

Andrzej Pawlak

**Ocena zagrożenia
fotobiologicznego
promieniowaniem
optycznym emitowanym
przez elektryczne
źródła promieniowania**

Opracowano w ramach III etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” (2014-2016) finansowanego w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy. Zadanie 2.Z.10. Stanowisko i procedury badania elektrycznych źródeł promieniowania optycznego dla potrzeb oceny zagrożenia fotobiologicznego promieniowaniem optycznym

1. Wstęp

Głównym zadaniem wszystkich źródeł światła białego jest wytworzenie promieniowania widzialnego o odpowiedniej charakterystyce widmowej. Dobór źródeł światła do określonego zadania wzrokowego lub rodzaju stanowiska pracy wymaga uwzględnienia takich parametrów promieniowania widzialnego, jak: strumień świetlny, wskaźnik oddawania barw, barwa światła (temperatura barwowa). Istotnym parametrem jest również skuteczność świetlna źródła związana z jego energooszczędnością. Pozostałe składowe promieniowania, takie jak promieniowanie nadfioletowe i podczerwone, są niepożądane, a nawet mogą negatywnie wpływać na stan zdrowia i zdolność do pracy ekspozowanego człowieka. Podobne oddziaływanie na człowieka ma również promieniowanie widzialne o zbyt nadmiernej ilości światła z zakresu niebieskiego.

Ze względu na fakt, że 1 września 2016 r. zostały wycofane wszystkie tradycyjne żarówki o mocy powyżej 7 W, na rynku oświetleniowym od kilku lat dostępne są różnego rodzaju ich zamienniki. Mogą to być żarówki halogenowe, świetlówki kompaktowe czy LED-owe źródła światła. Jednak charakterystyka promieniowań nowo wprowadzanych urządzeń oświetleniowych, szczególnie źródeł LED, jest inna niż tradycyjnych źródeł żarowych ze względu na odmienny sposób wytwarzania światła. W związku z tym powstaje pytanie, czy charakterystyka widmowa źródeł LED, a także świetlówek kompaktowych umożliwia zastąpienie tradycyjnych żarówek. Obawy te są podnoszone przede wszystkim przez osoby o wysokiej wrażliwości oczu i skóry na określony rodzaj promieniowania, w szczególności na promieniowanie w nadfioletowym i niebieskim zakresie widma.

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 ÷ 3 000 nm) z uwzględnieniem wielkości skutecznych. Wymaga to użycia 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 zapisach 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 światła ze względu na

zagrożenie fotobiologiczne promieniowaniem optycznym, zgodnie ze znormalizowanymi wymaganiami.

2. 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 tą normą wyróżnia się cztery grupy ryzyka, które zdefiniowane są 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 w wyniku krótkiej ekspozycji. Wykorzystanie ich w oświetleniu ogólnym jest niedozwolone.

Klasyfikacja ta opiera się na maksymalnych dopuszczalnych ekspozycjach (MDE) przyjmowanych w odniesieniu do 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 oraz 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. Do

grupy wolnej od ryzyka zaliczane są ponadto źródła, które emitują promieniowanie podczerwone bez silnego bodźca świetlnego (tj. o luminancji mniejszej od 10 cd/m^2) i nie stwarzają zagrożenia siatkówki bliską podczerwienią w ciągu 1 000 s ekspozycji. 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. Zgodnie z zapisem normy PN-EN 62471:2010 w inny sposób należy określać wartości graniczne emisji w odniesieniu do zagrożenia termicznego siatkówki oka, gdy dane źródło jest silnym bodźcem świetlnym, a inaczej, gdy jest słabym bodźcem świetlnym.

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 przyjętej klasyfikacji, do grupy ryzyka 3 (RG3) zalicza się te źródła, 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 (RG2). W tabeli 1 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. Spowodowane jest to faktem, 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 faktu, 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 (α).

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

3. Granica ekspozycji przy zagrożeniu skóry promieniowaniem widzialnym i podczerwonym

W normie PN-EN 62471:2010 jest podana informacja o występowaniu zagrożenia termicznego skóry, jednak nie określono w niej wymagań dotyczących wartości granicznych. Podany jest natomiast wzór, zgodnie z którym należy ograniczyć napromienienie skóry w obszarze widzialnym i podczerwieni ($380 \div 3\,000 \text{ nm}$)

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

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 nm,

t – czas ekspozycji w sekundach.

Określona we wzorze (1) granica ekspozycji jest oparta na kryterium uszkodzenia skóry spowodowanego wzrostem temperatury tkanki. Stosuje się ją tylko do małych obszarów napromieniania. 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 napromieniania i obciążenie cieplne nie są oceniane, ponieważ wymagają rozważań dotyczących wymiany ciepła między osobą a środowiskiem, aktywności fizycznej i różnych innych czynników, które nie mogą być stosowane w normie bezpieczeństwa, lecz powinny być ocenione przez użycie 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 $E_H = 35\,566 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

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.	0,001	10 000 s	0,003	1 000 s	0,03
UV-A	315 ÷ 400	–	E_{UVA}	$W \cdot m^{-2}$	1 000 s	10	300 s	33	100 s	100
Światło niebieskie	300 ÷ 700	$B(\lambda)$	L_B	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	10 000 s	100	100 s	10 000	0,25 s ³⁾	4 000 000
Światło niebieskie – małe źródło ¹⁾	300 ÷ 700	$B(\lambda)$	E_B	$W \cdot m^{-2}$	10 000 s	1,0	100 s	1,0	0,25 s ³⁾	400
Termiczne siatkówki oka	380 ÷ 1 400	$R(\lambda)$	L_R	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	10 s	28 000/α	10 s	28 000/α	0,25 s ³⁾	71 000/α
Termiczne siatkówki oka – słaby bodziec wzrokowy ²⁾	780 ÷ 3 000	$R(\lambda)$	L_{IR}	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	1 000 s	6 000/α	10 s	6 000/α	10 s	6 000/α
Promieniowanie IR – rogówki i soczewki oka	780 ÷ 3 000	–	E_{IR}	$W \cdot m^{-2}$	1 000 s	100	100 s	570	10 s	3 200

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 jak nieużytkowanego w oświetleniu ogólnym.

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

4. Metoda badania bezpieczeństwa fotobiologicznego źródeł światła

Metoda badania parametrów promieniowania optycznego na potrzeby określania 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:

- źródła przeznaczone do oświetlenia ogólnego, stosowane np. w biurach, szkołach, domach, fabrykach, na drogach oraz w samochodach – należy pomiar wykonywać w odległości, dla której osiągnięto natężenie oświetlenia równe 500 lx (typowa wartość natężenia oświetlenia ogólnego stosowanego np. w biurach, szkołach, itp.).
- wszystkie pozostałe źródła, 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 nie patrzy na oprawę oświetleniową znajdującą się na suficie z odległości 200 mm. 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, w celu zapobieżenia uszkodzeniu wzroku, niezbędne są dodatkowe instrukcje. Należy również pamiętać, że gdy źródła światła są umieszczone w oprawie oświetleniowej, klasyfikacja grup ryzyka może zostać zmieniona przez optykę oprawy. Dlatego, jeśli oprawa w jakikolwiek sposób modyfikuje pierwotne parametry źródła światła, niezbędny jest nowy pomiar w celu jej ponownej klasyfikacji.

5. Zakres badań bezpieczeństwa fotobiologicznego źródeł światła

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 zagrożeń:
 - soczewki oka bliskim nadfioletem 315 ÷ 400 nm, E_{UVA} ,
 - rogówki i soczewki oka podczerwienią 780 ÷ 3 000 nm, E_{IR} ,
 - termicznego skóry 380 ÷ 3 000 nm, E_H .

- Pomiary widmowego (skutecznego) natężenia napromienienia stosuje się do 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 ÷ 1 400 nm, L_R ,
 - termicznego siatkówki 780 ÷ 1 400 nm, L_{IR} .

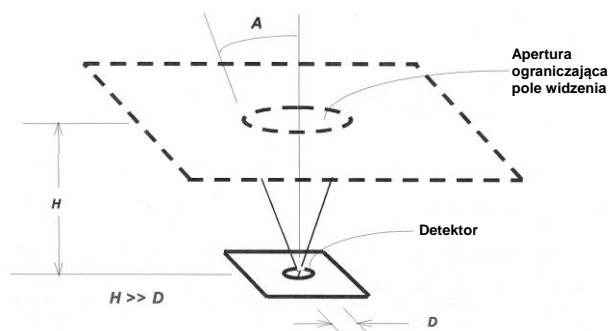
6. Metodyka pomiaru natężenia napromienienia

Do pomiaru szerokopasmowego i widmowego natężenia napromienienia należy stosować miernik pomiarowy wyposażony w detektor, który ma:

- płaskie i kołowe pole,
- przestrzenną czułość kątową zmieniającą się jak cosinus kąta tworzonego z normalną do powierzchni detektora,
- stałą czułość widmową dla badanego zakresu długości fal.

W normie PN-EN 62471:2010 przyjęto, że minimalna średnica apertury wejściowej powinna wynosić 7 mm, a maksymalna średnica apertury wejściowej 50 mm. Płaską aperturę kołową o średnicy 25 mm mają najczęściej małe kule całkujące, które są zalecane jako urządzenie wejściowe do monochromatorów. Apertura o średnicy 25 mm jest zalecana dla źródeł o jednorodnym rozkładzie przestrzennym promieniowania optycznego. Ponadto zaleca się, aby mierzone natężenie napromienienia nie było uśredniane w obrębie pola widzenia mniejszego niż to określono, gdyż może to skutkować przeszacowaniem zagrożenia. Minimalny wymiar apertury uśredniającej związany jest z fizjologicznymi i zachowawczymi czynnikami, które powodują uśrednienie promieniowania padającego na pewne pole powierzchni.

Na rysunku 1 przedstawiono schematyczny układ pomiarowy do pomiarów natężenia napromienienia lub widmowego natężenia napromienienia. Na rysunku tym pokazano ponadto zastosowaną aperturę do ograniczenia pola widzenia, z kątem połówkowym (A), którą można, w miarę potrzeby, stosować przy odległości (H), pod warunkiem, że jest ona duża w porównaniu do średnicy detektora (D). Pomiar należy wykonać w takim położeniu wiązki, w którym otrzymuje się maksymalny odczyt.



Rys. 1. Schemat pomiarów natężenia napromienienia (PN-EN 62471:2010)

7. Metodyka pomiaru luminancji energetycznej

Pomiary luminancji energetycznej są bardziej skomplikowane niż pomiary natężenia napromienienia.

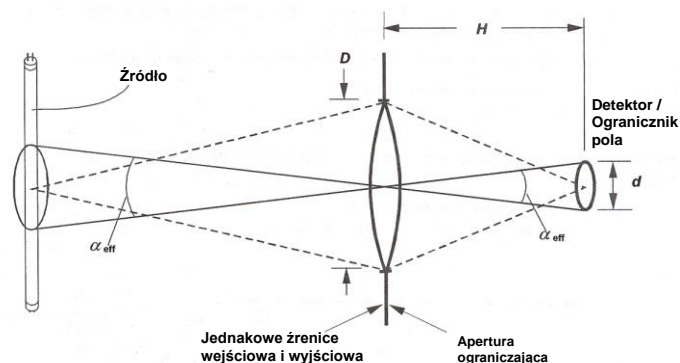
Metoda standardowa

Szerokopasmowe i widmowe pomiary luminancji energetycznej wykonuje się z użyciem układu optycznego, który (rys. 2):

- odwzorowuje źródło promieniowania na detektorze,
- ma kołowy ogranicznik pola do ustalenia określonego rozmiaru kąтового uśrednionego pola widzenia α_{eff} ,
- ma kołową aperturę wejściową, która działa jak apertura uśredniająca w pomiarach natężenia napromienienia i spełnia te same wymagania, jakie podano dla pomiarów natężenia napromienienia. Dla małych kątów zależność między średnicą detektora (d) i ogniskową układu odwzorowującego (H), (rys. 2) przyjmuje postać:

$$d = \alpha_{\text{eff}} \cdot H \quad (2).$$

Podobnie jak przy pomiarach natężenia napromienienia, minimalna średnica apertury ograniczającej (D) (rys. 2) odpowiada średnicy równej 7 mm dla źródeł o działaniu ciągłym. W tym przypadku średnica mogłaby być mniejsza, ale ruchy oka i głowy dopuszczają aperturę uśredniającą.



Rys. 2. Przykład układu odwzorowującego do pomiarów luminancji energetycznej (PN-EN 62471:2010)

Zaleca się również, aby mierzona luminancja energetyczna nie była uśredniana w obrębie mniejszego pola widzenia, niż to określono, gdyż mogłoby to powodować przeszacowanie zagrożenia. Wielkość uśredniającego pola widzenia jest związana z zakresem ruchów oka, które rozkładają strumień energetyczny obrazu źródła na większej powierzchni na siatkówce. Wielkość uśredniającego pola widzenia α_{eff} jest niezależna od wymiaru źródła α . Dla źródeł, którym odpowiada kąt α mniejszy niż określony polem widzenia α_{eff} , wartość uśrednionej luminancji energetycznej jest mniejsza niż rzeczywista fizyczna luminancja energetyczna źródła. Taka biologicznie skuteczna wartość jest jednak odpowiednia do porównania z granicą ekspozycji.

Metoda alternatywna

Dużym udogodnieniem w pewnych sytuacjach pomiarowych może być podana w normie PN-EN 62471:2010 metoda alternatywna pomiaru luminancji energetycznej. W metodzie tej pomiary luminancji energetycznej mogą być określone jako pomiary natężenia napromienienia wykonane z dobrze określonym polem widzenia, gdy zmierzoną wartość natężenia napromienienia dzieli się przez zmierzone pole widzenia w celu otrzymania wartości luminancji energetycznej.

Do wykonania pomiarów luminancji energetycznej może być użyte stanowisko pomiarowe do pomiaru natężenia napromienienia z kołowym ogranicznikiem pola umieszczonym przy źródle (rys. 3). Wielkość kołowego ogranicznika pola (F) i jego odległość (r) od apertury ograniczającej określają pole widzenia:

$$\gamma = F/r \quad (3).$$

Zależność między zmierzonym natężeniem napromienienia (E) i luminancją energetyczną źródła (L), przy detekcji normalnej do pola źródła (kąt pomiędzy normalną i kierunkiem wiązki $\theta=0$, dla małych kątów, ma postać:

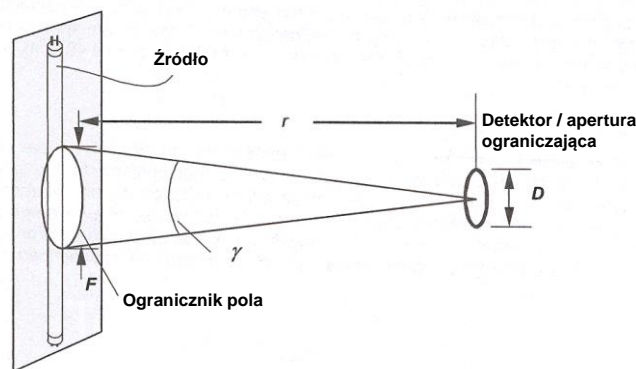
$$E = L \cdot \Omega \quad (4)$$

gdzie kąt Ω , wyznaczany w steradianach, odpowiada pomiarowemu polu widzenia – jest to kąt przestrzenny związany z kątem płaskim (γ) mierzonym w radianach (rys. 3). Dla małych kątów zależność między kątem płaskim (γ) i kątem przestrzennym (Ω) ma postać:

$$\Omega = \frac{\pi \cdot \gamma^2}{4} \quad (5)$$

Na podstawie powyższych zależności natężenie napromienienia wyrażone przez luminancję energetyczną źródła można określić następująco:

$$E = L \cdot \frac{\pi \cdot \gamma^2}{4} = L \cdot \frac{\pi \cdot F^2}{4 \cdot r^2} \quad (6).$$



Rys. 3. Metoda alternatywna pomiaru luminancji energetycznej (PN-EN 62471:2010)

W przypadku wykonywania pomiarów natężenia napromienienia w celu otrzymania wartości luminancji energetycznej do porównania z określonymi wartościami zagrożenia, średnica ogranicznika pola F powinna być tak określona, aby

$$\gamma = \alpha_{\text{eff}} \quad (7).$$

W prawidłowym określaniu bezpieczeństwa fotobiologicznego źródeł światła istotne są warunki środowiskowe, w których wykonuje się pomiary, właściwie dokonany proces starzenia źródeł światła oraz prawidłowo wykonany pomiar natężenia oświetlenia.

8. Środowisko badań

Pomiary należy wykonywać w ciemni fotometrycznej, która zapewnia eliminację wpływu promieniowania optycznego od światła naturalnego oraz promieniowania bezpośredniego pochodzącego od innych źródeł niż badane i promieniowania odbitego od elementów wyposażenia, ścian pomieszczenia, a także aparatury pomiarowej. Zgodnie z p. 5.1.2 normy PN-EN 62471:2010 temperatura otoczenia nie powinna mieć wpływu na emisję źródeł światła i powinna być utrzymana na stałym poziomie. W związku z tym pomiary należy wykonywać w klimatyzowanym pomieszczeniu, w którym jest możliwe utrzymanie temperatury otoczenia na stałym poziomie. Jest to istotne ze względu na utrzymanie stabilnej pracy badanych źródeł światła i ograniczenie błędu pomiarowego, szczególnie przy pomiarach promieniowania podczerwonego emitowanego przez źródła. Ponadto, zgodnie z p. 5.2.1. normy PN-EN 62471:2010, zaleca się, aby sposób zasilania badanych źródeł był zgodny z informacjami podanymi przez ich producentów. W związku z tym podczas badań źródeł należy dokonywać pomiaru napięcia zasilającego za pomocą woltomierza.

9. Starzenie źródeł światła

W celu otrzymania stabilnej emisji strumienia energetycznego emitowanego przez źródła światła podczas procesu pomiarowego i otrzymania powtarzalnych wyników, nowe źródła światła przed wykonaniem pomiarów promieniowania optycznego należy odpowiednio wyświecić (tzw. starzenie lub sezonowanie).

Nowe źródła światła należy poddać procesowi starzenia zgodnie z wymaganiami zawartymi w normach PN-EN 60969:2002 (E) *Lampy samostatecznikowe do ogólnych celów oświetleniowych. Wymagania funkcjonalne* oraz PN-EN 62471:2010. Świetlówki należy wyświecać przez 100 godz., a żarówki przez 1 godz. – zgodnie z normą PN-EN 60969:2002 (E). Natomiast w normie PN-EN 62471:2010 jest zapis precyzujący czas wyświecania żarówek i wynosi on 1% znamionowego czasu życia lampy – czyli dla żarówek halogenowych na napięcie sieciowe wynosi 20 godz., a dla niskonapięciowych 30 godz. Zgodnie z zapisem normy PN-EN 62612:2014-01 *Lampy samostatecznikowe LED do ogólnych celów oświetleniowych na napięcie zasilające > 50 V. Wymagania funkcjonalne* nie jest wymagane starzenie źródeł LED. Jednak, jak wskazują doświadczenia własne, źródła te należy wyświecać przez co najmniej 100 godz.

Przed rozpoczęciem pomiarów należy odczekać co najmniej 20 min na ustabilizowanie się strumienia świetlnego świetlówek, zgodnie z normą PN-EN 60969:2002

(E). Pomiary parametrów żarówek można wykonywać od razu po ich załączeniu (PN-EN 60969:2002). Strumień świetlny źródeł LED po ich załączeniu nieznacznie maleje i stabilizuje się w różnym czasie, w zależności od konstrukcji. Zgodnie z zapisem normy PN-EN 62612:2014-01 pomiary można rozpocząć po odczekaniu 45 min. Na podstawie zapisów normy i doświadczeń własnych mogą stwierdzić, pomiary tych źródeł należy rozpoczynać po 60 min od załączenia. Wówczas różnica pomiędzy maksymalną i minimalną wartością strumienia świetlnego jest najczęściej mniejsza od 0,5%, co zgodnie z normą PN-EN 62612:2014-01 umożliwia prawidłowy pomiar.

10. Pomiar natężenia oświetlenia

Pomiary natężenia oświetlenia należy wykonywać za pomocą luksomierza z sondą pomiarową o czułości względnej dopasowanej do czułości względnej oka ludzkiego V_{λ} . Pomiar należy wykonać w płaszczyźnie pionowej w miejscu usytuowania detektora pomiarowego.

11. Stanowisko badawcze do pomiarów parametrów promieniowania optycznego

Stanowisko badawcze przeznaczone do pomiarów parametrów promieniowania optycznego służących do wyznaczenia grup ryzyka źródeł promieniowania powinno spełniać następujące założenia:

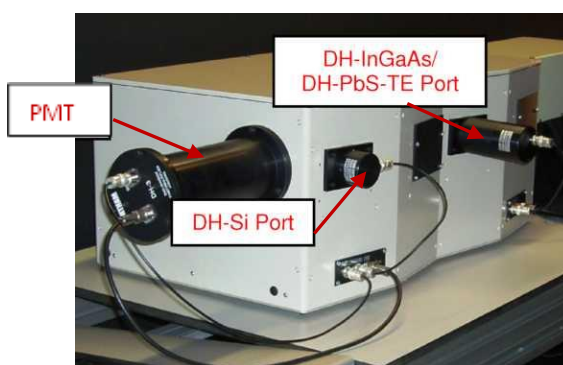
- stabilne zamontowanie różnych typów źródeł światła w pozycji pionowej i poziomej,
- płynna regulacja położenia źródła w poziomie i pionie,
- stabilne zamontowanie ogniwa luksomierza oraz głowicy pomiarowej spektrometri,
- możliwość uzyskania odległości pomiarowej pomiędzy źródłem światła a głowicą co najmniej 3 ÷ 4 m,
- możliwość wypoziomowania środka detektora pomiarowego i środka obszaru świecącego źródła światła,
- możliwość zamontowania źródeł światła z typowymi trzonkami: GU 10, G 9, GU 5.3, G 4 itp.,
- możliwość zamontowania źródeł światła z typowymi gwintami E 27 i E 14,
- możliwość zamontowania świetlówek liniowych typu T8, szczególnie o mocy 18, 36 i 58 W, lub ich zamienników LED-owych oraz świetlówek T5 o typowych mocach,

- możliwość zamontowania liniowych żarówek halogenowych z trzonkiem R7s o długości 78 i 114 mm,
- możliwość zamontowania małych naświetlaczy i opraw oświetleniowych.

12. Aparatura pomiarowa

System spektrometryczny firmy Bentham typ IDR300-PSL

Podstawowym elementem całego systemu spektrometrycznego jest podwójny monochromator IDR 300-PSL. Monochromator ma jedną szczelinę wejściową i trzy wyjściowe – jedną na pierwszym monochromatorze oraz dwie na drugim (rys. 4).



Rys. 4. Widok monochromatora z zaznaczonymi układami wyjściowymi

Układy wyjściowe przeznaczone są do podłączenia następujących detektorów:

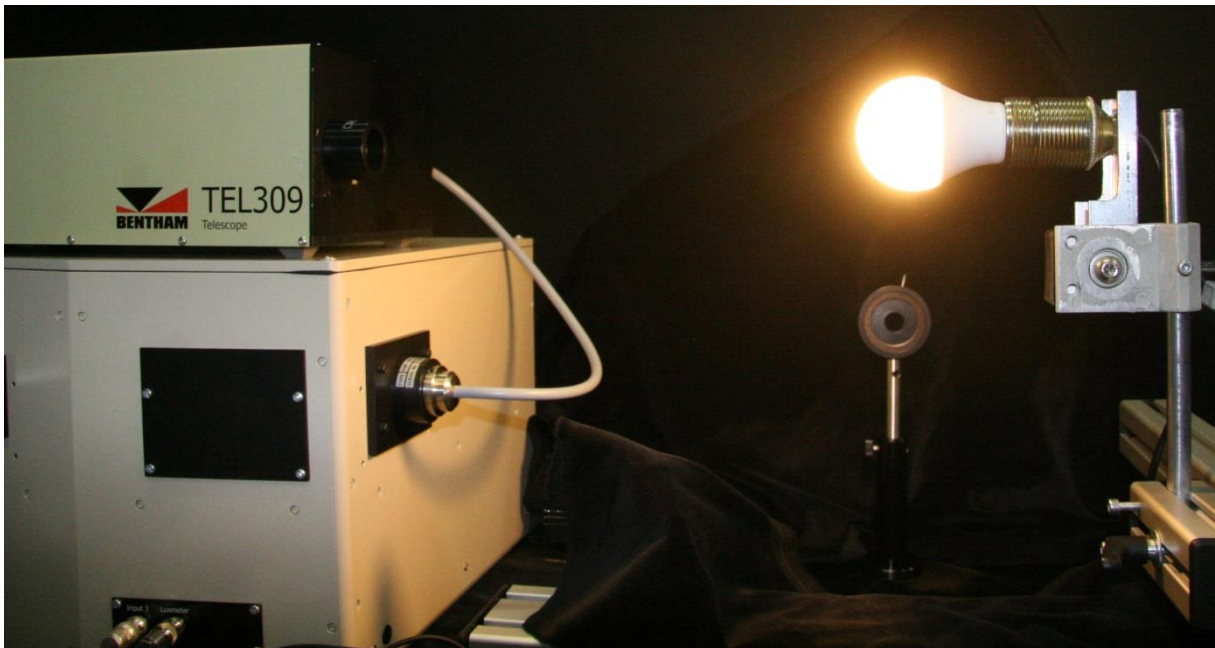
- fotopowielacza DH-3, PMT – precyzyjny pomiar promieniowania UV w zakresie $200 \div 320$ nm – zainstalowanego na porcie po przeciwnej stronie szczeliny,
- detektora DH-SI (siliconowy) – pomiar promieniowania w zakresie $200 \div 1\ 100$ nm – zainstalowanego na porcie w pobliżu fotopowielacza,

natomiast

- detektor DH-GA (InGaAs) – pomiar promieniowania IR w zakresie $900 \div 1\ 700$ nm,
- detektor PbS – pomiar promieniowania IR w zakresie $1\ 000 \div 3\ 000$ nm są wymiennie instalowane na szczelinie wyjściowej pierwszego monochromatora.

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

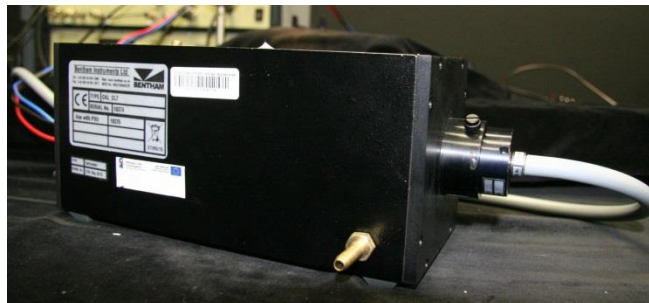
światłowod łączy wejście monochromatora z teleskopem TEL 309 przeznaczonym do pomiarów luminancji energetycznej (rys. 5).

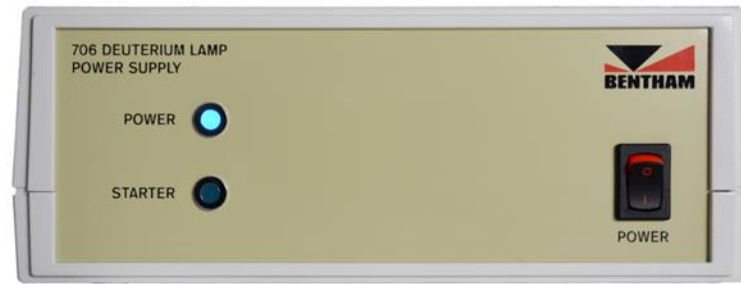


Rys. 5. Widok teleskopu TEL 309 podłączonego do monochromatora podczas pomiarów luminancji energetycznej

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. 6) jest wykorzystywane do kalibracji systemu spektrometrycznego w zakresie $200 \div 400$ nm. Zasilane jest ono z zasilacza typ 706 (rys. 6).





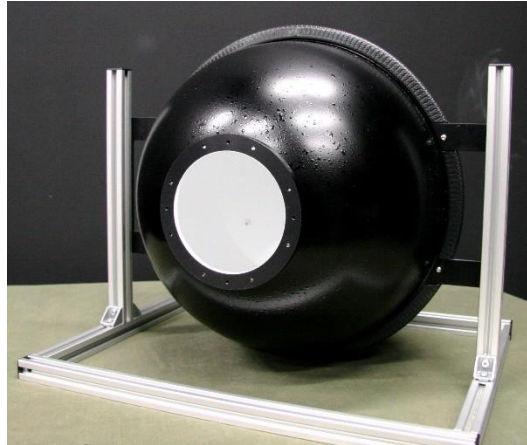
Rys. 6. Deuterowe źródło wzorcowe CL 7 oraz zasilacz typ 706

Kwarcowe-halogenowe źródło wzorcowe CL 6-H (rys. 7) jest wykorzystywane do kalibracji systemu spektrometrycznego w zakresie $300 \div 1\ 100$ nm. Zasilane jest ono z zasilacza prądu stałego typ 605 prądem o wartości 6,3 A (rys. 7).



Rys. 7. Kwarcowe-halogenowe źródło wzorcowe CL 6 oraz zasilacz prądu stałego typ 605

Kwarcowe-halogenowe źródło wzorcowe SRS 12 (kula), (rys. 8) jest wykorzystywane do kalibracji systemu spektrometrycznego w zakresie $300 \div 1\ 400$ nm w celu pomiaru luminancji energetycznej. Zasilane jest ono z zasilacza prądu stałego typ 605 prądem o wartości 8,3 A.



Rys. 8. Kwarcowe-halogenowe źródło wzorcowe SRS 12 (kula) od strony otworu wejściowego

Do pomiarów zagrożenia promieniowaniem podczerwonym wykorzystuje się przekaźnikowy element optyczny z zasilaczem typ 417 oraz detektor PbS_TE. Przekąźnikowy element optyczny składa się z zespołu soczewek oraz selektora prędkości. Podstawowym elementem selektora jest łopatką z pięcioma otworami, przesłaniająca czujnik optyczny znajdujący się na podstawie selektora (rys. 9). Podstawa selektora jest przymocowana do cylindra przekaźnikowego elementu optycznego.



Rys. 9. Przekąźnikowy element optyczny z łopatką z pięcioma otworami

Na rys. 10 jest pokazany kompletny przekaźnikowy element optyczny zamontowany do wejścia monochromatora.



Rys. 10. Kompletny przekaźnikowy element optyczny zamontowany do wejścia monochromatora oraz zasilacz typ 417

Pomiar natężenia oświetlenia

Do pomiarów natężenia oświetlenia wykorzystano głowicę luksomierza (DH400-VL) podłączoną do monochromatora firmy Bentham typ IDR300-PSL. Głowica ta ma pomiarową czułość względną dostosowaną do czułości względnej oka ludzkiego V_{λ} . Pomiary wykonywano w płaszczyźnie pionowej w miejscu usytuowania detektora pomiarowego. Zmieniając odległość źródła badanego obserwowano zmiany wskazań na wyświetlaczu luksomierza. Jeśli wskazanie wynosiło 500 ± 1 lx, przyjmowano daną odległość jako odległość pomiarową przy pomiarach rozkładu widmowego natężenia napromienienia.

Oprogramowanie wspomagające procedurę badania źródeł światła – Kreator PSL Wizard

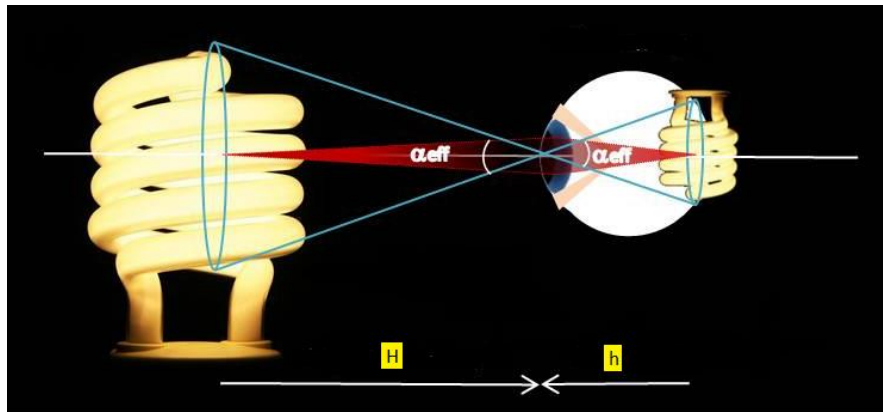
Kreator PSL Wizard pełni rolę przewodnika, który rozpoczyna procedurę badania od wprowadzenia danych badanego źródła i wybór ocenianych zagrożeń, po czym kończy ją raportem wyników z poszczególnych etapów badań.

Energia promieniowania optycznego emitowana przez źródła zależy od kąta widzenia źródła, który jest związany 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 bez żadnego układu optycznego, odległość pomiaru przyjmuje się od powierzchni, która jest odwzorowywana w oku – dotyczy to źródeł z bańką rozpraszającą (opalizowaną). Gdy źródło wyposażone jest w układ optyczny (np. soczewkę) pozorny, powiększony obraz zostaje wygenerowany za tym układem. Również obraz źródła z

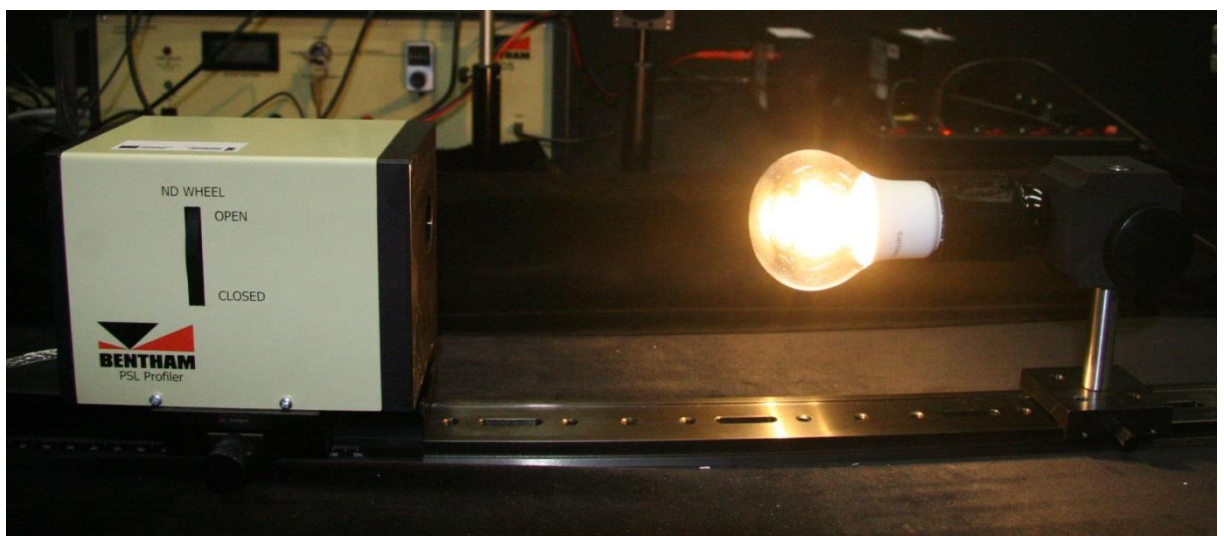
przezroczystą bańką widoczny jest za tą bańką. Właśnie w odniesieniu do tego pozornego źródła należy obrać odległość pomiaru, gdyż źródło to jest odwzorowywane w oku.

Kąt widzenia źródła wyznacza obszar narażonej siatkówki oka. Obserwowane źródło jest odwzorowywane bezpośrednio na siatkówce (rys. 11) 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. 11. Kąt widzenia źródła i obraz na siatkówce

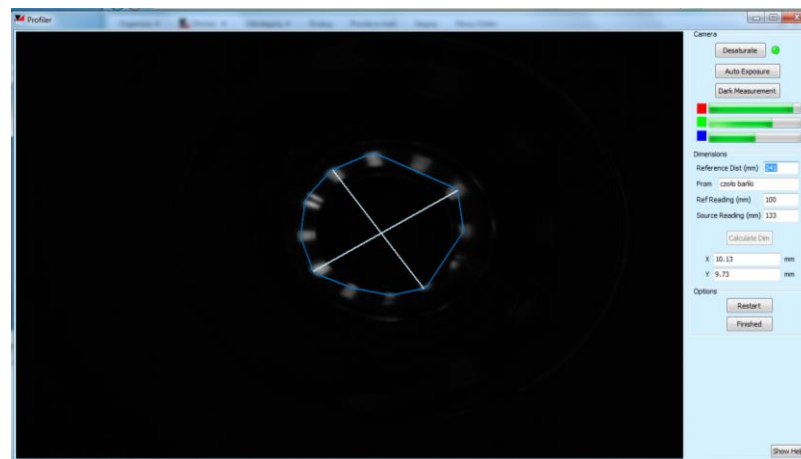
Odległość od punktu odniesienia znajdującego się na źródle do punktu umiejscowienia pozornego źródła można ustalić za pomocą przystawki PSL Profiler (rys. 12).



Rys. 12. Przystawka PSL Profiler podczas oceny umiejscowienia pozornego źródła

Maksymalne pole widzenia PSL Profilera wynosi około 120 mrad (w celu utrzymania wystarczającej rozdzielczości matrycy CMOS dla najmniejszych źródeł o wymiarze kątowym 1,7 mrad). Zgodnie ze wskazówką podaną w normie PN-EN 62471: 2010, minimalna powierzchnia świecąca źródła przyjęta podczas wykonywania pomiarów powinna wynosić co najmniej 50% całkowitej powierzchni emisji źródła.

W wypadku źródeł mających na bańce powłokę rozpraszającą lub źródeł z dyfuzorem należy sprawdzić, czy obszar emisji jest jednorodny. W przypadku źródeł ze zintegrowanymi reflektorami, soczewkami lub innymi układami optycznymi obszary emisji mogą być definiowane nie tylko przez źródło, lecz także łącznie z tymi układami. Przykładowy obraz źródła umiejscowionego za punktem referencyjnym przedstawiono na rys. 13.



Rys. 13. Widok obrazu źródła umiejscowionego za punktem referencyjnym w oknie PSL Profiler

Bibliografia

1. 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.
2. Pietrzykowski J.: *Aspekty metrologiczne stosowania normy PN-EN 62471 Bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp i systemów lampowych*. Prace Instytutu Elektrotechniki, 2012, z. 255.
3. 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.

4. 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. Dz.U. L 76 z 24.3.2009, zmienione przez Rozporządzenie Komisji (WE) nr 859/2009 z dnia 18 września 2009 r. L 247 z 19.9.2009.
5. Rozporządzenie Komisji (UE) Nr 1194/2012 z dnia 12 grudnia 2012 r. w sprawie wykonania dyrektywy 2009/125/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla lamp kierunkowych, lamp z diodami elektroluminescencyjnymi i powiązanego wyposażenia. Dz. Urz. UE L 342/1 z 14.12.2012.
6. Rozporządzenie Delegowane Komisji (UE) Nr 874/2012 z dnia 12 lipca 2012 r. uzupełniające dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/30/UE w odniesieniu do etykietowania energetycznego lamp elektrycznych i opraw oświetleniowych. Dz. Urz. UE L 258/1 z 26.09.2012.
7. PN-EN 62471:2010. Bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp i systemów lampowych.