

OCENA BEZPIECZEŃSTWA FOTOBIOLOGICZNEGO ŚWIATEŁ I LAMP LED WYKORZYSTYWANYCH W MOTORYZACJI POD KĄTEM ZAGROŻENIA SIATKÓWKI OKA ŚWIATŁEM NIEBIESKIM

Artykuł zawiera wyniki badań dotyczące oceny zagrożenia światłem niebieskim siatkówki oka przez urządzenia świetlne ze źródłami światła LED wykorzystywane w motoryzacji. Badaniom podlegały światła do jazdy dziennej oraz lampy robocze obecnie dostępne na rynku, przeznaczone do samodzielnego montażu w pojazdach. Zaprezentowano metodę badań z wykorzystaniem matrycowego miernika luminancji i spektrometrii. Wykonano niezbędne badania fotometryczne i radiometryczne w celu oceny zagrożenia według normy PN-EN 62471:2010. Uzyskane wyniki badań odniesiono do światłości maksymalnej, współrzędnych chromatyczności i temperatury barwowej najbliższej badanych urządzeń świetlnych.

WPROWADZENIE

Widzenie to nie jedyne zjawisko powodowane w organizmie ludzkim przez promieniowanie optyczne. Jakość postrzeganego światła oddziałuje na nasze samopoczucie: senność, zdolności poznawcze czy rozdrażnienie [1]. Migotanie źródeł światła, nawet niewidoczne gołym okiem, może powodować bóle głowy i dyskomfort wizualny [1]. Światło w zakresie długości fali od 380 do 500 nm ma duży wpływ na regulację cyklu dobowego człowieka – hamuje wydzielanie melatoniny, hormonu snu [2].

Promieniowanie elektromagnetyczne w innych zakresach długości fali również może wywoływać szereg innych negatywnych efektów biologicznych w ciele człowieka [3]:

- zmęczenie powodowane podczerwienią czy nadfioletem;
- zapalenie rogówki oka i rumień skóry powodowane nadfioletem;
- uszkodzenia termiczne siatkówki oka i inne.

Wytyczne do oceny bezpieczeństwa fotobiologicznego urządzeń świetlnych w zakresie długości fali promieniowania elektromagnetycznego od 200 nm do 3000 nm zawarte są w normie PN EN 62471:2010. Wspomniany dokument odnosi się do pięciu typów zagrożeń [3]:

1. zagrożenia skóry i oka promieniowaniem aktywnym UV (zakres długości fali λ od 200 nm do 400 nm);
2. zagrożenia oka promieniowaniem UV-A (λ od 315 nm do 400 nm);
3. zagrożenia oka światłem niebieskim (λ od 300 do 700 nm);
4. zagrożenia oka podczerwienią (λ od 780 do 3000 nm);
5. zagrożenia termicznego skóry (λ od 380 do 3000 nm).

Diody elektroluminescencyjne wykorzystywane w celach oświetleniowych emitują promieniowanie w zakresie widzialnym. Znaczna część diod LED emitujących światło białe wykorzystuje technologie z użyciem luminoforów. Takie diody charakteryzuje rozkład widmowy z wąskim pikiem w zakresie długości fali od około 400 nm do 500 nm i szerszym dla większych długości fali.

W zależności od czasu ekspozycji i ilości pochłoniętego światła niebieskiego przez oczy ludzkie istnieje ryzyko zaburzenia rytmu dobowego, problemy ze snem [1,2,4], czy też zapalenia siatkówki powodowane światłem niebieskim [3]. Te ostatnie zagrożenie może być

spowodowane nadmiernym wpatrywaniem się w lampy o wysokiej luminancji energetycznej światła niebieskiego [3]. Wielkość ta związana jest z rozkładem widmowym emitowanego światła i rośnie liniowo wraz z luminancją świetlną elementów świetlnooptycznych lampy. Diody elektroluminescencyjne obecnie wypierają klasyczne źródła światła ze względu na wysoką skuteczność świetlną, trwałość oraz dobry wskaźnik oddawania barw. Oprawy do oświetlenia ogólnego ze źródłami światła LED często cechują się względnie dużymi gabarytami oraz niskimi luminancjami przez co w większości przypadków znajdują się w grupie wolnej od ryzyka (RG0) lub niskiego ryzyka (RG1) [5]. Natomiast światła i lampy LED stosowane w motoryzacji często cechują się małymi gabarytami, nieosłoniętymi diodami o wysokich luminancjach i wąskim rozsyłu światłości, co dotyczy szczególnie światła LED drogowych, mijania, do jazdy dziennej i dodatkowych lamp roboczych używanych w transporcie (ładunek i rozładunek towarów). Fizyczne parametry wspomnianych układów świetlnooptycznych sprawiają, że zasadne jest prowadzenie badań mających na celu ocenę ryzyka wywołania przez nie negatywnych efektów biologicznych spowodowanych światłem niebieskim.

1. METODY BADAŃ

1.1. Fizyczne parametry stosowane do oceny zagrożenia światłem niebieskim

W zależności od wielkości źródła światła norma PN-EN 62471:2010 podaje dwa możliwe podejścia:

1. Dla źródeł światła o średnicy większej niż 2,2 mm na podstawie luminancji energetycznej [6]:

$$L_B = K_{B,v} \cdot L, \quad (1)$$

gdzie L to luminancja świetlna w cd/m^2 , a $K_{B,v}$ to skuteczność zagrożenia światłem niebieskim przez promieniowanie optyczne, zdefiniowane jako

$$K_{B,v} = \frac{\int \phi_\lambda(\lambda) \cdot B(\lambda) d\lambda}{K_m \int \phi_\lambda(\lambda) \cdot V(\lambda) d\lambda}, \quad (2)$$

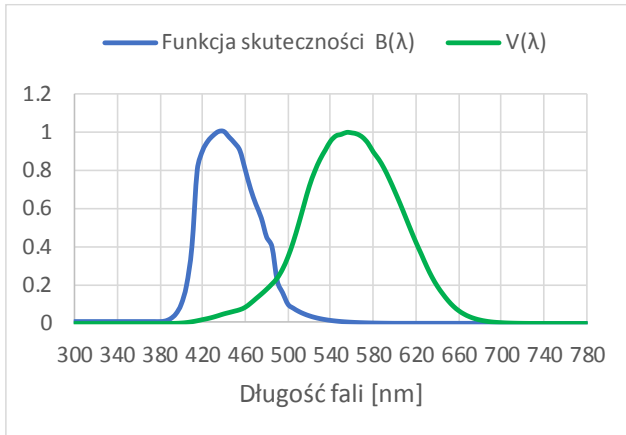
przy czym:

$\phi_\lambda(\lambda)$ – monochromatyczna luminancja energetyczna podawana w $\text{W}/(\text{sr} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{nm})$ lub natężenie napromienienia w $\text{W}/\text{m}^2/\text{nm}$;

$B(\lambda)$ – funkcja skuteczności zagrożenia siatkówki oka światłem niebieskim (Rys. 1);
 $V(\lambda)$ – czułość widmowa oka dla widzenia fotonowego;
 $K_m = 683 \text{ lm/W}$.

2. Dla źródeł światła o średnicy mniejszej niż 2,2 mm na podstawie natężenia napromienia [5]:

$$E_B = K_{B,v} \cdot E. \quad (3)$$



Rys. 1. Funkcji skuteczności dla światła niebieskiego (na podstawie danych w [3,6])

Ze względu na charakter badanych na potrzeby niniejszego artykułu urządzeń świetlnych zaprezentowano podejście pierwsze.

Dokument [3] określa cztery grupy ryzyka stworzenia potencjalnych zagrożeń przez urządzenia świetlne (Tabela 1):

- grupa wolna od ryzyka - RG0;
- grupa niskiego ryzyka - RG1;
- grupa umiarkowanego ryzyka -RG2;
- grupa wysokiego ryzyka - RG3.

Tab. 1. Grupy ryzyka wg PN-EN 62471:2010

Granica ekspozycji [J/m ² /sr]	Grupa ryzyka – duże źródło		
	Nazwa	Zakres czasu ekspozycji t _{max} [s]	Luminancja energetyczna światła niebieskiego L _B [W/m ² /sr]
10 ⁶	RG0	t _{max} > 10 000	L _B < 100
	RG1	10 000 ≥ t _{max} > 100	100 ≤ L _B < 10 000
	RG2	100 ≥ t _{max} > 0,25	10 000 ≤ L _B < 4 000 000
	RG3	t _{max} ≤ 0,25	L _B ≥ 4 000 000

Wymienione grupy ryzyka przydzielane są na podstawie maksymalnego czasu ekspozycji [3,6]:

$$t_{max} = \frac{D}{L_B}, \quad (4)$$

gdzie $D=10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^2/\text{sr}$.

Ocenę grupy ryzyka przeprowadza się dla pola pomiarowego 2,2 mm w odległości 200 od źródła światła (kąt widzenia 11 mrad).

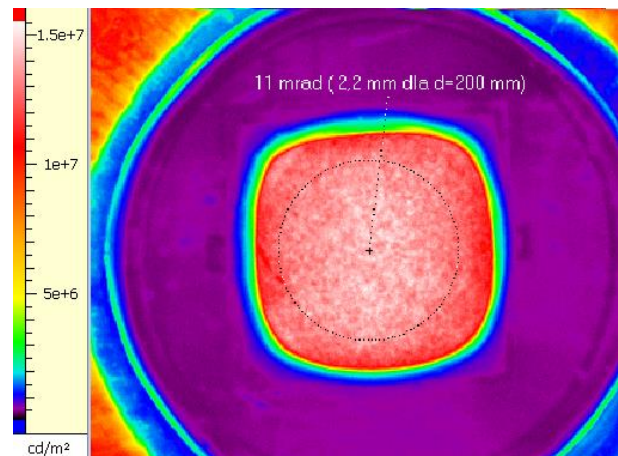
1.2. Metodyka badań

Skuteczność zagrożenia światłem niebieskim przez promieniowanie optyczne $K_{B,v}$ oblicza się ze związku [6]

$$K_{B,v} = \frac{E_B}{E}. \quad (3)$$

Pomiar monochromatycznego natężenia napromienienia wykonano szerokopasmowym spektrometrem StellarNET SilverNova z odpowiednią głowicą pomiarową i przesłonami. Luminancję ener-

getyczną obliczono ze wzoru (1) po uprzednim obliczeniu $K_{B,v}$. Pomiar luminancji świetlnej realizowano za pomocą matrycowego miernika luminancji LumiCam 1300 Advanced.

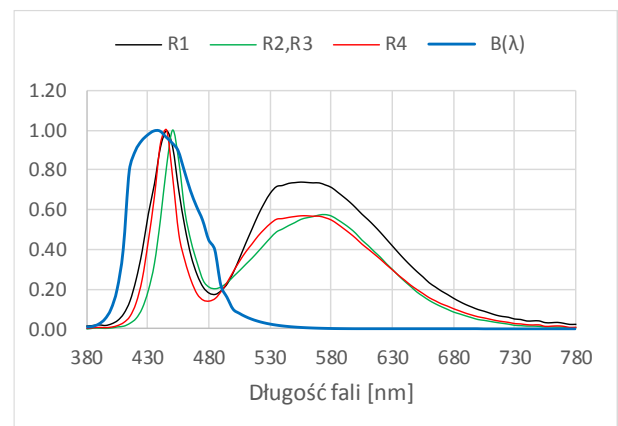


Rys. 2. Przykładowy rozkład luminancji diody

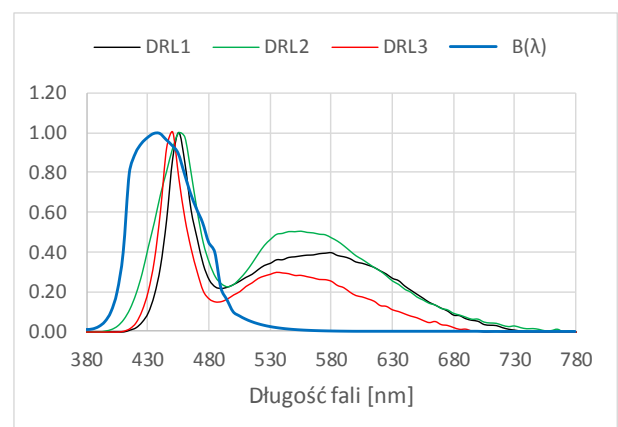
2. WYNIKI BADAŃ

2.1. Parametry fizyczne badanych urządzeń świetlnych

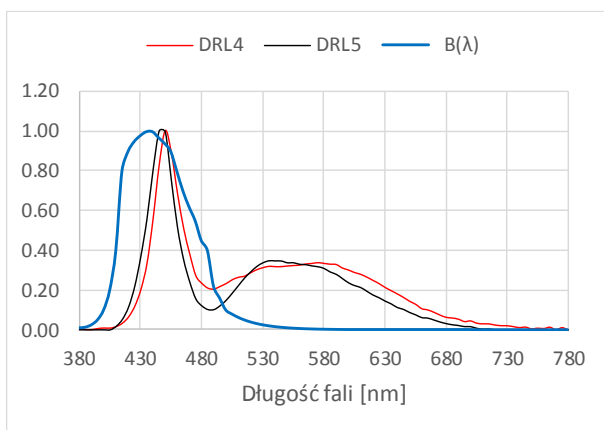
Badaniom poddane zostały cztery lampy robocze (R1...4) oraz pięć światel do jazdy dziennej (oznaczenia DRL1...5) różnych producentów, przeznaczonych do samodzielnego montażu w pojazdach, ze źródłami światła LED. Wszystkie urządzenia emitowały światło barwy zimno-białej, ich rozkłady widmowe względne zobrazowano na rysunkach od 3 do 5.



Rys. 3. Rozkłady widmowe względne lamp R1, R2, R3, R4



Rys. 4. Rozkłady widmowe względne lamp DRL1, DRL 2, DRL 3



Rys. 5. Rozkłady widmowe względne lamp DRL 4 i DRL5

2.2. Wyniki pomiarów i ocena ryzyka

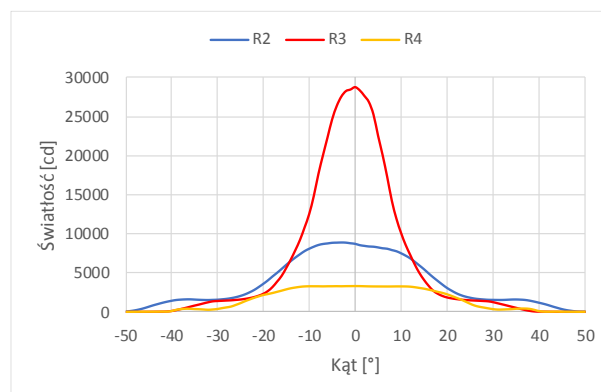
Temperaturę barwową najbliższą, współrzędne chromatyczności, luminancję świetlną i energetyczną światła niebieskiego oraz maksymalny czas ekspozycji i przydzieloną grupę ryzyka wg PN-EN 62471:2010 badanych układów świetlnych zestawiono w Tabeli 2. Dla lamp przydzielonych do grupy RG2 konieczne jest obliczenie minimalnej odległości w której nie powodują one zagrożenia światłem niebieskim. Odległość ta zależy od rozsyłu światłości danego urządzenia (kierunku i wartości światłości maksymalnej) i skuteczności zagrożenia światłem niebieskim przez promieniowanie optyczne $K_{B,V}$. Progowe natężenie oświetlenia wylicza się z zależności (3) przyjmując za E_B wartość graniczną równą 1 W/m^2 . Odległość graniczną oblicza się z prawa odwrotności kwadratu odległości podstawiając światłość maksymalną urządzenia świetlnego i obliczone natężenie oświetlenia progowe:

$$d_{thr} = \sqrt{\frac{I_{max}}{E_{thr}}} \quad (4)$$

Obliczone natężenia i odległości progowe, maksymalne światłości i strumienie świetlne zawarto w Tabeli 3. W celu końcowej analizy na rysunku 6 zobrazowano rozsyły światłości badanych lamp.

Tab. 3. Odległości graniczne urządzeń świetlnych przydzielonych do grupy umiarkowanego ryzyka

Oznaczenie	Strumień świetlny [lm]	Światłość maksymalna [cd]	Progowe natężenie oświetlenia [lx]	Odległość graniczna [m]
R2	4800	8720	1330	2,56
R3	4600	28700	1330	4,64
R4	1900	3300	1290	1,60



Rys. 6. Wykresy światłości lamp R2, R3 i R4

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Badane układy świetlny przydzielono do grup niskiego i umiarkowanego ryzyka. Zarówno światła do jazdy dziennej i lampy robocze z wyjątkiem oprawy o oznaczeniu R1 cechowały się nieoświetlonymi źródłami światła LED. W oparciu o dane z Tabeli 2 można wysunąć wniosek, że decydującym czynnikiem mającym wpływ na wartości luminancji energetycznej światła niebieskiego przez diody emitujące światło białe jest luminancja świetlna źródła światła. Wszystkie urządzenia świetlne przydzielone do grupy umiarkowanego ryzyka posiadały luminancje większą niż 107 cd/m^2 . Lampy o oznaczeniach R2 i R3 mają zbliżone strumienie świetlne (Tabela 2), jednak odległości graniczne między nimi znacznie się różnią ze względu na inne rozsyły światłości. Urządzenie R3 świeci w węższym przedziale kątów niż R2 – Rysunek 6.

Skuteczność zagrożenia światłem niebieskim przez promieniowanie optyczne $K_{B,V}$ rośnie wraz z temperaturą barwową najbliższą, co można zauważyć w Tabeli 2. Źródła światła emitujące światło barwy zimno-białej stwarzają większe zagrożenie niż źródła o tej samej luminancji elementów świetlnych promieniujące światło ciepło-białe. Potencjalne sytuacje w których możliwe jest uszkodzenie siatkówki oka mogą zaistnieć podczas wykonywanych czynności w nocy (np. rozładunku towarów) z oświetleniem miejsc pracy i ich otoczenia przez lampy robocze LED. Przyczynić się do nich mogą długie ekspozycje na wysokoenergetyczne światło niebieskie emitowane przez urządzenia świetlne umieszczone w małej odległości od obserwatora.

Obecnie w motoryzacji chętnie stosuje się przednie światła mijania i drogowe LED barwy zimno-białej, ze źródłami LED o luminancji nawet ponad 108 cd/m^2 . Takie układy świetlny powodują większe zagrożenie siatkówki oka światłem niebieskim w małej odległości niż dotychczas stosowane światła i lampy z żarówkami halogenowymi. Przypadkowe zjawiska oślnienia pieszych lub kierowców przez samochody jadące z przeciwnej strony z włączonymi światłami drogowymi lub też z nieprawidłowo ustawionymi przednimi

Tab. 2. Wyniki badań i przydzielona grupa ryzyka

Typ urządzenia	Oznaczenie	Temperatura barwowa najbliższa [K]	Współrzędne chromatyczności		Odległość pomiarowa [mm]	Średnica pola pomiarowego [mm]	$K_{B,V}$	L [cd/m^2]	L_B [$\text{W/m}^2/\text{sr}$]	t_{max} [s]	Grupa ryzyka wg [2]
			x	y							
Lampy robocze	R1	5520	0,335	0,351	200	2,2	$7,31 \times 10^{-4}$	$4,46 \times 10^5$	326	3068	RG1
	R2	5700	0,329	0,337			$7,51 \times 10^{-4}$	$1,37 \times 10^7$	10290	97	RG2
	R3	5700	0,329	0,337			$7,51 \times 10^{-4}$	$1,37 \times 10^7$	10290	97	RG2
	R4	6000	0,324	0,344			$7,76 \times 10^{-4}$	$2,20 \times 10^7$	17062	59	RG2
Światła do jazdy dziennej	DRL1	6460	0,308	0,303	200	2,2	$9,25 \times 10^{-4}$	$2,15 \times 10^6$	1976	506	RG1
	DRL2	8570	0,290	0,290			$1,11 \times 10^{-3}$	$1,79 \times 10^6$	1996	501	RG1
	DRL3	18000	0,259	0,259			$1,40 \times 10^{-3}$	$7,83 \times 10^5$	1096	913	RG1
	DRL4	7600	0,297	0,292			$1,18 \times 10^{-3}$	$1,66 \times 10^6$	1962	510	RG1
	DRL5	8700	0,289	0,302			$1,35 \times 10^{-3}$	$1,92 \times 10^6$	2588	386	RG1

światłami mijania powodują krótkotrwałe efekty zmniejszenie zdolności do rozpoznawania przedmiotów i szczegółów otoczenia. Jest to szczególnie niebezpieczne podczas nocnych podróży samochodem – nawet krótkotrwała utrata pełnych możliwości poznawczych może być przyczyną wypadku lub kolizji. Niewątpliwie ciekawym tematem badań może być określenie czasu potrzebnego do odzyskania pełnej sprawności po olśnieniu w zależności od rozkładu widmowego względnego światła oślepiającego.

BIBLIOGRAFIA

1. Caramelo Gomes C., Preto S., "Blue Light: A blessing or a course", 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, ELSEVIER 2015
2. Naskręcki R., Grzonka M., „Blue Light Hazard, czyli czy i jak chronić się przed nadmiarem światła niebieskiego”, Optyka-nauka 2016, nr 3.
3. PN-EN 62471: „Bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp i systemów lampowych”, październik 2010
4. Tosini, Gianluca; Ferguson, Ian; Tsubota, Kazuo (2016-01-24). "Effects of blue light on the circadian system and eye physiology". *Molecular Vision*. **22**: 61–72. ISSN 1090-0535. PMC 4734149. PMID 26900325.
5. Karpowicz J., Gryz K., Wolska A., Miądowicz W., Pawlak A., Zrodziński P., Wolski A., „Ocena zagrożeń związanych z emisjami elektromagnetycznymi przy eksploatacji nowo wprowadzanych urządzeń oświetleniowych”, Warszawa 2010
6. IEC TR 62778, „Application of IEC 62471 for the assessment of blue light hazard to light sources and luminaires”, Edition 2.0, 06.2014

Assessment of blue light retinal hazard of lamps and lights used in automotive

The article contains results of the research on the assessment of the blue light retinal hazard by lighting devices used in the automotive with LED light sources. The study was subject to daytime running lights and work lamps available on the market for self-assembly in vehicles. The study method was presented using a matrix luminance meter and spectroradiometer. The necessary photometric and radiometric tests were carried out. Assessment of blue light hazard according to the PN-EN 62471: 2010 was made. Obtained results were referred to maximum luminous intensity, chromaticity coordinates and correlated colour temperature of tested devices.

Autorzy:

mgr inż. **Marcin Legierski** – Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o., E-mail: Marcin.Legierski@bosmal.com.pl

mgr inż. **Piotr Michalek** – Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o., E-mail: Piotr.Michalek@bosmal.com.pl

JEL: L62 DOI: 10.24136/atest.2018.131

Data zgłoszenia: 2018.05.23 Data akceptacji: 2018.06.15