świetlnego**

Źródła światła LED o kształcie żarówek mają zwykle bardziej kierunkowy rozsył światła. Żarówki głównego szeregu świecą na ogół w całej przestrzeni, a rozsył światła pożądany w konkretnej aplikacji jest kształtowany przy pomocy układu optycznego oprawy oświetleniowej. Przezroczysty,

kulisty klosz przepuści światło równomiernie we wszystkich kierunkach. Klosz nieprzeświecalny skieruje je głównie w dolną półprzestrzeń, a odbłyśnik skupi światło na jeszcze bardziej ograniczonej powierzchni. Niestety wiele popularnych źródeł światła LED emituje strumień świetlny tylko w dolną półprzestrzeń. Nawet oprawa z odbłyśnikiem nie będzie w stanie ukształtować rozsyłu światła takich źródeł w sposób zbliżony do tego w klasycznych żarówkach. Dlatego na przykład wymiana tradycyjnych żarówek na źródła LED w oprawach z przezroczystym kloszem może spowodować, że w dotychczas dobrze rozświetlonej przestrzeni pomieszczenia nagle sufit i górne partie ścian staną się zbyt ciemne, a w dotychczas dobrze oświetlonym wąskim korytarzu oświetlona będzie jedynie podłoga, a sufit i ściany pozostaną ciemne.

Należy jeszcze zwrócić uwagę na to, że strumień świetlny emitowany przez źródła LED nasz wzrok odbiera nieco gorzej niż ten 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 świetlne tych źródeł, a nie ich moce. Pomocne przy doborze LED-owych zamienników żarówek głównego szeregu, halogenów czy świetlówek kompaktowych może być zestawienie strumieni świetlnych i mocy tych źródeł ujęte w tabeli 2.

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 nowe, które wykorzystuje źródła LED, jest możliwa tylko w przypadku profesjonalnie wykonanego projektu oświetleniowego oraz, już po zakończeniu inwestycji, sprawdzających pomiarów natężenia oświetlenia.

Zamiana opraw na zasadzie 1:1 ma zazwyczaj negatywne skutki. Jest to związane ze zmianą wartości strumienia świetlnego oraz rozsyłu światłości nowych opraw. W konsekwencji może to doprowadzić do niespełnienia wymagań normy PN-EN 12464-1:2012, przede wszystkim w zakresie eksploatacyjnego natężenia oświetlenia i ujednoliconego wskaźnika olśnienia (UGR).



Tabela 2. Porównanie strumieni świetlnych zamienników żarówek (na podstawie Rozporządzenia WE 244/2012)

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

Również przy wymianie świetlówek liniowych na liniowe źródła LED, tzw. tuby LED, w istniejących oprawach zasada 1:1 może przynieść bardzo złe rezultaty, nawet w przypadku dobrania tub LED o strumieniu świetlnym zbliżonym do strumienia dotychczasowych świetlówek. W takim przypadku to, że liniowe źródła światła LED świecą kierunkowo, tzn. tylko w ograniczonym kącie przestrzeni, najczęściej sprawi, że powierzchnie pod oprawą będą nawet jaśniejsze niż dotychczas, ale górna półprzestrzeń pomieszczenia będzie znacząco niedoświetlona. Tym samym z dotychczasowego oświetlenia ogólnego przejdziemy w zasadzie do warunków oświetlenia miejscowego. W przypadku takiej zamiany z reguły szacuje się zyski związane z energooszczędnością, nie patrząc na aspekty oświetleniowe oraz bezpieczeństwo. Taka modernizacja powoduje konieczność 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. Każda modyfikacja pierwotnej oprawy oświetleniowej może naruszyć jej bezpieczeństwo i zmienia jej parametry. Strumień świetlny zaadaptowanej oprawy oświetleniowej zmienia się, gdyż źródła LED zastępujące świetlówki T8 najczęściej mają niższy strumień świetlny, a ich część świecąca jest krótsza (jeden lub oba końce rury są przesłonięte plastikowymi osłonami). Kolejny skutek takiej zamiany to możliwość przesunięcia osi światłości oprawy, co będzie miało wpływ na rozsył światła. Ten sam skutek wystąpi również w przypadku stosowania odbicia zwierciadlanego (metalizowane rastry i odbłyśniki). Należy pamiętać, że tuby LED nie emitują strumienia świetlnego w kącie 360° jak świetlówki, ale w znacznie mniejszym (180–220°). Ponadto nie wszystkie są wy-

posażone w bardzo dobrej jakości rozpraszacze, więc widocznych jest wiele punktowych źródeł światła. Ponieważ źródła LED mają znacznie większą luminancję niż świetlówki T8, które zastępują, bardzo wątpliwe jest, czy przedział granicy luminancji (wartość współczynnika UGR) zmodyfikowanej oprawy oświetleniowej będzie w dalszym ciągu odpowiedni do użytkowania np. z ekranami monitorowymi. Dlatego też zaadaptowana instalacja oświetleniowa może już nie spełniać wymagań normy PN-EN 12464-1:2012 tak jak pierwotnie zaprojektowana instalacja.

Poza wymienionymi aspektami dochodzi jeszcze problem z dostępem do szczegółowych danych fotometrycznych i kolorymetrycznych źródeł LED. Nawet najwięksi producenci sprzętu oświetleniowego nie podają danych fotometrycznych oferowanych przez siebie zamienników LED. W związku z tym, ponieważ zmodyfikowana oprawa oświetleniowa jest już nowym produktem, musi ona zostać poddana badaniom fotometrycznym oraz badaniom związanym z ochroną przeciwporażeniową. Bez wyników tych badań za ewentualne szkody odpowiedzialność będzie ponosił ten, kto dokonał zmian w oprawie, a nie jej producent. Pomiary fotometryczne są niezbędne, gdyż muszą zostać wprowadzone do programu wspomagającego projektowanie oświetlenia w celu ponownego obliczenia natężenia oświetlenia zaadaptowanej instalacji oświetleniowej i porównania go z wymaganiami normy PN-EN 12464-1:2012.

Podczas doboru źródeł i opraw LED nie należy kierować się 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, nie najlepszej jakości, mogą powodować migotanie strumienia świetlnego.

### **3.2. Barwa światła i wskaźnik oddawania barw źródeł LED**

Światło określane zwyczajowo jako białe może mieć różne odcienie, tak jak naturalne światło słoneczne. Odcień światła białego określa się parametrem nazywanym temperaturą barwową, podawaną w Kelwinach [K]. W pochmurny dzień naturalne światło słoneczne postrzegamy jako białe, lecz o odcieniu chłodnym – o temperaturze barwowej powyżej 5 300 K, w słoneczne południe jako białe – neutralne o temperaturze barwowej w zakresie 3 300–5 300 K, a o zachodzie słońca w pogodny dzień jako białe, lecz szczególnie ciepłe – o temperaturze barwowej poniżej 3 300 K.

Żarówki tradycyjne i halogenowe emitują światło białe o odcieniu ciepłym i temperaturze barwowej odpowiednio 2 700 K i 3 200 K. Świetlówki są oferowane w wersjach ze światłem białym

ciepłym, neutralnym lub chłodnym. W ofertach renomowanych producentów występują źródła LED zapewniające każdy ze wspomnianych odcieni światła białego. W krajach europejskich, także w Polsce, w warunkach wyłącznie sztucznego oświetlenia wewnątrz preferuje się światło białe o odcieniu ciepłym lub ewentualnie neutralnym.

Na rynku oświetleniowym dostępne są źródła LED o wyraźnie chłodnym odcieniu światła białego, produkowane najczęściej przez firmy *no name* z obszaru dalekowschodniego. Powodem tego jest ich prostsza i tańsza produkcja oraz większa skuteczność świetlna – są bardziej energooszczędne. Ponadto w krajach azjatyckich, z których na ogół pochodzą takie LED-y, światło chłodno-białe jest preferowane kulturowo. W przypadku oświetlenia wewnątrz światłem o takiej barwie nie będzie w nim zapewniony komfort pracy wzrokowej i będziemy mieli nieprzyjemne odczucia.

Podczas doboru źródeł światła LED równie istotnym parametrem jest wskaźnik oddawania barw, który odpowiada za wierne oddawanie barw oświetlanych przedmiotów. Jeśli oddawanie barw ma być wierne, to powinien on mieć wartość co najmniej 80, lub jeszcze lepiej 90 – przy maksymalnej wartości 100. Niestety jest to tzw. ogólny wskaźnik oddawania barw, który nie skupia się szczególnie na oddawaniu barw z czerwonego zakresu widma, a to jest właśnie słabością źródeł LED. Dlatego warto zwracać uwagę nie tylko na ogólną wartość wskaźnika oddawania barw, która powinna być dostatecznie wysoka, ale także w sposób praktyczny sprawdzać, czy barwy czerwone wyglądają w ich świetle dostatecznie żywo, a nie matowo.

### **3.3. Ograniczenie olśnienia**

W przypadku modernizacji tradycyjnych (najczęściej zrealizowanych na świetlówkach) wewnętrznych instalacji oświetleniowych istotne niebezpieczeństwo może stanowić zjawisko olśnienia. Dotyczy to zwłaszcza oświetlenia wewnątrz biurowych, dla których ujednolicony wskaźnik ograniczenia olśnienia (UGR) musi przyjmować małe wartości (maksymalnie 19).

Tradycyjne źródła światła w oprawach oświetlenia biurowego były najczęściej schowane w głębi oprawy i przesłonięte rastrami o różnej konstrukcji lub matowymi płytami rozpraszającymi. W oprawach LED, zwłaszcza w oprawach panelowych, elementem emitującym światło jest płaska płyta klosza, której luminancja (jaskrawość) może być nadmiernie wysoka i powodować olśnienie. Praca wykonywana w tak oświetlonych pomieszczeniach może wywoływać szybkie zmęczenie wzroku i bóle głowy.

Najlepszym sposobem eliminacji tego problemu jest, jeszcze przed modernizacją, sprawdzenie warunków oświetleniowych i obliczenie wartości ujednoczonego wskaźnika olśnienia UGR, jakie zostaną uzyskane po modernizacji wykorzystującej konkretny typ sprzętu oświetleniowego.

### **3.4. Inne aspekty związane z wymianą tradycyjnego oświetlenia na LED-owe**

#### **Ściemniacz oświetlenia**

W niektórych tradycyjnych instalacjach, zwłaszcza oświetlenia domowego, a nawet w pojedynczych oprawach oświetleniowych strumień świetlny można było regulować za pomocą elektronicznych ściemniaczy. Zostały one zaprojektowane do pracy z żarowymi źródłami światła, które są dla takiego ściemniacza zwykłym obciążeniem rezystancyjnym – opornikiem. Źródła światła LED składają się z diod świecących stanowiących elementy półprzewodnikowe i z elektronicznych układów zasilania. Niestety współpraca tego typu ściemniaczy z elektronicznymi źródłami światła LED w wielu przypadkach nie przebiega prawidłowo – źródeł LED nie można ściemnić lub zaczynają one wtedy migać, co prowadzi do ich uszkodzenia. Dlatego należy zwracać uwagę na to, czy producent dopuszcza możliwość współpracy źródeł LED ze ściemniaczem do żarowych źródeł światła. W praktyce warto samemu sprawdzić takie zapewnienie.

#### **Możliwość zakupu identycznego produktu w dłuższym czasie**

Technika oświetlenia LED rozwija się bardzo dynamicznie, a zmiany oferty rynkowej są bardzo szybkie. Pojawiają się w tej ofercie, ale także znikają z niej krajowi dostawcy i dalekowschodni producenci. Wraz z tym niespodziewanie szybko może się skończyć możliwość zakupu identycznych źródeł światła, co jest tym gorsze, gdy dotyczy opraw oświetleniowych na wymianę. Mniej niebezpieczne jest to w przypadku źródeł światła, ponieważ pewnie łatwo będzie dobrać inne o podobnych parametrach. Jednak w przypadku całych opraw oświetleniowych, np. typu *downlight* lub kinkietów LED, nawet niewielkie odstępstwa w wyglądzie lub parametrach mogą w sposób istotny psuć estetykę całej instalacji. Dlatego w przypadku mniej znanych, tanich dostawców warto zastanowić się nad zakupem zapasowego sprzętu albo zaufać droższemu, renomowanemu producentowi, których oferta z pewnością okaże się stabilniejsza, a nawet w przypadku wprowadzenia zmian i udoskonaleń technicznych produkty powinny być wymienne.

## 4. Podsumowanie – jak dobrać źródło LED jako zamiennik tradycyjnego źródła światła

Ze względu na szereg parametrów funkcjonalnych technologia LED może być interesującą alternatywą dla systemów oświetlenia opartych na tradycyjnych technologiach wytwarzania światła. Zamieniając żarówki lub różnego rodzaju wyładowcze źródła światła, takie jak: świetlówki kompaktowe lub liniowe czy źródła metalohalogenkowe, na źródła LED, musimy pamiętać o poprawnym doborze określonych parametrów znamionowych zamiennika. W warunkach domowych warto zwrócić uwagę na to, aby źródło LED, będące zwykle zamiennikiem żarówki, miało nieco większą niż ona (zgodnie z tabelą 1) wartość emitowanego strumienia świetlnego. Wynika to z tego, że strumień świetlny emitowany przez źródło LED jest oceniany nieco gorzej niż pochodzący od żarówek halogenowych lub świetlówek kompaktowych, co wynika z charakterystyki widma promieniowania optycznego emitowanego przez produkty wykonane w technologii LED.

Kolejnymi parametrami, które powinny podlegać weryfikacji, są temperatura barwowa zbliżona do 3 000 K i wskaźnik oddawania barw na poziomie  $R_a > 80$ . Wartości strumienia świetlnego oraz temperatury barwowej można odczytać na opakowaniu źródła LED. Dla ułatwienia właściwego wyboru zamiennika producenci podają równoważną, przybliżoną wartość mocy tradycyjnej żarówki, emitującą tę samą ilość strumienia świetlnego.

W przypadku oświetlenia obiektów i przestrzeni publicznych ze względu na obowiązujące wymagania normatywne zamiennik wykonany w technologii LED oprócz dopasowania w zakresie wyżej wymienionych parametrów musi również uwzględniać właściwy do danego zastosowania rozsył światłości i ograniczenie oślnienia. Dobrej jakości oprawy oświetleniowe są zwykle wyposażone w mniej lub bardziej zaawansowane układy optyczne, które mają za zadanie odpowiednio kształtować rozsył światłości całej oprawy, tak aby mogła ona spełniać normatywne wymagania w zakresie oświetlania danej przestrzeni i ograniczenia oślnienia. Po zrealizowaniu modernizacji oświetlenia należy pomiarowo sprawdzić spełnienie wymagań normatywnych w danym obiekcie.

### Bibliografia

Końkowski M. 7 pułapek przy zmianie oświetlenia tradycyjnego na LED. Lighting.pl. 21.11.2017 [data dostępu: 14.11.2019].

LED-y, moduły LED, LEDÓWKI. Odpowiedzi na najczęściej zadawane pytania. Praca zbiorowa Polskiego Komitetu Oświetleniowego i Związku Producentów Sprzętu Oświetleniowego „Pol-lighting”. Wydanie I, maj 2011.

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

Rozporządzenie Komisji (WE) nr 244/2009 z dnia 18 marca 2009 r. w sprawie wykonania dyrektywy 2005/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla bezkierunkowych lamp do użytku domowego.

Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) nr 874/2012 z dnia 12 lipca 2012 r. uzupełniające Dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/30/WE w odniesieniu do etykietowania energetycznego lamp elektrycznych i opraw oświetleniowych.

Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1194/2012 z dnia 12 grudnia 2012 r. w sprawie dyrektywy 2009/125/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wymogów ekoprojektu dla lamp kierunkowych, lamp z diodami elektroluminescencyjnymi (Dz.Urz. UE L 342 z dn. 14.12.2012 r., str. 1) oraz zmiana Rozporządzenia Komisji (UE) nr 2015/1428 (Dz.Urz. UE L 224 z dn. 27.08.2015 r., str. 1).