

doi:10.15199/48.2019.10.47

Spektroradiometryczna metoda oceny bezpieczeństwa fotobiologicznego źródeł emitujących promieniowanie optyczne

Streszczenie. W artykule przedstawiono metodę badania natężenia napromienienia, widmowego natężenia napromienienia i widmowej luminancji energetycznej dla potrzeb określania grup ryzyka źródeł światła. Metody pomiarowe zostały opracowane na podstawie ogólnych wymagań i schematów zawartych w normie PN-EN 62471: 2010. Opisano budowę stanowiska pomiarowego do pomiarów parametrów promieniowania optycznego z wykorzystaniem systemu spektroradiometrycznego firmy Bentham typ IDR300-PSL z podwójnym monochromatorem, który został zaprojektowany do wykonywania oceny bezpieczeństwa fotobiologicznego źródeł światła.

Abstract. The article presents a method of evaluating irradiance, spectral irradiance and spectral radiance, for purposes of determining risk groups of light sources. Measurement methods have been developed on the basis of general requirements and diagrams incorporated in the standard PN-EN 62471: 2010. The construction of the stand for measuring parameters of optical radiation using the spectroradiometric system of Bentham type IDR300-PSL based on double monochromator. That system has been designed to assess photobiological safety of light sources. **A spectroradiometric method for evaluating photobiological safety of sources emitting optical radiation.**

Słowa kluczowe: zagrożenie fotobiologiczne, promieniowanie optyczne, grupy ryzyka, system spektroradiometryczny.

Keywords: photobiological hazard, optical radiation, risk group, spectroradiometric system.

Wstęp

Na rynku oświetleniowym jest obecnie dostępnych wiele typów półprzewodnikowych źródeł światła LED, czyli diod elektroluminescencyjnych, popularnie nazywanych LEDami. Ze względu na swoje niekwestionowane zalety, 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 (1.09.2018 r.) źródła LED stały się praktycznie podstawowym zamiennikiem źródeł żarowych. Ponadto, już dzisiaj można zauważyć tendencję, że świetlówki kompaktowe stanowią margines rynku oświetleniowego, a niektóre koncerny oświetleniowe nawet zaprzestały ich produkcji. Artykuł [1] przedstawia wyniki badań źródeł LED jako substytutów tradycyjnych żarówek. Jednak promieniowanie optyczne (światło białe) wytwarzane jest w nich w inny sposób niż w pozostałych rodzajach źródeł światła.

O ile w przypadku stosowania promienników emitujących promieniowanie nadfioletowe czy 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, już taka obawa nie występuje. Wynika to głównie z braku ogólnej świadomości, że promieniowanie optyczne przez nie emitowane może stanowić o zagrożeniu siatkówki oka promieniowaniem widzialnym, szczególnie z zakresu tzw. światła niebieskiego, a sporadycznie może stwarzać ewentualne zagrożenie oczu i skóry promieniowaniem nadfioletowym. Zwykle wybór zamiennika tradycyjnej żarówki dokonywany jest przez użytkownika na podstawie zastosowanej technologii wytwarzania światła, ceny i/lub zadeklarowanych przez producenta parametrów takich jak: moc znamionowa, moc równoważna żarówki, barwa światła. Jednak nasuwa się pytanie, czy stosowanie źródeł światła nowej generacji (LED) jest bezpieczne, a zwłaszcza czy emitowane przez nie promieniowanie optyczne nie stanowi ryzyka dla zdrowia. Aby na to pytanie odpowiedzieć należy mieć możliwość wykonania badań źródeł światła, w tym LED, w celu określenia ich grupy ryzyka ze względu na bezpieczeństwo fotobiologiczne.

Celem artykułu jest przedstawienie metody oceny bezpieczeństwa fotobiologicznego źródeł światła, w tym źródeł LED, opartej na systemie spektroradiometrycznym firmy Bentham typ IDR300-PSL.

Przegląd literatury

W publikacji [3] przedstawiono wyniki oceny bezpieczeństwa fotobiologicznego podczas stosowania dostępnych na rynku źródeł LED emitujących światło białe. Grupa ta składała się fizyków, specjalistów od oświetlenia i metrologii, okulistów ze specjalnością siatkówki oraz biologów. Na podstawie rocznych badań wykonanych zgodnie z przedmiotową normą [2] stwierdzono, że niektóre ze źródeł LED należały do grupy ryzyka 1, a kilka do 2. Opracowany dokument zawiera kompleksową analizę potencjalnych zagrożeń związanych ze stosowaniem źródeł LED z uwzględnieniem przedklinicznej wiedzy mającej na celu uniknięcie potencjalnych zagrożeń siatkówki.

Na międzynarodowej konferencji Lighting Quality & Energy Efficiency zorganizowanej przez Międzynarodowy Komitet Oświetleniowy (CIE) w 2012 roku w referacie [4] autorzy przedstawili własne problemy dotyczące stosowania normy [2] podczas wykonywania badań potencjalnych zagrożeń fotobiologicznych źródeł światła LED. Podobna tematyka została poruszona w referacie [5] zaprezentowanym na międzynarodowej konferencji oświetleniowej LUMEN V4 w 2012 roku.

Problemy związane z pomiarem ekspozycji na promieniowanie optyczne i oceną powodowanych zagrożeń fotobiologicznych często przedstawiano w ostatnich latach na Krajowych Konferencjach Oświetleniowych [6, 7]. Generalnie we wszystkich wystąpieniach podkreślana jest kwestia problemów związanych podczas wykonywania tych badań. Pomimo, że są to pomiary oparte na wymaganiach normatywnych [2], to nie oznacza to, że są one łatwe do wykonania [8].

Bardzo interesującą pozycją dotyczącą stosowania źródeł LED jako zamienników żarówek głównego szeregu oraz świetlówek liniowych jest „Przewodnik zamienników” [9]. Autor porusza w niej wiele kwestii dotyczących braku dokumentów normalizacyjnych, a nawet ustalonych definicji związanych z wprowadzaniem na rynek źródeł LED.

Pomimo, że w normie [2] opisano zasady klasyfikacji źródeł ze względu na grupy ryzyka oraz określono wskazówki dotyczące pomiarów parametrów

promieniowania optycznego emitowanego przez źródła światła, to prawidłowa ocena zagrożenia fotobiologicznego źródeł nie jest łatwym problemem. Jednak ranga tego zagadnienia jest na tyle duża, że opracowano raport techniczny [10] dostarczający wyjaśnień i wytycznych dotyczących oceny zagrożenia oka szczególnie światłem niebieskim.

Klasyfikacja źródeł światła ze względu na bezpieczeństwo fotobiologiczne

Norma PN-EN 62471: 2010 [2] zawiera kryteria dla bezpieczeństwa fotobiologicznego lamp, które definiuje jako źródła wykonane w celu wytworzenia promieniowania optycznego. Zgodnie z tą normą wyróżnia się cztery grupy ryzyka:

- 1) grupa wolna od ryzyka,
- 2) grupa ryzyka 1 (niskie ryzyko),
- 3) grupa ryzyka 2 (umiarkowane ryzyko),
- 4) grupa ryzyka 3 (wysokie ryzyko).

Wartości graniczne emisji dla poszczególnych grup ryzyka określone zostały na podstawie istniejących kryteriów i wartości maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (MDE) stosowanych do oceny zagrożenia promieniowaniem optycznym w środowisku pracy. Różnica polega tylko na tym, że dla potrzeb określenia kryteriów klasyfikacji do poszczególnych grup ryzyka przyjęto osobne założenia o dopuszczalnych czasach bezpiecznej ekspozycji dla każdego z pięciu rodzajów rozpatrywanych zagrożeń fotobiologicznych (tabela 1) w ramach danej kategorii.

Wartości graniczne emisji oraz przyjęte przy poszczególnych zagrożeniach czasy bezpiecznej ekspozycji dla poszczególnych grup ryzyka (oprócz grupy ryzyka 3) zestawiono w tabeli 1. W przyjętej klasyfikacji do grupy ryzyka 3 zalicza się te źródła światła, które mogą stwarzać zagrożenia nawet przy chwilowej lub krótkiej ekspozycji i których wyznaczone z pomiarów wartości poszczególnych parametrów służących do oceny zagrożenia przekraczają granice grupy ryzyka 2. Zagadnienia te omówiono szczegółowo w publikacji [11].

Zakres badań bezpieczeństwa fotobiologicznego

W przypadku źródeł światła przeznaczonych do ogólnych celów oświetleniowych, zgodnie z normą [2], należy wykonać następujące pomiary:

- natężenia napromienienia - w celu określenia zagrożeń:
 - soczewki oka bliskim nadfioletem z zakresu 315 ÷ 400 nm, E_{UVA} ,
 - rogówki i soczewki oka podczerwienią z zakresu 780 ÷ 3 000 nm, E_{IR} ,
- widmowego (skutecznego) natężenia napromienienia – w celu określenia zagrożenia oka i skóry promieniowaniem UV z zakresu 200 ÷ 400 nm, E_s ,

- widmowej (skutecznej) luminancji energetycznej – w celu określenia zagrożeń:
 - siatkówki oka światłem niebieskim z zakresu 300 ÷ 700 nm, L_B ,
 - termicznego siatkówki z zakresu 380 ÷ 1 400 nm, L_R .

Metoda oceny bezpieczeństwa fotobiologicznego

Metoda oceny bezpieczeństwa fotobiologicznego polega na wykonaniu pomiarów określonych w poprzednim punkcie parametrów promieniowania optycznego emitowanego przez elektryczne źródło promieniowania optycznego. Ogólne wskazówki dotyczące sposobu wykonania tych pomiarów zostały zawarte w normie PN-EN 62471: 2010 [2] oraz Dyrektywie Unii Europejskiej dotyczącej Sztucznego Promieniowania Optycznego 2006/25/EC [12]. W celu wykonania tych pomiarów niezbędny jest spektrometr. Wykorzystanie standardowego urządzenia, za pomocą którego zostanie wykonany pomiar widma w wymaganym przez normę [2] zakresie jest możliwe, ale późniejsze przeliczenia i obróbka wyników jest bardzo uciążliwa i pracochłonna. W związku z tym w opracowanej metodzie wykorzystano system spektrometryczny firmy Bentham typ IDR 300-PSL, który stanowi znaczne ułatwienie podczas wykonywania oceny bezpieczeństwa fotobiologicznego.

Warunki pomiaru

W celu utrzymania stabilnej emisji strumienia energetycznego emitowanego przez źródła LED podczas procesu pomiarowego i otrzymania powtarzalnych wyników, nowe źródła przed wykonaniem pomiarów należy odpowiednio wyświecać (tzw. starzenie lub sezonowanie). Nie jest jednak podane w żadnym dokumencie ile ten czas, w przypadku źródeł LED ma wynosić. Na podstawie doświadczeń autora, nie powinien on być krótszy niż 100 godzin. Natomiast przed wykonaniem pomiarów źródła LED należy załączyć co najmniej 60 minut wcześniej. Czas ten związany jest z ustabilizowaniem się emitowanego przez te źródła strumienia świetlnego.

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 ze względu na stabilność pracy badanych źródeł światła i ograniczenie błędów pomiarowych przy pomiarach promieniowania emitowanego przez te źródła. Ciemnia spełniająca te warunki wchodzi w skład Laboratorium Badań Zagrożeń Promieniowaniem Optycznym CIOP-PIB.

Tabela 1. Wartości graniczne emisji dla badanych promienników o działaniu ciągłym, na podstawie [2]

Rodzaj zagrożenia fotobiologicznego	Zakres widmowy [nm]	Funkcja skuteczności biologicznej	Symbol	Jednostka	Czas bezpiecznej ekspozycji t [s]		
					Wartości graniczne emisji		
					Grupa wolna od ryzyka	Grupa ryzyka 1	Grupa ryzyka 2
Aktyczne promieniowaniem UV	200 ÷ 400	S(λ)	E_s	$W \cdot m^{-2}$	t = 30 000 s 0,001	t = 10 000 s 0,003	t = 1 000 s 0,03
Bliskim UV (UV-A)	315 ÷ 400	–	E_{UVA}	$W \cdot m^{-2}$	t = 1 000 s 10	t = 300 s 33	t = 100 s 100
Światłem niebieskim	300 ÷ 700	B(λ)	L_B	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	t = 10 000 s 100	t = 100 s 10 000	t = 0,25 s ¹⁾ 4 000 000
Termiczne siatkówki oka	380 ÷ 1 400	R(λ)	L_R	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	t = 10 s 28 000/ α	t = 10 s 28 000/ α	t = 0,25 s ¹⁾ 71 000/ α
Termiczne rogówki i soczewki oka promieniowaniem IR	780 ÷ 3 000	–	E_{IR}	$W \cdot m^{-2}$	t = 1000 s 100	t = 100 s 570	t = 10 s 3 200

Zgodnie z zapisem w normie [2] źródła przeznaczone do oświetlenia ogólnego, tj. takie, które kształtują przestrzeń świetlną, (np. przeznaczone do oświetlenia biur, szkół, domów, fabryk, dróg oraz w samochodach) należy mierzyć w odległości, dla której osiągnięto natężenie oświetlenia równe 500 lx (typowa wartość natężenia oświetlenia ogólnego stosowanego np. w biurach, szkołach, itp.). Jednak odległość ta nie powinna być mniejsza niż 200 mm. W omawianej metodzie pomiar natężenia oświetlenia wykonywany jest z wykorzystaniem głowicy luksomierza (DH400-VL) podłączonej do monochromatora firmy Bentham typ IDR300-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 mini ławie optycznej. W przypadku, gdy wskazanie wynosiło 500 ± 1 lx – to wówczas dana odległość przyjmowano jako odległość pomiarową przy pomiarach rozkładu widmowego.

Opis systemu spektrometrycznego firmy Bentham

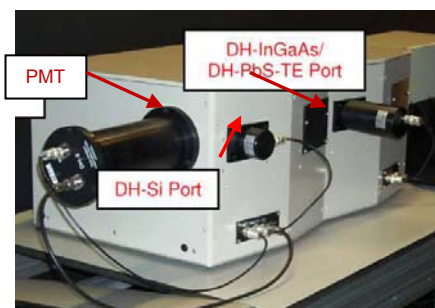
Podstawowym elementem całego systemu spektrometrycznego firmy Bentham typ IDR300-PSL jest podwójny monochromator IDR 300-PSL. Monochromator posiada jedną szczelinę wejściową i trzy wyjściowe - jedna na pierwszym monochromatorze oraz dwie na drugim.

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

- fotopowielacz DH-3, PMT - precyzyjny pomiar promieniowania UV w zakresie $200 \div 320$ nm,
- detektor DH-SI (siliconowy) - pomiar promieniowania w zakresie $200 \div 1100$ nm,
- detektor DH-GA (InGaAs) - pomiar promieniowania IR w zakresie $900 \div 1700$ nm,
- detektor PbS - pomiar promieniowania IR w zakresie $1000 \div 3000$ 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 wyposażony jest w dwa wielowłóknowe, kwarcowe światłowody, które wymiennie podłączane są do szczeliny wejściowej monochromatora. Pierwszy światłowod z elementem optycznym D7 (wyposażonym w dyfuzor PTFE, który zapewnia korekcję kosinusową) przeznaczony jest do pomiaru względnej emisji spektralnej źródeł promieniowania i wyznaczania natężenia napromienienia pomiarów natężenia napromienienia.



Rys. 1. Widok monochromatora z zaznaczonymi układami wyjściowymi

Drugi światłowod łączy wejście monochromatora z teleskopem TEL 309 przeznaczonym do pomiarów luminancji energetycznej (rys. 2).



Rys. 2. Widok teleskopu TEL 309 podłączonego do monochromatora podczas pomiarów luminancji energetycznej

W celu prawidłowego wykonania pomiarów niezbędne jest wykonywanie kalibracji systemu spektrometrycznego. Do tego celu służą trzy źródła wzorcowe: deuterowe CL 7, kwarcowe-halogenowe CL 6-H oraz kwarcowe-halogenowe SRS 12 zamontowane w kuli fotometrycznej.

- Deuterowe źródło wzorcowe CL 7 (rys. 3) wykorzystywane jest do kalibracji systemu spektrometrycznego w zakresie od 200 do 40 nm. Zasilane jest ono z zasilacza typ 706.



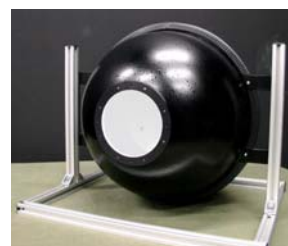
Rys. 3. Widok deuterowego źródła wzorcowego CL 7 oraz zasilacza typ 706

- Kwarcowe-halogenowe źródło wzorcowe CL 6-H (rys. 4) wykorzystywane jest do kalibracji systemu spektrometrycznego w zakresie od 300 do 1100 nm. Zasilane jest ono z zasilacza prądu stałego typ 605 prądem o wartości 6,3 A.



Rys. 4. Widok kwarcowego-halogenowego źródła wzorcowego CL 6 oraz zasilacza prądu stałego typ 605

- Kwarcowe-halogenowe źródło wzorcowe SRS 12 (kula) (rys. 5) wykorzystywane jest do kalibracji systemu spektrometrycznego w zakresie od 300 do 1400 nm w celu pomiaru luminancji energetycznej. Zasilane jest ono z zasilacza prądu stałego typ 605 prądem o wartości 8,3 A.



Rys. 5. Widok kwarcowego-halogenowego źródła wzorcowego SRS 12 (kula) od strony otworu wejściowego

Do pomiarów zagrożenia promieniowaniem podczerwonym wykorzystywany jest przekąźnikowy element optyczny z zasilaczem typ 417 oraz detektor PbS_{TE}. Składa się on z zespołu soczewek oraz selektora prędkości. Podstawowym elementem selektora jest łopatką z pięcioma otworami przesłaniająca czujnik optyczny znajdujący się na podstawie selektora (rys. 6).

Na rysunku 6 pokazany jest kompletny przekąźnikowy element optyczny zamontowany do wejścia monochromatora.



Rys. 6. Kompletny przekąźnikowy element optyczny z łopatką zamontowany do wejścia monochromatora oraz zasilacz typ 417

Oprogramowanie wspomagające procedurę badania źródeł światła - Kreator PSL Wizard

Kreator PSL Wizard jest narzędziem, które umożliwia zebranie wszystkich danych technicznych oraz wyników pomiarów badanego źródła i w sposób uporządkowany generuje raport z badań. W oprogramowaniu tym są wprowadzone wartości graniczne emisji, na podstawie których przypisywana jest do badanego źródła konkretna grupa ryzyka.

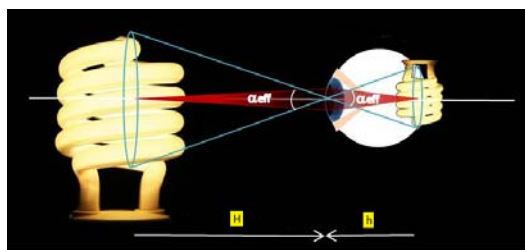
Jednak, aby otrzymać finalny raport z badań niezbędne jest wykonanie kilku czynności. Podstawową, jest poprawny wybór zakresu badań bezpieczeństwa fotobiologicznego. Ma tu duże znaczenie doświadczenie pomiarowca. Oczywiście można wykonać badania w pełnym zakresie opisanym w normie [2] jednak związane jest to z wykonaniem kalibracji systemu spektrometrycznego z wykorzystaniem wszystkich źródeł wzorcowych oraz montaż odpowiednich układów wejściowych. Wówczas badanie jednego źródła, przy mniejszej wprawie, może trwać nawet 2 – 3 dni. W przypadku nieznanymi typów źródeł światła jest to konieczne, jednak można dokonać pewnych ograniczeń w zakresie badań. Na pewno należy zawsze 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 ÷ 1 400 nm. Ocena tych zagrożeń wystarczy w przypadku typowych świetlówek. Źródła żarowe z reguły nie emitują promieniowania nadfioletowego (poza niektórymi typami żarówek halogenowych), a emitują promieniowanie podczerwone. A jak jest w przypadku źródeł LED? Na podstawie kilkuletnich doświadczeń pomiarowych, w przypadku zamienników żarówek głównego szeregu, których konstrukcja oparta jest na tzw. LEDach SMD wystarczy również ocena zagrożeń siatkówki – światłem niebieskim oraz termicznego. 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.

Specyfika pomiarów luminancji energetycznej

Energia promieniowania optycznego emitowana przez źródła jest zależna od kąta widzenia źródła, który jest powiązany z zastosowanym polem widzenia, w związku z czym powinna być mierzona z prawidłowo wyznaczonej odległości. Oprócz określenia odległości, przy której badane źródło emituje 500 lx, istotne jest też prawidłowe określenie

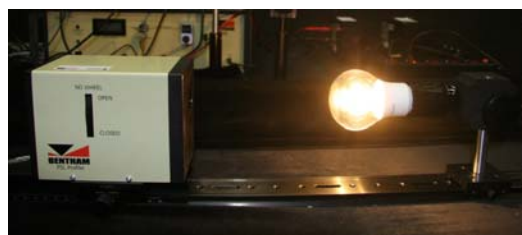
wymiarów źródła oraz odległości do jego obrazu pozornego, gdyż z tych danych wyznaczany jest kąt widzenia źródła. W przypadku źródła posiadającego na bańce powłokę rozpraszającą (opalizowaną) lub źródeł z dyfuzorem należy sprawdzić, czy obszar emisji jest jednorodny, gdyż właśnie ta powierzchnia jest odwzorowywana w oku. W tym przypadku odległość pomiaru wynika z odległości dla której osiągnięto natężenie oświetlenia równe 500 lx.

Natomiast gdy źródło LED jest zintegrowane z reflektorami, soczewkami lub innymi układami optycznymi obszary emisji mogą być definiowane nie tylko przez źródło, ale też łącznie z tymi układami. W tym przypadku pozorny, powiększony obraz zostaje wygenerowany za tym układem. Również obraz źródła z przezroczystą bańką widoczny jest za tą bańką. W odniesieniu do tego pozornego źródła należy dokonać korekty odległości pomiaru, gdyż to źródło jest odwzorowywane bezpośrednio na siatkówce (rys. 7) dla chwilowej wartości natężenia napromienienia i kąta widzenia obrazu na siatkówce (α_{eff}) przy odległości h , który jest taki sam jak kąt widzenia źródła podczas oceny z odległości H . Informacja o rozmiarze obrazu siatkówkowego jest niezbędna do oceny zagrożenia siatkówki oka. Pomiar z odległości minimalnej 200 mm odzwierciedla w praktyce stan najwyższego narażenia siatkówki oka.



Rys. 7. Kąt widzenia źródła i obraz na siatkówce

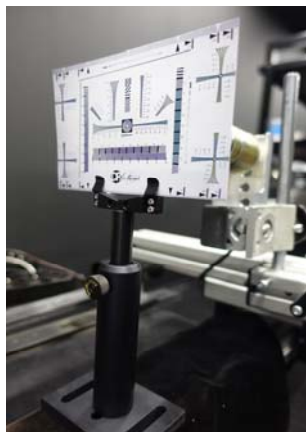
W praktyce, prawidłowe określenie kąta widzenia obrazu źródła na siatkówce, za pomocą zwykłego pomiaru odległości jest niemożliwe. W związku z tym, w ustaleniu odległości od punktu odniesienia znajdującego się na źródle do punktu umiejscowienia pozornego źródła, bardzo pomocna jest przystawka PSL Profiler (rys. 8).



Rys. 8. Widok przystawki PSL Profiler podczas oceny umiejscowienia pozornego źródła

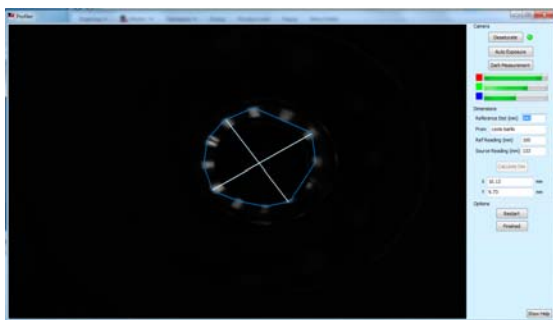
Przystawka ta jest elementem wyposażenia systemu spektrometrycznego firmy Bentham. Maksymalne pole widzenia przystawki PSL Profiler wynosi około 120 mrad (w celu utrzymania wystarczającej rozdzielczości matrycy CMOS dla najmniejszych źródeł o wymiarze kątowym 1,7 mrad. Poprawne wyznaczenie tej odległości wymaga spełnienia wielu warunków, które są określane poprzez oprogramowanie dedykowane do obsługi tej przystawki. Bardzo istotne jest wykonywanie takich manipulacji z wykorzystaniem tej przystawki, aby za każdym razem widoczny obraz źródła światła był ostry. W praktyce ustawienie ostrości na bańce mlecznej lub przezroczystej źródła jest praktycznie niemożliwe, więc do tego celu wykorzystywana jest karta ze wzorcem ostrości ISO_12233

(rys. 9) usytuowana tuż przed źródłem. Jest ona również wykorzystywana do ułatwienia ustawienia ostrości źródła wzorcowego i badanego podczas wykonywania pomiarów luminancji energetycznej.



Rys. 9. Widok karty z wzorcem ostrości podczas ustawienia ostrości badanego źródła

Przykładowy obraz źródła umiejscowionego za punktem referencyjnym (obraz pozorny), dla źródła LED z widocznymi – punktowymi źródłami LED, przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 10. Widok obrazu źródła umiejscowionego za punktem referencyjnym w oknie PSL Profilera

Po uzyskaniu korekty w odległości pomiarowej, niezbędne jest zapewnienie w układzie pomiarowym wyznaczonego kąta widzenia źródła, który odzwierciedla obszar narażonej siatkówki. Istotne jest poprawne odwzorowanie tego obszaru na powierzchni źródła, gdyż pomiar musi dotyczyć tylko promieniowania emitowane z tego obszaru. W wyznaczeniu tego obszaru pomocnym jest wspomagające oprogramowanie PSL Wizard. Dzięki niemu uzyskuje się wartość średnicy otworu, która ograniczy obszar emisji promieniowania badanego źródła. W praktyce pomiarowej wykorzystano do tego celu przesłonę irysową o maksymalnej średnicy otworu 120 mm, która jest ustawiana na szynie tuż przed źródłem (rys. 11). Ponieważ oprogramowanie określa różne średnice przesłon, zastosowanie przesłony o płynnej zmianie średnicy było najlepszym rozwiązaniem. Natomiast wymiar zewnętrzny przesłony jest na tyle duży, że przesłania typowe, badane źródła światła.

Opracowaną procedurę badawczą zweryfikowano poprzez ocenę poszczególnych zagrożeń wymaganych w normie PN-EN 62471 [2] dla pięciu źródeł LED, które są zamiennikami tradycyjnych żarówek głównego szeregu. Weryfikacja polegała na wykonaniu pięciokrotnych, kompletnych pomiarów każdego źródła wraz z każdorazowo wykonaną kalibracją spektrometriem, w

różnych odstępach czasu. Uzyskane wyniki różniły się maksymalnie o 2% co należy uznać za bardzo dobry rezultat potwierdzający dokładność i poprawność tej metody i urządzenia pomiarowego.



Rys. 11. Widok przesłony irysowej usytuowanej tuż przed badanym źródłem

Wnioski

Wprowadzenie dyrektywy 2006/25/EC [12] i normy PN-EN 62471 [2] zmieniło radykalnie traktowanie źródeł światła jako potencjalnych możliwości zagrożenia biologicznego. Zarówno producenci źródeł światła, jak i ich użytkownicy, powinni mieć rozeznanie w jakich warunkach użytkowania można traktować źródła promieniowania nie stwarzające żadnych zagrożeń, a w jakich należy stosować ograniczenia czasu ekspozycji i odpowiednie środki ochronne. Norma PN-EN 62471 [2] wraz z raportami technicznymi: IEC/TR 62471-2 [13], który zawiera wymagania dotyczące oceny bezpieczeństwa źródeł promieniowania optycznego oraz 34A/1541/DTR [10], który zawiera wyjaśnienia i wytyczne dotyczące oceny zagrożenia oka światłem niebieskim, stanowi przełom w traktowaniu źródeł światła i opraw oświetleniowych jako czynników mogących w pewnych warunkach istotnie zaszkodzić zdrowiu człowieka.

Dokumenty prawne takie jak dyrektywa UE czy rozporządzenia MPIPIS wprowadzają obowiązek badania bezpieczeństwa fotobiologicznego wyłącznie w akredytowanym laboratorium. Jednak obecna baza metrologiczna niezbędna do takich badań jest w Polsce niewystarczająca. Związane jest to zapewne z dużym stopniem skomplikowania metody pomiarowej oraz dosyć kosztownym sprzętem wspomagającym wykonywanie tych pomiarów. Należy podkreślić, że przedstawiony system spektrometryczny firmy Bentham wraz z oprogramowaniem wspomagającym stanowi dużą pomoc w wykonywaniu badań źródeł światła. Zastosowanie kwarcowych światłowodów z głowicami pomiarowymi, które są montowane w odpowiednich uchwytach eliminuje bardzo kłopotliwe ustalanie odległości pomiarowych, występujące w innych typach tych urządzeń, szczególnie w procesie kalibracji.

Niniejsza metoda nie jest obciążona błędami, które występowały podczas wykonywanych pomiarów poszczególnych parametrów promieniowania optycznego z wykorzystaniem radiometru z zestawem różnych detektorów. Nie występuje różnica pomiędzy średnicami apertury wejściowej poszczególnych detektorów, gdyż do pomiarów używany jest tylko jeden detektor zamontowany na światłowodzie. Dzięki temu spełniony jest wymóg normatywny [2] dotyczący wymiaru apertury ograniczającej detektor oraz nie ma potrzeby ponownej kalibracji przy

zmianie detektora. Natomiast największym udogodnieniem jest możliwość obliczenia pozornego rozmiaru źródła z jego obrazu otrzymanego przez kamerę CCD zamontowaną w przystawce PSL-Profilier. Dzięki temu można uzyskać bardzo dużą dokładność wyników, czego nie zapewniały pomiary z wykorzystaniem radiometru, gdyż wartość pozornego rozmiaru źródła należało wyznaczyć na podstawie pomiarów wykonanych za pomocą linijki.

Kłopotliwym lub wręcz niemożliwym może wydawać się wykonanie pomiarów źródeł liniowych np. tub LEDowych, czy opraw oświetleniowych o dosyć dużej powierzchni. Jednak wskazówka podana w normie [2] ten problem rozwiązuje, gdyż określa minimalną powierzchnię świecąca źródła przyjętą podczas wykonywania pomiarów jako co najmniej 50% całkowitej powierzchni emisji źródła. Jednak bez znajomości zagadnienia i wymagań normatywnych oraz doświadczenia wykonanie tych pomiarów jest praktycznie niemożliwe.

Końcowy, najważniejszy wniosek dla użytkowników źródeł LED dotyczy kwestii czy są one bezpieczne. Otóż na podstawie analizy wyników pomiarowych wielu źródeł LED wykonanych przez autora w latach 2016 ÷ 2018, można stwierdzić, że aktualnie dostępne w handlu źródła LED nie stanowią zagrożenia fotobiologicznego i można je z powodzeniem stosować jako zamienniki żarówek głównego szeregu zarówno w naszych mieszkaniach jak i w biurach.

Publikacja opracowana na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” finansowanego w latach 2017-2019 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych przez Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy - Państwowy Instytut Badawczy.

Autor: mgr inż. Andrzej Pawlak, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Techniki Bezpieczeństwa, Pracownia Promieniowania Optycznego, Warszawa, ul. Czerniakowska 16, e-mail: anpaw@ciop.pl

LITERATURA

- [1] Pawlak A., Zalesinska M., *Comparative study of light sources for household*, Systems in Production Engineering, vol. 25, issue 1, 2017, pp 35-41.
- [2] PN-EN 62471: 2010. *Bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp i systemów lampowych*.
- [3] *Lightingeurope guide on photobiological safety in general lighting products for use in working places*. February 2013.
- [4] Mou, T., Shi, C.: *Measurement And Standardization On Photobiological Safety Related To Led Products*. Lighting Quality & Energy Efficiency, 19-21. 09. 2012 r. Hangzhou, Chiny.
- [5] Novotný, D.: *Conformity Assessment and Testing of Luminaires and Lamps with LED Technology. Measurement of Photobiological Effects of Light Sources and LED Light Source Systems*. LUMEN V4, 2012, Bratislava, Słowacja.
- [6] Marzec S.: *Zasady klasyfikacji źródeł światła pod względem ryzyka zdrowotnego*. IX Krajowa Konferencja Oświetleniowa Technika Świetlna'2000, 214-221.
- [7] Pietrzykowski, J. *Problematyka pomiaru i oceny ekspozycji osób na niespójne promieniowanie optyczne w nowych normach europejskich*. XVIII Krajowa Konferencja Oświetleniowa Technika Świetlna'2009, Warszawa. PKOŚ SEP.
- [8] Pietrzykowski, J. *Aspekty metrologiczne stosowania normy PN-EN 62471 Bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp i systemów lampowych*. Prace Instytutu Elektrotechniki. Zeszyt 255/2012.
- [9] Henderson R. *Guide to Users for LED Luminaires and LED Tube Lamps*. Robert Henderson. FIESSA 2012, Przewodnik zamienników.
- [10] Draft Technical Report 34A/1541/DTR. IEC/TR 62778 Ed. 1: *Application of IEC 62471 to light sources and luminaires for the assessment of the blue light hazard (2011)*.
- [11] Pawlak A. *Określanie bezpieczeństwa fotobiologicznego źródeł światła*. *Oświetlenie LED*. 1/2016, str. 13 - 17.
- [12] Dyrektywa 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) (dziewiętnasta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG) (Dz. Urz. UE L 114 z 27.04.2006).
- [13] IEC /TR 62471-2:2009 *Photobiological safety of lamps and lamp systems. Part 2: Guidance on manufacturing requirements relating to non-laser optical radiation safety*.