

Jerzy PIETRZYKOWSKI

ASPEKTY METROLOGICZNE STOSOWANIA NORMY PN-EN 62471 „BEZPIECZEŃSTWO FOTOBIOLOGICZNE LAMP I SYSTEMÓW LAMPOWYCH”

STRESZCZENIE *Sztuczne i naturalne źródła promieniowania optycznego mogą stwarzać poważne fotobiologiczne zagrożenia dla oczu i skóry. Zagrożenia promieniowaniem optycznym od lamp są szacowane zgodnie z PN-EN 62471. W pracy przedstawiono pewne aspekty metrologiczne stosowania normy PN-EN 62471.*

Słowa kluczowe: *bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp, funkcje skuteczności widmowej, klasyfikacja lamp, grupy ryzyka*

1. WSTĘP

Sztuczne i naturalne źródła promieniowania optycznego mogą stwarzać poważne zagrożenia fotobiologiczne dla oczu i skóry człowieka. Szczególnie aktywnym w stwarzaniu zagrożeń fotobiologicznych jest promieniowanie nadfioletowe, jednak także ekspozycja na promieniowanie widzialne i podczerwone może być szkodliwa przy przekroczeniu pewnych jej poziomów. Koniecznością stało się opracowanie norm określających wartości graniczne ekspozycji i metody jej pomiaru. Procedury pomiaru i oceny ekspozycji osób na promieniowanie optyczne emitowane przez źródła sztuczne i naturalne ustalono

mgr Jerzy PIETRZYKOWSKI
e-mail: j.pietrzykowski@neostrada.pl

Polski Komitet Oświetleniowy

w czteroczęściowej normie europejskiej PN-EN 14255 [1, 2, 3, 4]. Szczególne znaczenie ma część czwarta normy, w której określono terminologię wielkości stosowanych w pomiarach ekspozycji na promieniowanie optyczne.

Problemy pomiaru ekspozycji na promieniowanie optyczne, oceny powodowanych zagrożeń fotobiologicznych oraz podział lamp na grupy ryzyka w zależności od potencjalnego zagrożenia często przedstawiano na Krajowych Konferencjach Oświetleniowych [5, 6]. Obecnie po wprowadzeniu normy międzynarodowej IEC 62471:2006 jako normy europejskiej, a tym samym i polskiej [7], rośnie zainteresowanie laboratoriów badawczych możliwością wykonywania badań związanych z oceną bezpieczeństwa fotobiologicznego lamp i systemów lampowych, w tym również oprav oświetleniowych.

Poniżej przedstawiono niektóre aspekty metrologiczne stosowania normy PN-EN 62471:2010. Ocena zagrożeń fotobiologicznych wytwarzanych przez promieniowanie optyczne emitowane przez lampy jest złożonym działaniem metrologicznym ze względu na potrzebę wykonywania pomiarów spektrometrycznych i pomiarów wielkości skutecznych w szerokim obszarze widmowym (200-3000) nm. Wymaga to posiadania specjalistycznej, kalibrowanej aparatury pomiarowej i wysokich kompetencji technicznych personelu laboratorium.

2. FUNKCJE SKUTECZNOŚCI WIDMOWEJ I WIELKOŚCI SKUTECZNE

Do wyznaczenia wartości fotobiologicznych wielkości promieniowania optycznego niezbędna jest znajomość znormalizowanych funkcji skuteczności widmowej definiowanych jako funkcje matematyczne zależne od długości fali stosowane do obliczenia wielkości służącej do oszacowania potencjalnego skutku ekspozycji na promieniowanie optyczne.

W normie PN-EN 62471 stosowane są trzy funkcje skuteczności widmowej, a mianowicie:

- funkcja skuteczności widmowej zagrożenia skóry i oka nadfioletem $S_{UV}(\lambda)$ określona w przedziale widmowym (200-400) nm,
- funkcja skuteczności widmowej zagrożenia siatkówki oka światłem niebieskim $B(\lambda)$ określona w przedziale widmowym (300-700) nm,
- funkcja skuteczności widmowej zagrożenia termicznego siatkówki oka $R(\lambda)$ określona w przedziale widmowym (380-1400) nm.

Oprócz zagrożeń określonych z użyciem funkcji skuteczności widmowych w normie wprowadzono warunki ograniczenia granic ekspozycji przy zagrożeniu oka bliskim nadfioletem (UV-A), przy zagrożeniu oka promienio-

waniem podczerwonym w zakresie widmowym (780-3000) nm oraz przy zagrożeniu termicznym skóry w zakresie widmowym (380-3000) nm.

Uwzględniając powyższe dane w tabeli 1 zestawiono wszystkie zagrożenia oka i skóry oraz wielkości wymagające pomiaru przy badaniach laboratoryjnych bezpieczeństwa fotobiologicznego lamp i systemów lampowych.

TABELA 1

Zagrożenia oka i skóry oraz mierzone wielkości wg PN-EN 62471

Nazwa zagrożenia	Wielkość mierzona	Zależność	Zakres długości fali nm
Zagrożenie skóry i oka promieniowaniem aktywnym UV	Natężenie napromienienia niebezpiecznego E_S [$W \cdot m^{-2}$]	$E_S = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{\lambda}(\lambda) S(\lambda) d\lambda$	200-400
Zagrożenie oka promieniowaniem UV-A	Natężenie napromienienia E_{UVA} [$W \cdot m^{-2}$]	$E_{UVA} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{\lambda}(\lambda) d\lambda$	315-400
Zagrożenie oka światłem niebieskim – małe źródło ¹⁾	Natężenie napromienienia światła niebieskiego E_B [$W \cdot m^{-2}$]	$E_B = \int E_{\lambda}(\lambda) B(\lambda) d\lambda$	300-700
Zagrożenie oka światłem niebieskim	Luminancja energetyczna światła niebieskiego L_B [$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$]	$L_B = \int L_{\lambda}(\lambda) B(\lambda) d\lambda$	300-700
Zagrożenie oka podczerwienią	Natężenie napromienienia E_{IR} [$W \cdot m^{-2}$]	$E_{IR} = \int E_{\lambda}(\lambda) d\lambda$	780-3000
Zagrożenie termiczne skóry	Natężenie napromienienia E_H [$W \cdot m^{-2}$]	$E_H = \int E_{\lambda}(\lambda) d\lambda$	380-3000
Zagrożenie termiczne siatkówki	Luminancja energetyczna zagrożenia termicznego siatkówki L_R [$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$]	$L_R = \int L_{\lambda}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$	380-1400
Zagrożenie termiczne siatkówki – słaby bodziec wzrokowy ²⁾	Luminancja energetyczna zagrożenia termicznego siatkówki L_{IR} [$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$]	$L_{IR} = \int L_{\lambda}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$	780-1400

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

²⁾ Słaby bodziec wzrokowy jest definiowany jako bodziec, którego maksymalna luminancja (uśredniona po kołowym polu widzenia odpowiadającym kątowi 0,011 radiana) jest mniejsza niż $10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$.

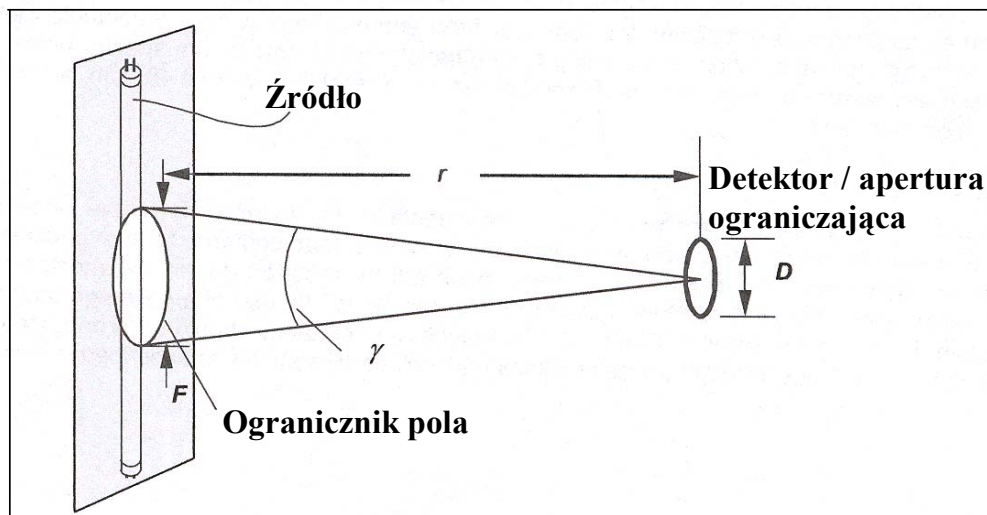
3. METODY POMIARU I APARATURA POMIAROWA

Jak wynika z danych zamieszczonych w tabeli 1 niezbędne pomiary dotyczą szerokopasmowego i widmowego natężenia napromienienia oraz szerokopasmowej i widmowej luminancji energetycznej. Są to pomiary standardowe, chociaż nie oznacza to, że są one łatwe do wykonania.

W normie podano ogólne wymagania i schematy układów odwzorowujących przy pomiarach natężenia napromienienia i luminancji energetycznej. Dużym udogodnieniem w pewnych przypadkach może okazać się podana w normie 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 zmierzona wartość natężenia napromienienia dzieli się przez zmierzone pole widzenia w celu otrzymania wartości luminancji energetycznej.

Na rysunku 1 pokazano schemat pomiaru luminancji energetycznej metodą alternatywną. Typowe stanowisko pomiarowe do pomiaru natężenia napromienienia z kołowym ogranicznikiem pola umieszczonym przy źródle może być użyte do wykonania pomiarów luminancji energetycznej zgodnie z następującą zależnością

$$L = \frac{4r^2 E}{\pi F^2} \quad (1)$$



Rys. 1. Metoda alternatywna pomiaru luminancji energetycznej

Niezbędne do wykonania pomiarów wyposażenie pomiarowe potraktowane jest w normie niezwykle ogólnikowo. Podawany jako przyrząd zalecany podwójny monochromator może spełnić swą rolę tylko w przypadku, gdy będzie stanowił część spektrometri skanującego.

Znacznie więcej informacji o urządzeniach pomiarowych i metodach pomiaru dostarczają normy PN-EN 14255-1 [1] i PN-EN 14255-2 [2].

Do pomiarów natężenia napromienienia i luminancji energetycznej w tak szerokim przedziale widmowym najbardziej celowym jest stosowanie następujących urządzeń:

- spektrometr skanujący,
- spektrometr z matrycą detektorów,
- radiometr ze stałą czułością widmową,
- radiometr z czułością widmową zgodną z określoną funkcją skuteczności widmowej.

Ponieważ wszystkie powyższe urządzenia pomiarowe muszą być kalibrowane, to laboratorium wykonujące badania powinno mieć zapewnioną możliwość ich kalibracji przez krajowy instytut metrologiczny lub akredytowane laboratorium wzorcujące.

4. ZASADY KLASYFIKACJI LAMP

Zasady klasyfikacji lamp na grupy ryzyka zastosowane w normie PN-EN 62471 zostały bez zasadniczych zmian przejęte z normy amerykańskiej ANSI/IESNA RP 27.3-96 [8]. Dla potrzeb normy zdecydowano, że odległości przy których są podawane wartości zagrożeń fotobiologicznych spowodowanych promieniowaniem lamp powinny wynosić:

- dla lamp stosowanych w oświetleniu ogólnym winny być równe odległościom, przy których lampy wytwarzają natężenia oświetlenia równe 500 lx, jednak odległość ta nie powinna być mniejsza niż 200 mm,
- dla wszystkich innych źródeł światła wartości zagrożenia powinny być podane przy odległości 200 mm.

Bazując na powyższym ustaleniu wprowadzono podział na cztery grupy, a mianowicie:

- grupa wolna od ryzyka (RG0),
- grupa ryzyka 1 (niskie ryzyko) (RG1),
- grupa ryzyka 2 (umiarkowane ryzyko) (RG2),
- grupa ryzyka 3 (wysokie ryzyko) (RG3).

W tabeli 2 przedstawiono granice emisji dla grup ryzyka lamp o działaniu ciągłym.

TABELA 2

Granice emisji dla grup ryzyka lamp [7]

Nazwa zagrożenia	Funkcja skuteczności widmowej	Symbol wielkości	Jednostka	Granice emisji		
				RG0	RG1	RG2
Zagrożenie skóry i oka promieniowaniem aktywnym UV	$S_{UV}(\lambda)$	E_S	$W \cdot m^{-2}$	0,001	0,003	0,03
Zagrożenie oka promieniowaniem UV-A	—	E_{UVA}	$W \cdot m^{-2}$	10	33	100
Zagrożenie oka światłem niebieskim – małe źródło	$B(\lambda)$	E_B	$W \cdot m^{-2}$	1,0	1,0	400
Zagrożenie oka światłem niebieskim	$B(\lambda)$	L_B	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	100	10000	4000000
Zagrożenie oka podczerwienią	—	E_{IR}	$W \cdot m^{-2}$	100	570	3200
Zagrożenie termiczne siatkówki	$R(\lambda)$	L_R	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	$28000/\alpha$	$28000/\alpha$	$71000/\alpha$
Zagrożenie termiczne siatkówki słaby bodziec wzrokowy	$R(\lambda)$	L_{IR}	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	$6000/\alpha$	$6000/\alpha$	$6000/\alpha$

α - rozmiar kątowy w radianach

Wartości graniczne emisji podane w tabeli 2 są obliczone z uwzględnieniem wymagań sformułowanych dla grup ryzyka i granic ekspozycji na napromienienie. Dla przykładu granica ekspozycji przy zagrożeniu skóry i oka aktywnym nadfioletem wynosi

$$E_S \cdot t = \sum_{200}^{400} \sum_t E_\lambda(\lambda, t) \cdot S_{UV}(\lambda) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leq 30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \quad (2)$$

Dla grup ryzyka RG0, RG1, RG2 przyjęto, że lampy należą do odpowiedniej grupy, jeśli nie stwarzają żadnego zagrożenia nadfioletem aktywnym w ciągu 30000 s, 10000 s i 1000 s. Podstawiając te wartości do równania (2) otrzymuje się granice emisji $0,001 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, $0,003 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ i $0,03 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Dopuszczalny czas ekspozycji na promieniowanie nadfioletowe padające na niechronione oko lub skórę można obliczyć korzystając z prostej zależności

$$t_{\max} = \frac{30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}}{E_S} \quad (3)$$

gdzie:

t_{\max} – dopuszczalny czas ekspozycji w sekundach,

E_S – natężenie napromienienia nadfioletu niebezpiecznego w $W \cdot m^{-2}$.

Podobne postępowanie można stosować dla innych zagrożeń fotobiologicznych.

5. PODSUMOWANIE

Wprowadzenie dyrektywy 2006/25/EC [9] i normy PN-EN 62471 zmieniło radykalnie traktowanie lamp i systemów lampowych jako potencjalnych źródeł zagrożenia biologicznego. Zarówno producenci lamp, jak i ich użytkownicy, powinni mieć rozeznanie w jakich warunkach użytkowania można traktować lampy jako źródła promieniowania nie stwarzające żadnych zagrożeń, a w jakich należy stosować ograniczenia czasu ekspozycji i odpowiednie środki ochronne.

Norma PN-EN 62471 nie zawiera wymagań bezpieczeństwa, które powinny być przestrzegane przez producentów i użytkowników. Lukę tę wypełnia Raport techniczny IEC/TR 62471-2 [10] dostarczający wytycznych dotyczących wymagań do oceny bezpieczeństwa źródeł promieniowania optycznego i etykietowania produktów. Przygotowany jest również także kolejny raport techniczny [11] dostarczający wyjaśnień i wytycznych dotyczących oceny zagrożenia oka światłem niebieskim. Należy również oczekiwać, że klasyfikacja źródeł niespójnego promieniowania optycznego zostanie w najbliższych latach rozszerzona na źródła nieelektryczne, bowiem aktualnie jest przygotowywany projekt odpowiedniej normy europejskiej [12].

LITERATURA

1. PN-EN 14255-1:2010 Pomiar i ocena ekspozycji osób na niespójne promieniowanie optyczne. Część 1: Promieniowanie nadfioletowe emitowane przez źródła sztuczne na stanowisku pracy.
2. PN-EN 14255-2:2010 Pomiar i ocena ekspozycji osób na niespójne promieniowanie optyczne. Część 2: Promieniowanie widzialne i podczerwone emitowane przez źródła sztuczne na stanowisku pracy.
3. PN-EN 14255-3:2010 Pomiar i ocena ekspozycji osób na niespójne promieniowanie optyczne. Część 3: Promieniowanie nadfioletowe emitowane przez słońce.
4. PN-EN 14255-4:2010 Pomiar i ocena ekspozycji osób na niespójne promieniowanie optyczne. Część 4: Terminologia i wielkości stosowane w pomiarach ekspozycji na promieniowanie nadfioletowe, widzialne i podczerwone.
5. Marzec S.: Zasady klasyfikacji źródeł światła pod względem ryzyka zdrowotnego. IX Krajowa Konferencja Oświetleniowa Technika świetlna 2000, 214-221 (2000).

6. Pietrzykowski J.: Problematyka pomiaru i oceny ekspozycji osób na niespójne promieniowanie optyczne w nowych normach europejskich. XVIII Krajowa Konferencja Oświetleniowa Technika świetlna 2009, 71-75 (2009).
7. PN-EN 62471:2010 Bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp i systemów lampowych.
8. ANSI/IESNA RP 27.3-96 Recommended Practice for Photobiological Safety for Lamps. Risk Group Classification and Labeling.
9. Directive 2006/25/EC of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to risks arising from physical agents (artificial optical radiation). Official Journal of the European Union L 114, 27.4.2006, 38-59.
10. 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.
11. 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).
12. prEN 16237-2011 Classification of non-electrical sources of incoherent optical radiation.

Rękopis dostarczono dnia 13.04.2012 r.

METROLOGICAL ASPECTS OF APPLICATION
OF STANDARD PN-EN 62471 PHOTOBIOLOGICAL SAFETY
OF LAMPS AND LAMP SYSTEMS

Jerzy PIETRZYKOWSKI

ABSTRACT *Artificial and natural sources of optical radiation may create heavy photobiological hazards for the eye and skin. Optical radiation hazards from lamp are assessed in accordance with PN-EN 62471. In paper some metrological aspects of application PN-EN 62471 are presented.*

Keywords: *photobiological safety of lamps, spectral weighting functions, lamp classification, risk groups*

Mgr Jerzy PIETRZYKOWSKI – absolwent Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Łódzkiego, specjalność fizyka teoretyczna. Wieloletni pracownik naukowy Zakładu Promieniowania Optycznego Głównego Urzędu Miar. Główne zainteresowania zawodowe: pomiary barwy materiałów i ocena różnicy barw, spektrometria promieniowania optycznego, samokalibracja fotodiod półprzewodnikowych i odbiorniki pułapkowe. Autor i współautor ponad osiemdziesięciu artykułów i referatów prezentowanych w czasopiśmie i na konferencjach naukowych.

