



Nowe kryteria oceny zagrożenia promieniowaniem widzialnym i podczerwonym¹

New assessment criteria for exposure to visible and infrared radiation

dr inż. JACEK M. KUBICA

<https://orcid.org/0000-0001-6636-7372>

e-mail: jakub@ciop.pl

dr hab. inż. AGNIESZKA WOLSKA, prof. CIOP-PIB

<https://orcid.org/0000-0003-3912-605X>

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Central Institute for Labour Protection – National Research Institute, Warsaw, Poland

Streszczenie

Stanowisko Międzynarodowej Komisji ds. Ochrony przed Promieniowaniem Niejonizującym (ICNIRP) w sprawie zmiany wartości maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (MDE) dla niespójnego promieniowania widzialnego i podczerwonego, opublikowane w 2013 roku, wprowadza szereg zmian w zakresie kryteriów oceny zagrożenia tym promieniowaniem w porównaniu z obecnie obowiązującymi przepisami, które nie uwzględniają tego stanowiska. W zależności od rodzaju zagrożenia zmiany te dotyczą krzywych skuteczności rozkładu widmowego natężenia napromienienia oraz sposobów wyznaczania wartości MDE dla różnych zakresów czasu ekspozycji i wymiarów kątowych źródła. Celem pracy jest analiza proponowanych zmian i wynikających z nich różnic w ocenie zagrożenia na stanowiskach pracy. Dodatkowo zaproponowano szereg modyfikacji w zakresie metod pomiaru promieniowania IR i VIS określonych w normie przedmiotowej PN-EN 14255-2:2010.

Słowa kluczowe: promieniowanie VIS i IR, pomiary promieniowania optycznego, ocena zagrożenia oczu, MDE.

Abstract

The position of the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) on the change of the maximum exposure limit values (EL) for incoherent visible and infrared radiation, published in 2013, introduces a number of changes to the criteria for assessing the risk of this radiation in comparison to the current regulations which do not involve this position. Depending on the exposure type, these changes concern the weighting functions of the spectral distribution of irradiation intensity and the methods of determining the EL values for various ranges of exposure time and angular dimensions of the source. The aim of this study is to analyze the proposed changes and the resulting differences in the risk assessment at workplaces. Additionally, a number of modifications have been proposed in IR and VIS radiation measurement methods specified in the relevant standard PN-EN 14255-2:2010.

Keywords: VIS and IR radiation, optical radiation measurements, eye hazard assessment, EL.

¹ Opracowano i wydano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny i Polityki Społecznej. Zadanie nr 1.SP.06 pt. „Ustalenie nowych wartości maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (MDE) na promieniowanie widzialne i podczerwone”.

Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

WPROWADZENIE

Niespójne promieniowanie optyczne pochodzące ze źródeł termicznych lub luminescencyjnych jest wykorzystywane w różnych procesach technologicznych w przemyśle, medycynie, kosmetyce lub pracach badawczych. Pojawia się również jako produkt uboczny takich procesów technologicznych jak spawanie czy gorące procesy w hutnictwie. Promieniowanie to może powodować szkodliwe skutki dla zdrowia człowieka i w związku z tym zalicza się je do czynników szkodliwych w środowisku pracy. Kryteria oceny zagrożenia niespójnym promieniowaniem optycznym oraz maksymalne dopuszczalne ekspozycje (MDE) na to promieniowanie określają dwa rozporządzenia: rozporządzenie MRPiPS w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne (Rozporządzenie... 2010) oraz rozporządzenie MRPiPS w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Rozporządzenie... 2018). Rozporządzenia te transponują do prawa polskiego wymagania dyrektywy 2006/25/WE w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na ryzyko spowodowane czynnikami fizycznymi (sztucznym promieniowaniem optycznym), (Dyrektywa... 2006). Aneks I do tej dyrektywy zawiera kryteria i wartości graniczne ekspozycji na promieniowanie optyczne, opracowane przez Międzynarodową Komisję ds. Ochrony przed Promieniowaniem Niejonizującym (ICNIRP) i opublikowane w 1997 r. (ICNIRP 1997).

W 2013 r. komisja ICNIRP opublikowała nowe kryteria oceny i wartości maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (MDE) na niespójne promieniowanie optyczne w zakresie widzialnym (VIS) oraz podczerwonym (IR), (ICNIRP 2013). Nowe kryteria powstały na podstawie najnowszych wyników badań naukowych dotyczących skutków narażenia człowieka na to promieniowanie. Zawierają one szereg istotnych różnic w porównaniu z obecnie obowiązującymi kryteriami i wartościami MDE oraz są przedmiotem dyskusji w środowisku naukowym (Berlien i in. 2016; Sliney i in. 2005). W zależności od rodzaju zagrożenia różnice te dotyczą krzywych skuteczności rozkładu widmowego natężenia napromienienia oraz sposobów wyznaczania wartości MDE dla różnych czasów ekspozycji i wymiarów kątowych źródła.

W niniejszej pracy przedstawiono analizę proponowanych zmian i wynikających z nich różnic w ocenie zagrożenia niespójnym promieniowaniem optycznym na stanowiskach pracy. W szczególności zilustrowano zmiany krzywych skuteczności uszkodzenia termicznego siatkówki oka oraz soczewki i rogówki oka. Ponadto przedstawiono sposoby obliczania wartości MDE z zastosowaniem nowych granicznych wymiarów kątowych źródeł, które zgodnie z nowymi kryteriami mogą zależeć od czasu ekspozycji. Przedyskutowane zostały także niezbędne, wynikające z ww. zmian modyfikacje w metodach pomiarów opisanych w normie PN-EN 14255-2:2010.

NOWE WYTYCZNE ICNIRP

Porównując nowe wytyczne ICNIRP do obowiązujących, zastosowano ogólnie przyjęte oznaczenia wielkości radiometrycznych:

- α – wymiar kątowy źródła w [mrad],
- t – czas ekspozycji w [s],
- E – natężenie napromienienia w [W/m^2],
- H – napromienienie w [J/m^2],
- L – radiancja (luminancja energetyczna) w [$W/(m^2sr)$],
- D – dawka promieniowania w [$J/(m^2sr)$].

Zagrożenie fotochemiczne siatkówki oka (300–700 nm)

Porównanie wartości MDE w zakresie zagrożenia fotochemicznego siatkówki oka według dyrektywy 2006/25/WE oraz ICNIRP 2013 zaprezentowano w tabeli 1. Ważną proponowaną przez ICNIRP zmianą jest wprowadzenie nowej definicji małych źródeł promieniowania. Zaproponowano kryterium $\alpha < \gamma_{ph}$, gdzie γ_{ph} jest kątem akceptacji

oka zależnym od całkowitego czasu ekspozycji t (ICNIRP 2013). Zależność od czasu kąta granicznego definiującego małe źródła zilustrowano na rycinie 1. Dla czasu ekspozycji powyżej 100 s wartość kąta granicznego wzrasta do 110 mrad przy czasie ekspozycji 10 000 s. Obecnie małe źródła zdefiniowane są poprzez jednolite kryterium $\alpha < 11$ mrad dla całego zakresu czasu ekspozycji.

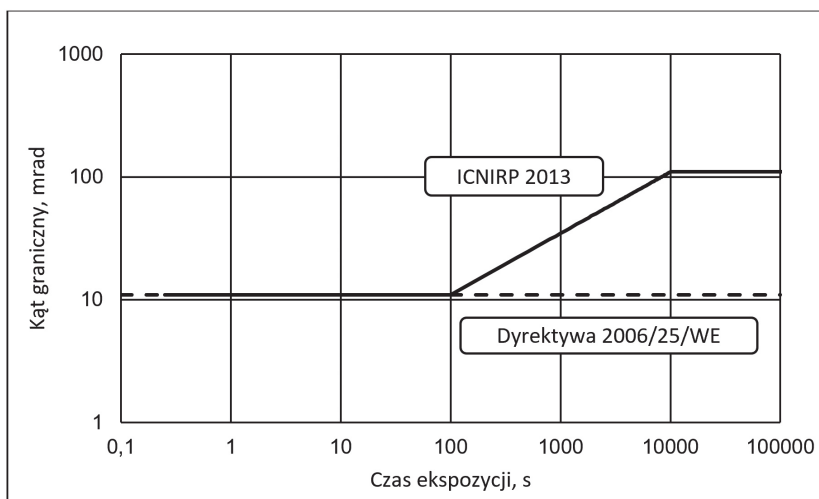
W kryteriach ICNIRP 2013 nie zdefiniowano wartości MDE dla czasu $t < 0,25$ s, czyli poniżej czasu odpowiadającego odruchowi awersyjnemu

oka. W przypadku małych źródeł nie zdefiniowano wartości MDE dla długich czasów ekspozycji, tj. dla $t > 30\ 000$ s (około 8,3 h), natomiast dla czasów z zakresu $100\text{ s} < t < 30\ 000\text{ s}$ zaproponowano stałą wartość MDE, którą jest skuteczne natężenie napromienienia $E_B = 1\text{ W/m}^2$. Rozkład widmowy skuteczności fotochemicznego uszkodzenia siatkówki oka światłem niebieskim $B(\lambda)$ wymagany w procedurze obliczania wartości skutecznej odpowiednich parametrów napromienienia, według nowych kryteriów ICNIRP nie ulega zmianie.

Tabela 1. Zestawienie wartości MDE w zakresie zagrożenia fotochemicznego siatkówki oka opracowane na podstawie dyrektywy 2006/25/WE i ICNIRP 2013

Table 1. Summary of EL values for photochemical hazard of the retina developed on the basis of Directive 2006/25/EC and ICNIRP 2013

Czas ekspozycji	Wartość MDE	
	dyrektywa 2006/25/WE	ICNIRP 2013
$t \geq 30\ 000\text{ s}$	$E_B = 0,01$ $L_B = 100$ dla $\alpha < 11$ mrad dla $\alpha \geq 11$ mrad	nie zdefiniowano dla $\alpha < \gamma_{ph} = 110$ mrad
$10\ 000\text{ s} < t < 30\ 000\text{ s}$		$L_B = 100$ dla $\alpha \geq \gamma_{ph} = 110$ mrad
$100\text{ s} \leq t \leq 10\ 000\text{ s}$	$E_B = 100/t$ $L_B = 10^6/t$ dla $\alpha < 11$ mrad dla $\alpha \geq 11$ mrad	$E_B = 1$ $D_B = 10^6$ dla $\alpha < \gamma_{ph} = 1,1t^{0,5}$ mrad dla $\alpha \geq \gamma_{ph} = 1,1t^{0,5}$ mrad
$0,25\text{ s} \leq t < 100\text{ s}$		$H_B = 100$ $D_B = 10^6$ dla $\alpha < \gamma_{ph} = 11$ mrad dla $\alpha \geq \gamma_{ph} = 11$ mrad
$t < 0,25\text{ s}$		nie zdefiniowano dla $t < 0,25\text{ s}$



Rycina 1. Zależność kąta granicznego od czasu ekspozycji dla zagrożenia fotochemicznego siatkówki oka na podstawie dyrektywy 2006/25/WE oraz ICNIRP 2013

Figure 1. Dependence of the critical angle on the exposure time for the photochemical hazard of the retina according to Directive 2006/25/EC and ICNIRP 2013

Zagrożenie termiczne siatkówki oka przy silnym bodźcu świetlnym (380–1400 nm)

Porównanie wartości MDE w zakresie zagrożenia termicznego siatkówki oka przy silnym bodźcu świetlnym (tzn. o luminancji co najmniej $10\,000\text{ cd/m}^2$) zgodnych z wytycznymi dyrektywy 2006/25/WE oraz ICNIRP 2013 zaprezentowano w tabeli 2. Wprowadzone zostało nowe kryterium dla minimalnego wymiaru kąтового źródła $\alpha_{\min} = 1,5$ mrad wobec $\alpha_{\min} = 1,7$ mrad obowiązującego obecnie. Z kolei duże źródła w nowych wytycznych ICNIRP zdefiniowano za pomocą kryterium α_{\max} zależnego od czasu ekspozycji. Według aktualnych wymagań minimalny wymiar kątowy dla dużych źródeł jest stały i wynosi $\alpha_{\max} = 100$ mrad. Zależność obecnych i proponowanych kątów granicznych od czasu ekspozycji zilustrowano na rycinie 2. Zgodnie z nowymi zaleceniami wartości MDE ulegają zmniejszeniu lub zwiększeniu w stosunku do obecnych w zależności od czasu ekspozycji, co przedstawiono na rycinie 3 dla wymiarów kątowych źródła $\alpha = 1,5$ mrad i $\alpha = 110$ mrad.

Rozkład widmowej skuteczności uszkodzeń termicznych siatkówki oka $R(\lambda)$ został zmodyfikowany w zakresie długości fali 380–500 nm. Wartości współczynników ważenia krzywej $R(\lambda)$ porównano w tabeli 3 i zilustrowano na rycinie 4. Jak wynika z przedstawionych danych, wartości te zostały znacząco obniżone, co oznacza zmniejszenie restrykcyjności oceny zagrożenia w tym zakresie. Zmiana ta wynika z nowszych badań naukowych, których wyniki potwierdziły, że normalizacja funkcji $R(\lambda)$ do wartości 10 poniżej 500 nm prowadzi do przeszacowania odpowiednich progów (Lund i in. 2006). W konsekwencji zaproponowano jej normalizację do wartości 1,0 w zakresie długości fali od 445 nm do 495 nm oraz pomnożenie dotychczasowej funkcji $R(\lambda)$ przez 0,1 w zakresie od 385 nm do 440 nm.

Tabela 2. Zestawienie wartości MDE w zakresie zagrożenia termicznego siatkówki oka przy silnym bodźcu świetlnym opracowane na podstawie dyrektywy 2006/25/WE i ICNIRP 2013

Table 2. Summary of EL values for thermal hazard of the retina with a strong visual stimulus developed on the basis of Directive 2006/25/EC and ICNIRP 2013

Czas ekspozycji	Wartość MDE	
	dyrektywa 2006/25/WE	ICNIRP 2013
$t > 10\text{ s}$	$L_R = 2,8 \cdot 10^7 / 1,7$ dla $\alpha < 1,7$ mrad $L_R = 2,8 \cdot 10^7 / \alpha$ dla $1,7 \leq \alpha \leq 100$ mrad $L_R = 2,8 \cdot 10^7 / 100$ dla $\alpha > 100$ mrad	$L_R = 1,9 \cdot 10^7$ dla $\alpha \leq 1,5$ mrad $L_R = 2,8 \cdot 10^7 / \alpha$ dla $1,5 \leq \alpha \leq 100$ mrad $L_R = 2,8 \cdot 10^7 / 100$ dla $\alpha \geq 100$ mrad
$0,25\text{ s} \leq t \leq 10\text{ s}$	$L_R = 5 \cdot 10^7 / 1,7 t^{0,25}$ dla $\alpha < 1,7$ $L_R = 5 \cdot 10^7 / \alpha t^{0,25}$ dla $1,7 \leq \alpha \leq 100$ mrad $L_R = 5 \cdot 10^7 / 100 t^{0,25}$ dla $\alpha > 100$ mrad	$L_R = 1,3 \cdot 10^7 / t^{0,25}$ dla $\alpha \leq 1,5$ mrad $L_R = 2,0 \cdot 10^7 / \alpha t^{0,25}$ dla $1,5 \leq \alpha \leq 200 t^{0,5}$ mrad $D_R = 10 \cdot 10^4 t^{0,25}$ dla $\alpha \geq 200 t^{0,5}$ mrad
$625\ \mu\text{s} \leq t < 0,25\text{ s}$		$L_R = 1,3 \cdot 10^7 / t^{0,25}$ dla $\alpha \leq 1,5$ mrad $L_R = 2,0 \cdot 10^7 / \alpha t^{0,25}$ dla $1,5 \leq \alpha \leq 5$ mrad $D_R = 4,0 \cdot 10^6 t^{0,75}$ dla $\alpha \geq 5$ mrad
$10\ \mu\text{s} \leq t < 625\ \mu\text{s}$		
$1\ \mu\text{s} \leq t < 10\ \mu\text{s}$	$L_R = 8,89 \cdot 10^8 / 1,7$ dla $\alpha < 1,7$ mrad $L_R = 8,89 \cdot 10^8 / \alpha$ dla $1,7 \leq \alpha \leq 100$ mrad $L_R = 8,89 \cdot 10^8 / 100$ dla $\alpha > 100$ mrad	$D_R = 420$ dla $\alpha \leq 1,5$ mrad $D_R = 0,63 \cdot 10^3 / \alpha$ dla $1,5 \leq \alpha \leq 5$ mrad $D_R = 130$ dla $\alpha \geq 5$ mrad
$t < 1\ \mu\text{s}$		

Tabela 3. Porównanie wartości $R(\lambda)$ zgodnych z wymaganiami dyrektywy 2006/25/WE i ICNIRP 2013

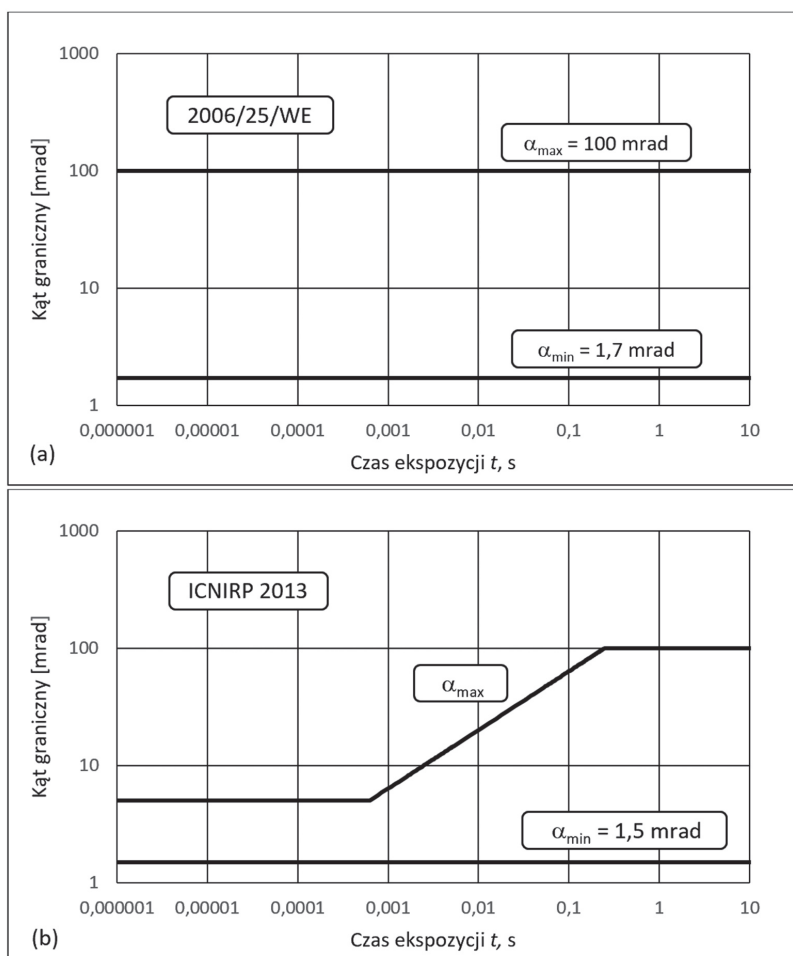
Table 3. Comparison of $R(\lambda)$ values according to the requirements of Directive 2006/25/EC and ICNIRP 2013

Długość fali λ [nm]	Wartość $R(\lambda)$ [W/m ² nm]	
	dyrektywa 2006/25/WE	ICNIRP 2013
380	0,1	0,01
385	0,13	0,013
390	0,25	0,025
395	0,5	0,05
400	1,0	0,1
405	2,0	0,2
410	4,0	0,4
415	8,0	0,8
420	9,0	0,9
425	9,5	0,95
430	9,8	0,98
435	10,0	1,0
440	10,0	1,0
445	9,7	1,0
450	9,4	1,0
455	9,0	1,0
460	8,0	1,0
465	7,0	1,0
470	6,2	1,0
475	5,5	1,0
480	4,5	1,0
485	4,0	1,0
490	2,2	1,0
495	1,6	1,0
500–595	1,0	1,0
700–1050	$10^{(700-\lambda)/500}$	$10^{(700-\lambda)/500}$
1050–1150	0,2	0,2
1150–1200	$0,2 \cdot 10^{0,02(1150-\lambda)}$	$0,2 \cdot 10^{0,02(1150-\lambda)}$
1200–1400	0,02	0,02

Tabela 4. Zestawienie wartości MDE w zakresie zagrożenia termicznego siatkówki oka przy słabym bodźcu świetlnym opracowane na podstawie dyrektywy 2006/25/WE i ICNIRP 2013

Table 4. Summary of EL values for thermal hazard of the retina with a weak visual stimulus developed on the basis of Directive 2006/25/EC and ICNIRP 2013

Czas ekspozycji	Wartość MDE	
	dyrektywa 2006/25/WE	ICNIRP 2013
$t \geq 100$ s	$L_R = 6 \cdot 10^6/11$	$L_R = 6300 \cdot 10^3/\alpha$
$10 < t < 100$ s	$L_R = 6 \cdot 10^6/\alpha$ $L_R = 6 \cdot 10^6/100$	
$0,25 < t \leq 10$ s	$L_R = 5 \cdot 10^7/11t^{0,25}$	nie zdefiniowano dla $t \leq 0,25$ s
$625 \mu s \leq t \leq 0,25$ s	$L_R = 5 \cdot 10^7/\alpha t^{0,25}$	
$10 \mu s \leq t < 625 \mu s$	$L_R = 5 \cdot 10^7/100t^{0,25}$	
$1 \mu s \leq t < 10 \mu s$	$L_R = 8,89 \cdot 10^8/11$	
$t < 1 \mu s$	$L_R = 8,89 \cdot 10^8/\alpha$ $L_R = 8,89 \cdot 10^8/100$	



Rycina 2. Zależność kątów granicznych od czasu ekspozycji dla zagrożenia termicznego siatkówki oka przy silnym bodźcu świetlnym na podstawie a) dyrektywy 2006/25/WE, b) ICNIRP 2013

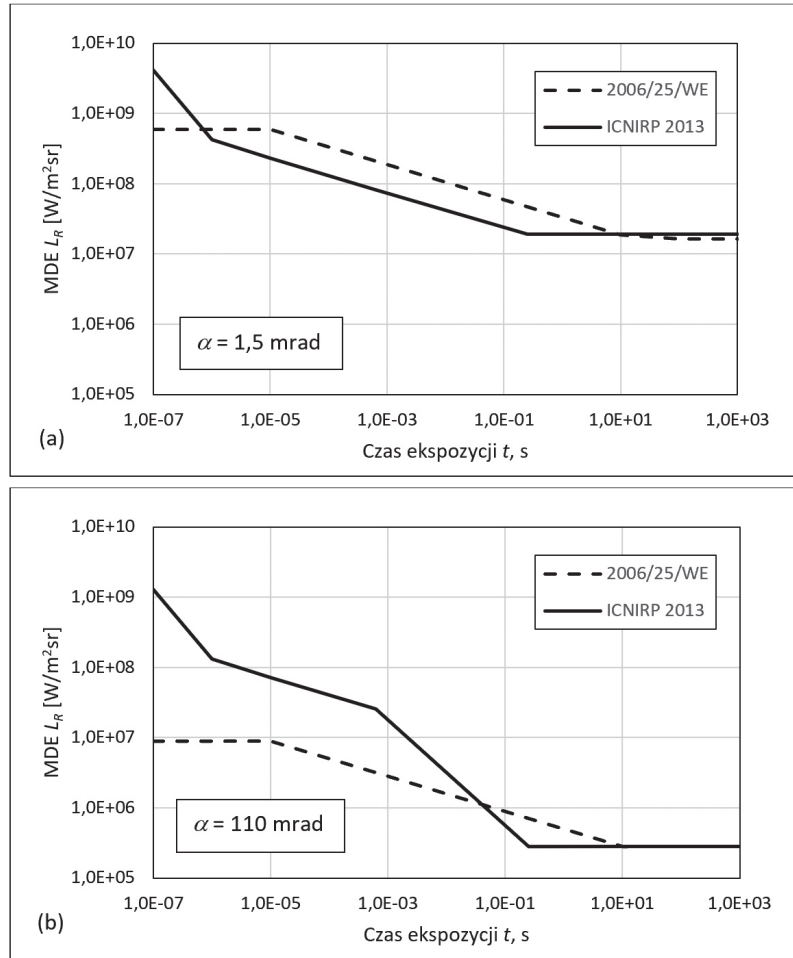
Figure 2. Dependence of critical angles on exposure time for thermal hazard of the retina with a strong visual stimulus according to (a) Directive 2006/25/EC, (b) ICNIRP 2013

Zagrożenie termiczne siatkówki oka przy słabym bodźcu świetlnym (780–1400 nm)

Porównanie wartości MDE w zakresie zagrożenia termicznego siatkówki oka przy słabym bodźcu świetlnym (tzn. o luminancji mniejszej od 10 000 cd/m²) podanych w dyrektywie 2006/25/WE oraz ICNIRP 2013 zaprezentowano w tabeli 4. Podobnie jak dla zagrożenia fotochemicznego siatkówki oka, nie zdefiniowano wartości MDE dla czasów $t \leq 0,25$ s. Zrezygnowano także z podziału źródeł ze względu na ich wymiar

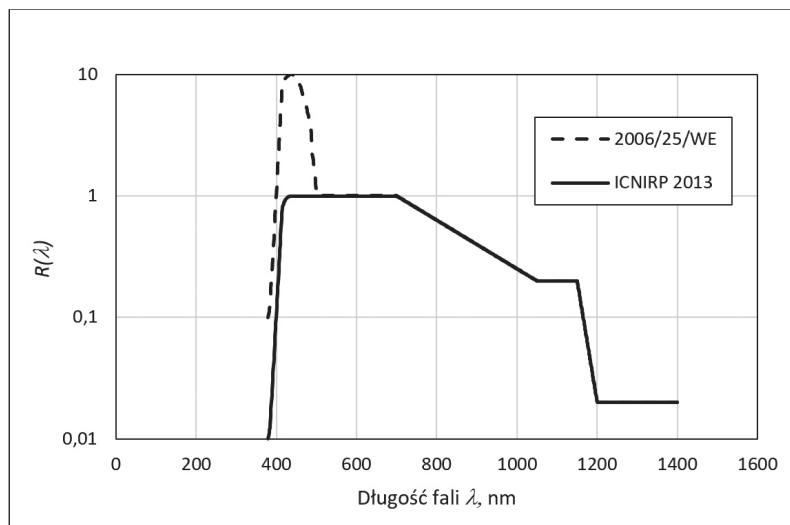
kątowy, ujednolicając wzory definiujące wartości MDE w poszczególnych zakresach czasu ekspozycji. Ważną obserwacją jest to, że o ile w zakresie $t < 10$ s wartość MDE ulega 2,5-krotnemu zmniejszeniu, to dla $t > 10$ s wartości MDE według nowych zaleceń są większe niż dotychczas. Zilustrowano to na rycinie 5 dla wymiaru kąтового źródła $\alpha = 11$ mrad.

Rozkład widmowej skuteczności uszkodzeń termicznych siatkówki oka $R(\lambda)$ nie ulega zmianie w zakresie powyżej 780 nm, co pokazano na rycinie 4 i w tabeli 3.



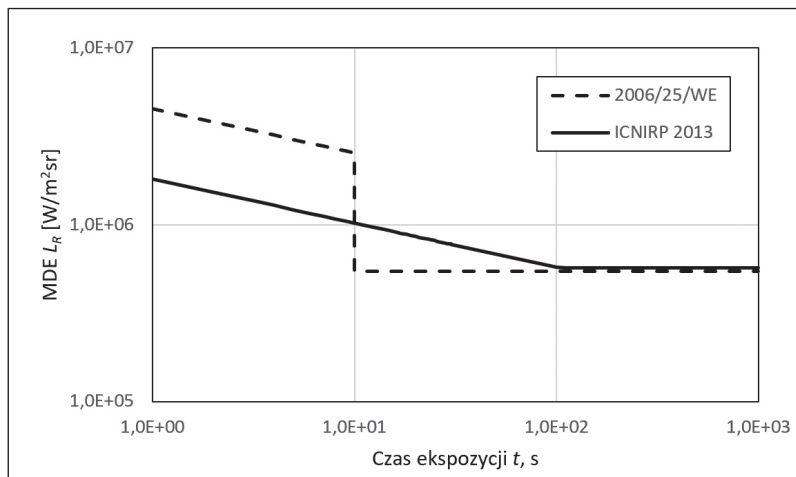
Rycina 3. Zależność wartości MDE od czasu ekspozycji dla zagrożenia termicznego siatkówki oka przy silnym bodźcu świetlnym dla wymiaru kąтового źródła a) $\alpha = 1,5$ mrad, b) $\alpha = 110$ mrad na podstawie dyrektywy 2006/25/WE oraz ICNIRP 2013

Figure 3. Dependence of EL values on exposure time for thermal hazard of the retina with a strong visual stimulus for the angular dimension of the source a) $\alpha = 1,5$ mrad, b) $\alpha = 110$ mrad according to Directive 2006/25/EC and ICNIRP 2013



Rycina 4. Krzywe skuteczności uszkodzeń termicznych siatkówki oka $R(\lambda)$ na podstawie dyrektywy 2006/25/WE oraz ICNIRP 2013

Figure 4. Efficiency curves of thermal damage of the retina $R(\lambda)$ according to Directive 2006/25/EC and ICNIRP 2013



Rycina 5. Wartości MDE w zakresie zagrożenia termicznego siatkówki oka przy słabym bodźcu świetlnym dla źródła o wymiarze kątowym $\alpha = 11$ mrad na podstawie dyrektywy 2006/25/WE i ICNIRP 2013

Figure 5. EL values in terms of thermal hazard of the retina with a weak visual stimulus for a source with an angular dimension of $\alpha = 11$ mrad according to Directive 2006/25/EC and ICNIRP 2013

Zagrożenie termiczne rogówki i soczewki oka (780–3000 nm)

W zakresie zagrożenia termicznego rogówki i soczewki oka nie proponuje się zmian wartości MDE, co pokazano w tabeli 5. Natomiast ważną zmianą jest wprowadzenie współczynnika wagowego wynoszącego 0,3 przy wyznaczaniu natężenia napromienienia w zakresie długości fali 780–1000 nm, zgodnie ze wzorem

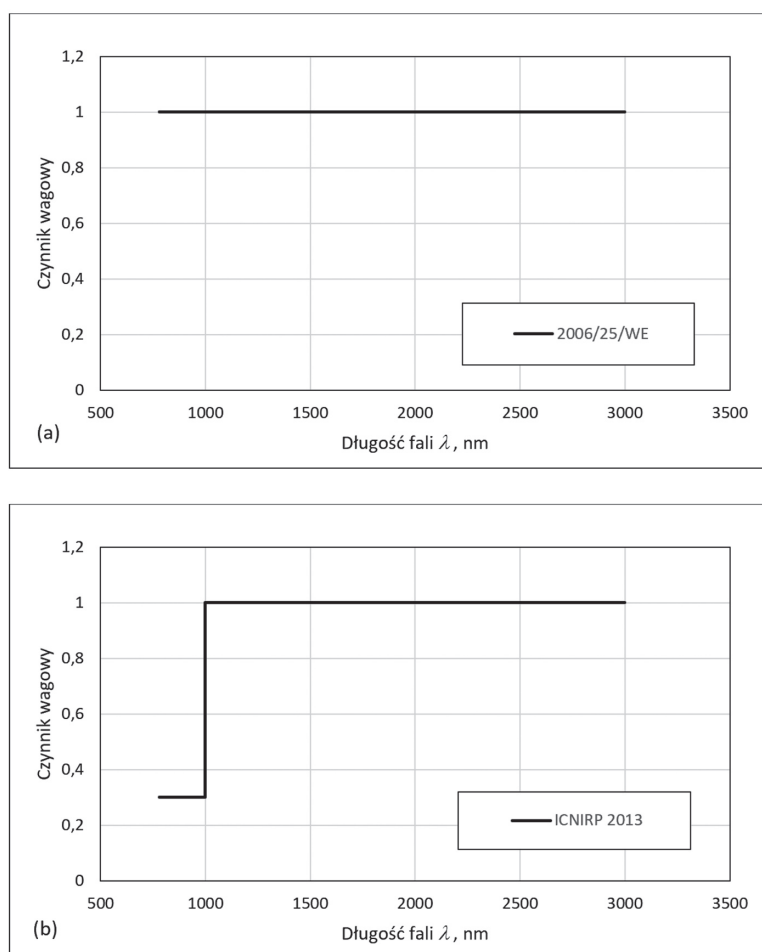
$$E_{IR} = \sum_{3000}^{1000} 0,3E_{IR}(\lambda)\Delta\lambda + \sum_{1000}^{3000} E_{IR}(\lambda)\Delta\lambda \quad (1)$$

gdzie $E_{IR}(\lambda)$ jest widmowym rozkładem skuteczności uszkodzenia termicznego rogówki i soczewki oka w $W/(m^2nm)$. Wykazano bowiem, że w zakresie długości fal od 780 nm do 1000 nm około 30% promieniowania padającego na rogówkę przenoszone jest przez tęczówkę, gdzie ulega rozproszeniu, a następnie zostaje wchłonięte przez siatkówkę. Przebieg wartości czynnika wagowego zilustrowano na rycinie 6. Oznacza on 3,3-krotne zmniejszenie restrykcyjności w ocenie zagrożenia w zakresie długości fali 780–1000 nm.

Tabela 5. Zestawienie wartości MDE w zakresie zagrożenia termicznego rogówki i soczewki oka opracowane na podstawie dyrektywy 2006/25/WE i ICNIRP 2013

Table 5. Summary of EL values for thermal hazard of the cornea and eye lens developed on the basis of Directive 2006/25/EC and ICNIRP 2013

Czas ekspozycji	Wartość MDE	
	dyrektywa 2006/25/WE	ICNIRP 2013
$t \geq 1\ 000\ s$	$E_{IR} = 100$	$E_{IR} = 100$
$t < 1\ 000\ s$	$E_{IR} = 18\ 000 t^{-0.75}$	$E_{IR} = 18\ 000 t^{-0.75}$



Rycina 6. Współczynniki wagowe do obliczeń skutecznego natężenia napromienienia E_{IR} na podstawie a) dyrektywy 2006/25/WE, b) ICNIRP 2013

Figure 6. Weighting factors for calculation of the effective irradiance E_{IR} according to (a) Directive 2006/25/EC, (b) ICNIRP 2013

Zagrożenie termiczne skóry (380–3000 nm)

W zakresie zagrożenia termicznego skóry proponuje się zmian wartości MDE, co pokazano w tabeli 6. Górny limit czasu ekspozycji nie uległ

zmianie i wynosi 10 s, co wynika z czasu odruchowej reakcji człowieka na pojawienie się bodźców termicznych.

Tabela 6. Zestawienie wartości MDE w zakresie zagrożenia termicznego skóry opracowane na podstawie dyrektywy 2006/25/WE i ICNIRP 2013

Table 6. Summary of EL values for skin developed on the basis of Directive 2006/25/EC and ICNIRP 2013

Czas ekspozycji	Wartość MDE	
	dyrektywa 2006/25/WE	ICNIRP 2013
$t \geq 10$ s	nie zdefiniowano	nie zdefiniowano
$t < 10$ s	$H_{skóra} = 20\,000t^{0.25}$	$H_{skóra} = 20\,000t^{0.25}$

MODYFIKACJA METOD POMIAROWYCH

Zmiany w wytycznych zaproponowane przez ICNIRP, a w szczególności zmiany wartości kątów granicznych, pociągają za sobą konieczność modyfikacji metod pomiarowych niespójnego promieniowania optycznego VIS i IR stosowanych przy ocenie zagrożenia tym promieniowaniem. Metody te są opisane w normie przedmiotowej PN-EN 14255-2:2010. Zmiany dotyczą zagrożenia fotochemicznego oraz termicznego siatkówki oka. W przypadku zagrożenia termicznego rogówki i soczewki oka (780–3000 nm) oraz zagrożenia termicznego skóry (380–3000 nm) norma PN-EN 14255-2:2010 nie wymaga zmian.

Zagrożenie fotochemiczne siatkówki oka (300–700 nm)

Norma PN-EN 14255-2:2010 precyzuje wymagany zakres kąta odbioru detektora γ w zależności od wymiaru kąтового źródła α . Dla zagrożenia fotochemicznego siatkówki oka, zapisanego w normie jako zagrożenie światłem niebieskim, wymagany kąt odbioru nie zależy od czasu ekspozycji. W zakresie $\alpha > 11$ mrad kąt odbioru musi spełniać warunki $11 \text{ mrad} \leq \gamma \leq 100 \text{ mrad}$ oraz $\gamma \leq \alpha$, dla $\alpha = 11 \text{ mrad}$, $\gamma = 11 \text{ mrad}$, natomiast dla $\alpha < 11 \text{ mrad}$ nie ma ograniczeń dla wartości γ . W związku

z wprowadzeniem nowego kryterium definiującego małe źródła przy użyciu kąta akceptacji oka γ_{ph} zależnego od czasu ekspozycji t konieczne są odpowiednie zmiany w wymaganiach odnoszących się do kąta odbioru detektora. Po przeanalizowaniu nowych kryteriów zaproponowano odpowiednie zmiany w normie, które zaprezentowano w tabeli 7.

Zagrożenie termiczne siatkówki oka przy silnym bodźcu świetlnym (380–1400 nm)

Wymagania odnoszące się do kąta odbioru detektora γ przy pomiarach związanych z zagrożeniem termicznym siatkówki oka przy silnym bodźcu świetlnym wymagają w normie PN-EN 14255-2:2010 zmian wynikających z nowych definicji kątów granicznych dla małych i dużych źródeł. W aktualnej normie wymagany kąt odbioru detektora $\gamma = 1,7$ mrad dla źródeł o wymiarach kątowych $\alpha \leq 1,7$ mrad, zaś dla $\alpha > 1,7$ mrad kąt odbioru określają kryteria $\gamma \leq \alpha$ i $1,7 \text{ mrad} \leq \gamma \leq 100 \text{ mrad}$. Według nowych wymagań zmienia się wartość kąta granicznego dla małych źródeł, a kąt graniczny dla dużych źródeł jest zależny od czasu. Wynikające z tego proponowane zmiany w normie dotyczące kąta odbioru detektora zaprezentowano w tabeli 8.

Tabela 7. Zestawienie aktualnych zapisów normy PN-EN 14255-2:2010 dla zakresu 300–700 nm oraz proponowanych zmian
Table 7. Summary of current records in standard PN-EN 14255-2:2010 for the range of 300–700 nm and proposed changes

Czas ekspozycji	Aktualny zapis w normie PN-EN 14255-2:2010	Proponowane zmiany w normie PN-EN 14255-2:2010	
$t \geq 30\,000 \text{ s}$	dla $\alpha < 11 \text{ mrad}$: pomiar E, H ; γ bez ograniczeń	dla $\alpha < \gamma_{ph}$: pomiar E, H ; γ bez ograniczeń	$\gamma_{ph} = 110 \text{ mrad}$
$10\,000 \text{ s} < t < 30\,000 \text{ s}$	dla $\alpha = 11 \text{ mrad}$: pomiar L, D ; $\gamma = 11 \text{ mrad}$	dla $\alpha = \gamma_{ph}$: pomiar L, D ; $\gamma = \gamma_{ph} = \alpha$	$\gamma_{ph} = 1,1t^{0,5} \text{ mrad}$
$100 \text{ s} \leq t \leq 10\,000 \text{ s}$	dla $\alpha > 11 \text{ mrad}$: pomiar L, D ; $\gamma \leq \alpha$	dla $\alpha > \gamma_{ph}$: pomiar L, D ; $\gamma \leq \gamma_{ph} < \alpha$	$\gamma_{ph} = 11 \text{ mrad}$
$0,25 \text{ s} \leq t < 100 \text{ s}$	dla $\alpha > 11 \text{ mrad}$: pomiar L, D ; $\gamma \leq \alpha$	brak dla $t < 0,25 \text{ s}$	
$t < 0,25 \text{ s}$	$11 \text{ mrad} \leq \gamma \leq 100 \text{ mrad}$		

Tabela 8. Zestawienie aktualnych zapisów normy PN-EN 14255-2:2010 dla zakresu 380–1400 nm oraz proponowanych zmian
Table 8. Summary of current records in standard PN-EN 14255-2:2010 for the range of 380–1400 nm and proposed changes

Czas ekspozycji	Aktualny zapis w normie PN-EN 14255-2:2010	Proponowane zmiany w normie PN-EN 14255-2:2010	
$t > 10$ s	dla $\alpha \leq 1,7$ mrad: pomiar L $\gamma = 1,7$ mrad dla $\alpha > 1,7$ mrad: pomiar L $\gamma \leq \alpha$ $1,7$ mrad $\leq \gamma \leq 100$ mrad		$\alpha_{max} = 100$ mrad
$0,25$ s $\leq t \leq 10$ s			
625 μ s $\leq t < 0,25$ s		dla $\alpha \leq 1,5$ mrad $\gamma = 1,5$ mrad	$\alpha_{max} = 200 t^{0,5}$ mrad
10 μ s $\leq t < 625$ μ s		dla $\alpha > 1,5$ mrad: $\gamma \leq \alpha$ $1,5$ mrad $\leq \gamma \leq \alpha_{max}$	$\alpha_{max} = 5$ mrad
1 μ s $\leq t < 10$ μ s			
$t < 1$ μ s			

Zagrożenie termiczne siatkówki oka przy słabym bodźcu świetlnym (780–1400 nm)

Wobec ujednolicenia wartości MDE dla zagrożenia termicznego siatkówki oka przy słabym bodźcu świetlnym względem wymiarów kątowych

źródeł kryteria dotyczące kąta odbioru detektora nie wymagają zmian w normie PN-EN 14255-2:2010. Brak wartości MDE w nowych zaleceniach ICNIRP dla czasu $t \leq 0,25$ s wymaga jednak wprowadzenia analogicznego ograniczenia w odpowiednich zapisach normy (tab. 9).

Tabela 9. Zestawienie aktualnych zapisów normy PN-EN 14255-2:2010 dla zakresu 780–1400 nm oraz proponowanych zmian
Table 9. Summary of current records in standard PN-EN 14255-2:2010 for the range of 780–1400 nm and proposed changes

Czas ekspozycji	Aktualny zapis w normie PN-EN 14255-2:2010	Proponowane zmiany w normie PN-EN 14255-2:2010	
$t \geq 100$ s	dla $\alpha < 11$ mrad: pomiar L $\gamma = 11$ mrad dla $\alpha \geq 11$ mrad: pomiar L $\gamma \leq \alpha$ 11 mrad $\leq \gamma \leq 100$ mrad	bez zmian	
$10 < t < 100$ s			
$0,25 < t \leq 10$ s		brak dla $t \leq 0,25$ s	
625 μ s $\leq t \leq 0,25$ s			
10 μ s $\leq t < 625$ μ s			
1 μ s $\leq t < 10$ μ s			
$t < 1$ μ s			

PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono analizę kryteriów oceny zagrożenia niespójnym promieniowaniem optycznym w zakresie widzialnym i podczerwonym zaproponowanych przez ICNIRP w 2013 r. Porównano z aktualnie obowiązującymi zaproponowane sposoby wyznaczania MDE oraz krzywe skuteczności uszkodzeń oka. Wskazano zakres zmian, jakie należy wprowadzić w normie przedmiotowej PN-EN 14255-2:2010 w celu uwzględnienia stanowiska ICNIRP, wynikający z modyfikacji zakresów wymiarów kątowych źródeł.

Zastosowanie kryteriów oceny zagrożenia wynikających ze stanowiska ICNIRP pociąga za sobą konieczność adaptacji stosowanej dotychczas aparatury pomiarowej poprzez adekwatną modyfikację apertury układów optycznych lub dopasowanie metod obliczeniowych. Zmiana krzywej

skuteczności termicznych uszkodzeń siatkówki oka oznaczać będzie wprowadzenie odpowiednich zmian w konfiguracji urządzeń pomiarowych, takich jak filtry i pliki konfiguracyjne w przypadku radiometrów czy oprogramowanie w przypadku urządzeń spektrometrycznych.

Ważną konsekwencją zaproponowanych zmian byłoby obniżenie restrykcyjności kryteriów oceny zagrożenia w wielu zakresach spektralnych, jednak dla wybranych zakresów czasu ekspozycji wartości MDE mogą ulec zmniejszeniu, a tym samym są bardziej restrykcyjne. Analiza porównawcza wyników oceny zagrożenia dla wybranych źródeł promieniowania według omawianych w niniejszej publikacji dokumentów zostanie przedstawiona w osobnym artykule.

PIŚMIENNICTWO

Berlien H.-P., Brose M., Franek J. (2016). Statement on ICNIRP guidelines on limits of exposure to incoherent optical radiation. 1. ed. Dortmund, BAuA.

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) (dziętnasta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 Dyrektywy 89/391/EWG). Dz. Urz. UE L 114 z 27.04.2006, s. 38.

ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (1997). ICNIRP guidelines on limits of exposure to broad-band incoherent optical radiation (0.38 to 3 mm). Health Phys. 77(3), 539–554.

ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (2013). ICNIRP guidelines on limits of exposure to incoherent visible and infrared radiation. Health Phys. 105, 74–96.

Lund D.J., Stuck B.E., Edsall P. (2006). Retinal injury thresholds for blue wavelength lasers. Health Phys. 90, 477–484.

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.

Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27 maja 2010 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne. DzU 2010, nr 100, poz. 643. Tekst jedn.: Obwieszczenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 26 lipca 2013 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne. DzU 2013, poz. 1619.

Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU 2018, poz. 1286.

Slaney D., Aron-Rosa D., DeLori F. i in. (2005). Adjustment of guidelines for exposure of the eye to optical radiation from ocular instruments: statement from a task group of the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Appl. Opt. 44, 2162–2176.

Adres do korespondencji/Contact details:

dr inż. JACEK M. KUBICA
e-mail: jakub@ciop.pl
Centralny Instytut Ochrony Pracy –
Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa
POLAND