

# Kryteria oceny zagrożenia niespójnym promieniowaniem widzialnym i podczerwonym według nowych wymagań ICNIRP (2013)

Materiały informacyjne dla laboratoriów wykonujących pomiary niespójnego promieniowania VIS i IR dla potrzeb oceny zagrożenia tym promieniowaniem

Warszawa 9 grudnia 2022

# Stan prawny dotyczący oceny zagrożenia promieniowaniem VIS i IR

- **Dyrektywa 2006/25/WE** w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na ryzyko spowodowane czynnikami fizycznymi (sztucznym promieniowaniem optycznym)

W Polsce ww. Dyrektywę wdrażają dwa główne rozporządzenia:

- **Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dn. 27.05.2010** w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne. **Dz.U. 2010 nr 100 poz. 643**. Tekst jednolity 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. Dz.U. 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. **Dz.U. 2018 poz. 1286**.

## *Nowe zalecenia ICNIRP 2013*

Nowe stanowisko Międzynarodowej Komisji ds. Ochrony przed Promieniowaniem Niejonizującym (ICNIRP) w sprawie zmiany wartości maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (MDE) dla niespójnego promieniowania optycznego VIS i IR opublikowano w „ICNIRP Guidelines on limits of exposure to incoherent visible and infrared radiation”, Health Physics 105(1): 74-96, 2013

Nowe zalecenia ICNIRP powstały na podstawie najnowszych wyników badań naukowych dotyczących skutków narażenia człowieka na to promieniowanie

# Wielkości radiometryczne

Natężenie napromienienia:  $E$  [ $W \cdot m^{-2}$ ]

Napromienienie:  $H = \int E(t) dt$  [ $J \cdot m^{-2}$ ]

Radiancja:  $L$  [ $W \cdot m^{-2} sr^{-1}$ ]

Dawka radiancji:  $D = \int L(t) dt$  [ $J \cdot m^{-2} sr^{-1}$ ]

Skuteczne natężenie napromienienia

$$E_F = \int E_\lambda(\lambda) F(\lambda) d\lambda \quad [W \cdot m^{-2}]$$

$$E = L \cdot \Omega$$

$\Omega = (\pi/4) \gamma^2$  – pole widzenia detektora (FOV) [sr]

Skuteczna radiancja

$$L_F = \int L_\lambda(\lambda) F(\lambda) d\lambda \quad [W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$$

$\gamma$  – kąt odbioru oka/detektora [rad]

$F(\lambda) = B(\lambda)$  – funkcja skuteczności widmowej uszkodzeń fotochemicznych siatkówki oka

$F(\lambda) = R(\lambda)$  – funkcja skuteczności widmowej uszkodzeń termicznych siatkówki oka

# Porównanie wymagań Dyrektywy 2006/25/WE i ICNIRP 2013

Zagrożenie fotochemiczne siatkówki oka 300 - 700 nm

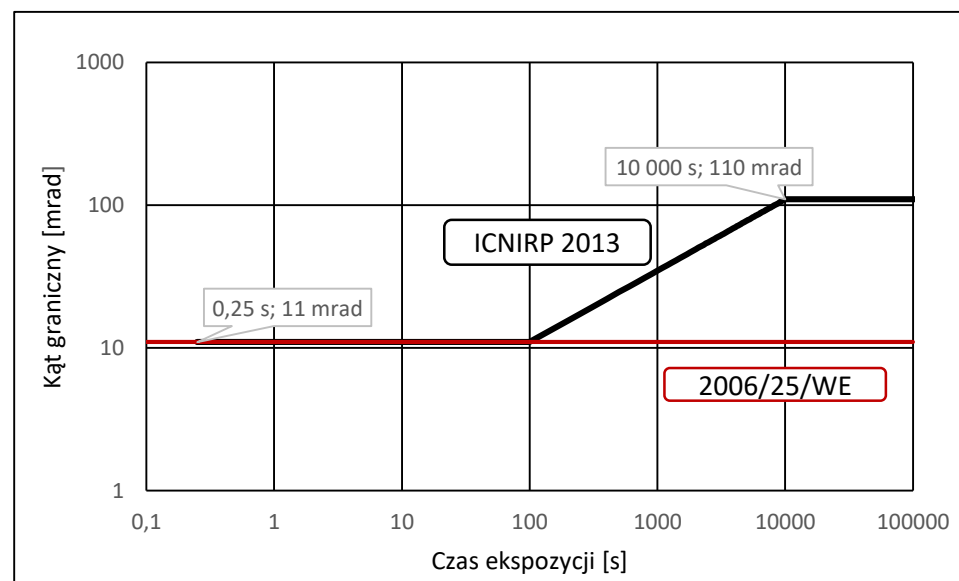
Czas ekspozycji	MDE 2006/25/WE	MDE ICNIRP 2013
$t \geq 30\,000\text{ s}$	$E_B = 0.01$ dla $\alpha < 11\text{ mrad}$ $L_B = 100$ dla $\alpha \geq 11\text{ mrad}$	Nie zdefiniowano dla $\alpha < \gamma_{ph} = 110\text{ mrad}$
$10\,000 < t < 30\,000\text{ s}$		$L_B = 100$ dla $\alpha \geq \gamma_{ph} = 110\text{ mrad}$
$100 \leq t \leq 10\,000\text{ s}$	$E_B = 100/t$ dla $\alpha < 11\text{ mrad}$ $L_B = 10^6/t$ dla $\alpha \geq 11\text{ mrad}$	$E_B = 1$ dla $\alpha < \gamma_{ph} = 110\text{ mrad}$ $L_B = 100$ dla $\alpha \geq \gamma_{ph} = 110\text{ mrad}$
$0.25 \leq t < 100\text{ s}$		$E_B = 1$ dla $\alpha < \gamma_{ph} = 1.1 t^{0.5}\text{ mrad}$ $D_B = 10^6$ dla $\alpha \geq \gamma_{ph} = 1.1 t^{0.5}\text{ mrad}$
$t < 0.25\text{ s}$		Nie zdefiniowano dla $t < 0.25\text{ s}$

$\alpha$ [mrad]
$t$ [s]
$E$ [W/m <sup>2</sup> ]
$D$ [J/m <sup>2</sup> sr]
$H$ [J/m <sup>2</sup> ]
$L$ [W/m <sup>2</sup> sr]

# Porównanie wymagań Dyrektywy 2006/25/WE i ICNIRP 2013

Zagrożenie fotochemiczne siatkówki oka 300 - 700 nm

Kąt graniczny dla małych źródeł



11 mrad ( $0,63^\circ$ ) =  $\gamma_{ph}$  dla  $t < 100$  s (190  $\mu$ m)

110 mrad ( $6,30^\circ$ ) =  $\gamma_{ph}$  dla  $t > 10\ 000$  s (1.9 mm)

# *Porównanie wymagań Dyrektywy 2006/25/WE i ICNIRP 2013*

*Zagrożenie fotochemiczne siatkówki oka 300 - 700 nm*

**Funkcja skuteczności widmowej uszkodzeń fotochemicznych siatkówki oka  $B(\lambda)$**

**NIE ULEGA ZMIANIE W CAŁYM ZAKRESIE 300 - 700 nm**

# Porównanie wymagań Dyrektywy 2006/25/WE i ICNIRP 2013

Zagrożenie termiczne siatkówki oka z silnym bodźcem świetlnym 380 - 1400 nm

Czas ekspozycji	MDE 2006/25/WE	MDE ICNIRP 2013
t > 10 s	$L_R = 2.8 \times 10^7 / 1.7$ dla $\alpha < 1.7$ mrad $L_R = 2.8 \times 10^7 / \alpha$ dla $1.7 \leq \alpha \leq 100$ mrad $L_R = 2.8 \times 10^7 / 100$ dla $\alpha > 100$ mrad	$L_R = 1.9 \times 10^7$ dla $\alpha \leq 1.5$ mrad $L_R = 2.8 \times 10^7 / \alpha$ dla $1.5 \leq \alpha \leq 100$ mrad $L_R = 2.8 \times 10^7 / 100$ dla $\alpha \geq 100$ mrad
0.25 s ≤ t ≤ 10 s		
625 μs ≤ t < 0.25 s	$L_R = 5 \times 10^7 / 1.7 t^{0.25}$ dla $\alpha < 1.7$ mrad $L_R = 5 \times 10^7 / \alpha t^{0.25}$ dla $1.7 \leq \alpha \leq 100$ mrad $L_R = 5 \times 10^7 / 100 t^{0.25}$ dla $\alpha > 100$ mrad	$L_R = 1.3 \times 10^7 / t^{0.25}$ dla $\alpha \leq 1.5$ mrad $L_R = 2.0 \times 10^7 / \alpha t^{0.25}$ dla $1.5 \leq \alpha \leq 200 t^{0.5}$ mrad $D_R = 10 \times 10^4 t^{0.25}$ dla $\alpha \geq 200 t^{0.5}$ mrad
10 μs ≤ t < 625 μs		
1 μs ≤ t < 10 μs	$L_R = 8.89 \times 10^8 / 1.7$ dla $\alpha < 1.7$ mrad $L_R = 8.89 \times 10^8 / \alpha$ dla $1.7 \leq \alpha \leq 100$ mrad $L_R = 8.89 \times 10^8 / 100$ dla $\alpha > 100$ mrad	$L_R = 1.3 \times 10^7 / t^{0.25}$ dla $\alpha \leq 1.5$ mrad $L_R = 2.0 \times 10^7 / \alpha t^{0.25}$ dla $1.5 \leq \alpha \leq 5$ mrad $D_R = 4.0 \times 10^6 t^{0.75}$ dla $\alpha \geq 5$ mrad
t < 1 μs		
		$D_R = 420$ dla $\alpha \leq 1.5$ mrad $D_R = 0.63 \times 10^3 / \alpha$ dla $1.5 \leq \alpha \leq 5$ mrad $D_R = 130$ dla $\alpha \geq 5$ mrad

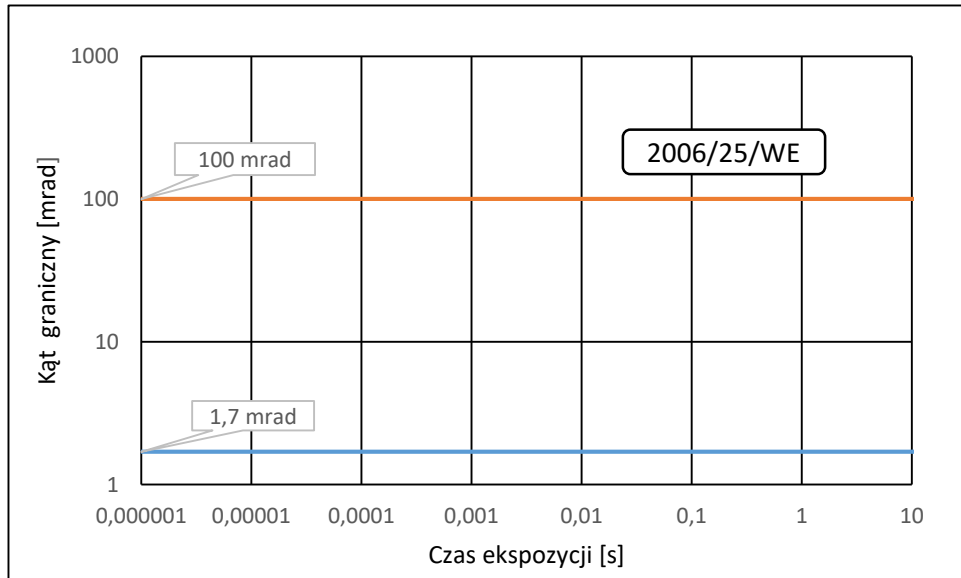
α [mrad]
t [s]
E [W/m <sup>2</sup> ]
D [J/m <sup>2</sup> sr]
H [J/m <sup>2</sup> ]
L [W/m <sup>2</sup> sr]



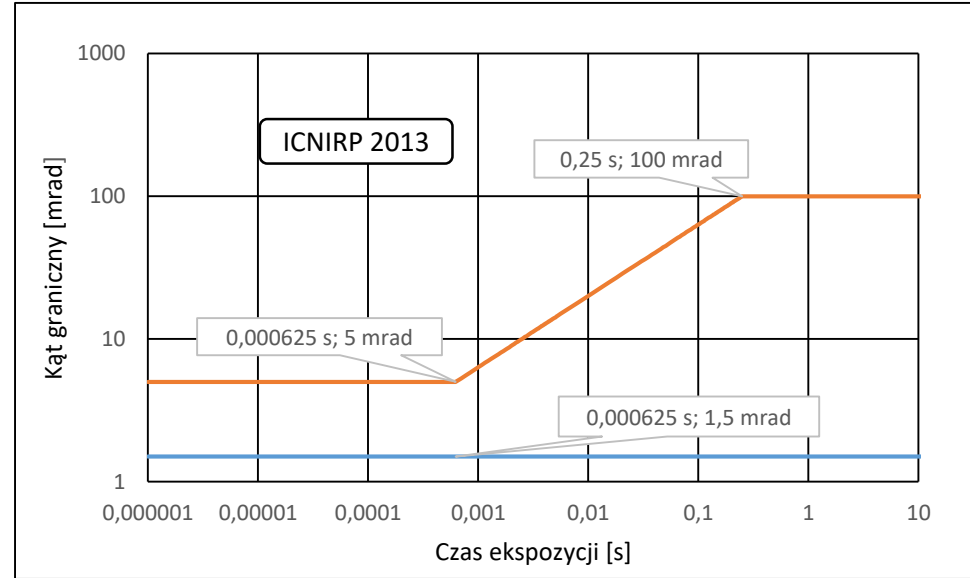
# Porównanie wymagań Dyrektywy 2006/25/WE i ICNIRP 2013

Zagrożenie termiczne siatkówki oka z silnym bodźcem świetlnym 380 - 1400 nm

Kąty graniczne dla małych i dużych źródeł



$\alpha_{\min} = 1,7 \text{ mrad} (0,1^\circ)$  - minimalny kąt odbioru oka  
 $\alpha_{\max} = 100 \text{ mrad} (5,73^\circ)$  - maksymalny kąt odbioru oka



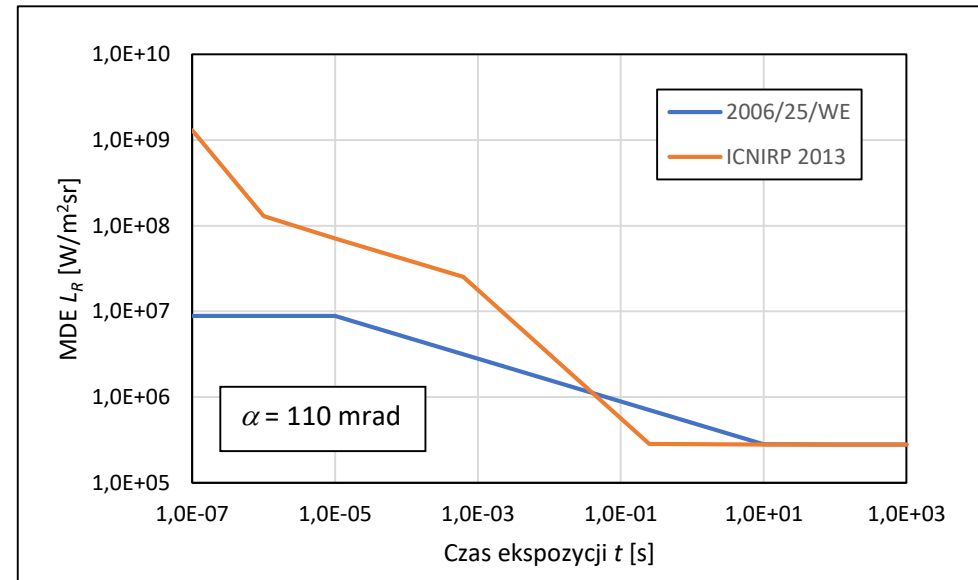
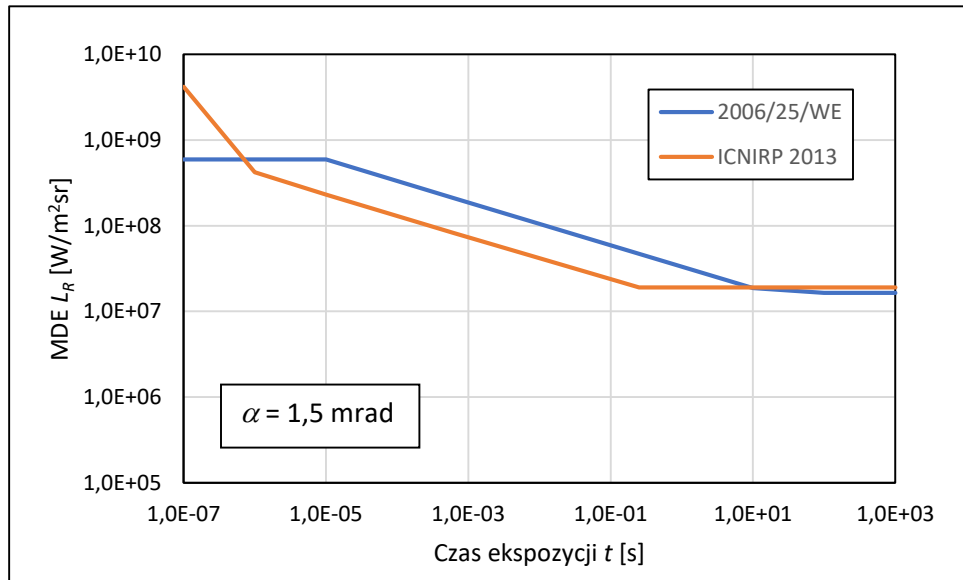
$\alpha_{\min} = 1,5 \text{ mrad} (0,09^\circ)$  = wymiar źródła punktowego, poniżej którego próg termicznego uszkodzenia oka nie zmienia się.

$\alpha_{\max} = 5 \div 100 \text{ mrad} (0,29 \div 5,73^\circ)$  = wymiar źródła, powyżej którego próg termicznego uszkodzenia oka nie zmienia się (Schulmeister et al. Health Phys.100:210, 2011);

# Porównanie wymagań Dyrektywy 2006/25/WE i ICNIRP 2013

Zagrożenie termiczne siatkówki oka z silnym bodźcem świetlnym 380 - 1400 nm

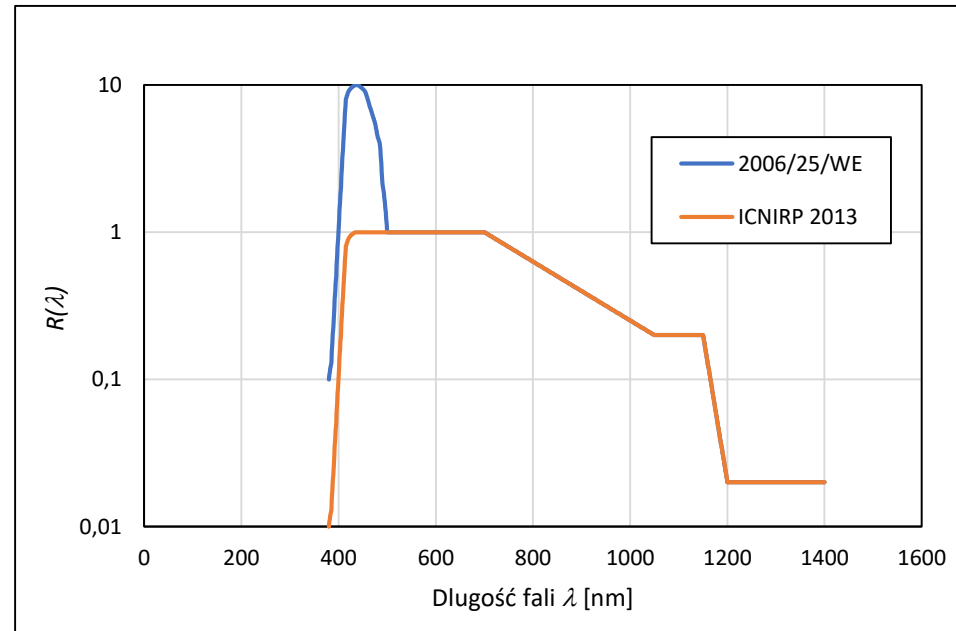
Przebieg wartości MDE w zależności od czasu ekspozycji



# Porównanie wymagań Dyrektywy 2006/25/WE i ICNIRP 2013

Zagrożenie termiczne siatkówki oka z silnym bodźcem świetlnym 380 - 1400 nm

Funkcja skuteczności widmowej uszkodzeń termicznych siatkówki oka  $R(\lambda)$



**Funkcja skuteczności widmowej uszkodzeń termicznych siatkówki oka  $R(\lambda)$   
ULEGA ZMNIEJSZENIU W ZAKRESIE 380 - 500 nm**

# Porównanie wymagań Dyrektywy 2006/25/WE i ICNIRP 2013

Zagrożenie termiczne siatkówki oka ze słabym bodźcem świetlnym 780 - 1400 nm

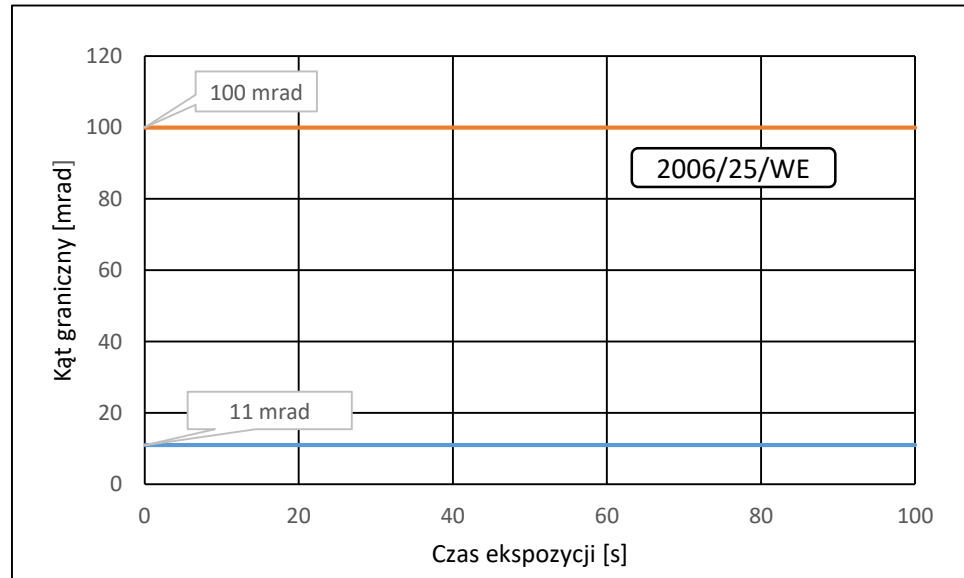
Czas ekspozycji	MDE 2006/25/WE	MDE ICNIRP 2013
$t \geq 100$ s	$L_R = 6 \times 10^6 / 11$ dla $\alpha < 11$ mrad $L_R = 6 \times 10^6 / \alpha$ dla $11 \leq \alpha \leq 100$ mrad	$L_R = 6300 \times 10^3 / \alpha$
$10 < t < 100$ s	$L_R = 6 \times 10^6 / 100$ dla $\alpha > 100$ mrad	
$0.25 < t \leq 10$ s		$L_R = 2.0 \times 10^7 / \alpha t^{0.25}$
$625 \mu\text{s} \leq t \leq 0.25$ s	$L_R = 5 \times 10^7 / 11 t^{0.25}$ dla $\alpha < 11$ mrad $L_R = 5 \times 10^7 / \alpha t^{0.25}$ dla $11 \leq \alpha \leq 100$ mrad $L_R = 5 \times 10^7 / 100 t^{0.25}$ dla $\alpha > 100$ mrad	Nie zdefiniowano dla $t \leq 0.25$ s
$10 \mu\text{s} \leq t < 625 \mu\text{s}$		
$1 \mu\text{s} \leq t < 10 \mu\text{s}$	$L_R = 8.89 \times 10^8 / 11$ dla $\alpha < 11$ mrad $L_R = 8.89 \times 10^8 / \alpha$ dla $11 \leq \alpha \leq 100$ mrad	
$t < 1 \mu\text{s}$	$L_R = 8.89 \times 10^8 / 100$ dla $\alpha > 100$ mrad	

$\alpha$ [mrad]
t [s]
E [W/m <sup>2</sup> ]
D [J/m <sup>2</sup> sr]
H [J/m <sup>2</sup> ]
L [W/m <sup>2</sup> sr]

# Porównanie wymagań Dyrektywy 2006/25/WE i ICNIRP 2013

Zagrożenie termiczne siatkówki oka ze słabym bodźcem świetlnym 780 - 1400 nm

Kąty graniczne dla małych i dużych źródeł



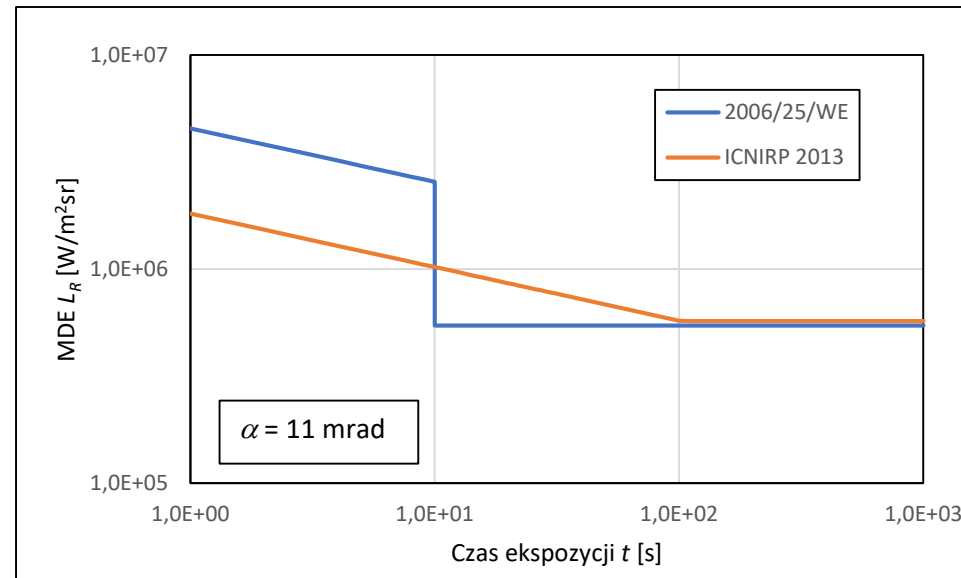
ICNIRP 2013

Brak zdefiniowanych kątów granicznych

# Porównanie wymagań Dyrektywy 2006/25/WE i ICNIRP 2013

Zagrożenie termiczne siatkówki oka ze słabym bodźcem świetlnym 780 - 1400 nm

Przebieg wartości MDE w zależności od czasu ekspozycji



# Porównanie wymagań Dyrektywy 2006/25/WE i ICNIRP 2013

Zagrożenie termiczne rogówki i soczewki oka 780 - 3000 nm

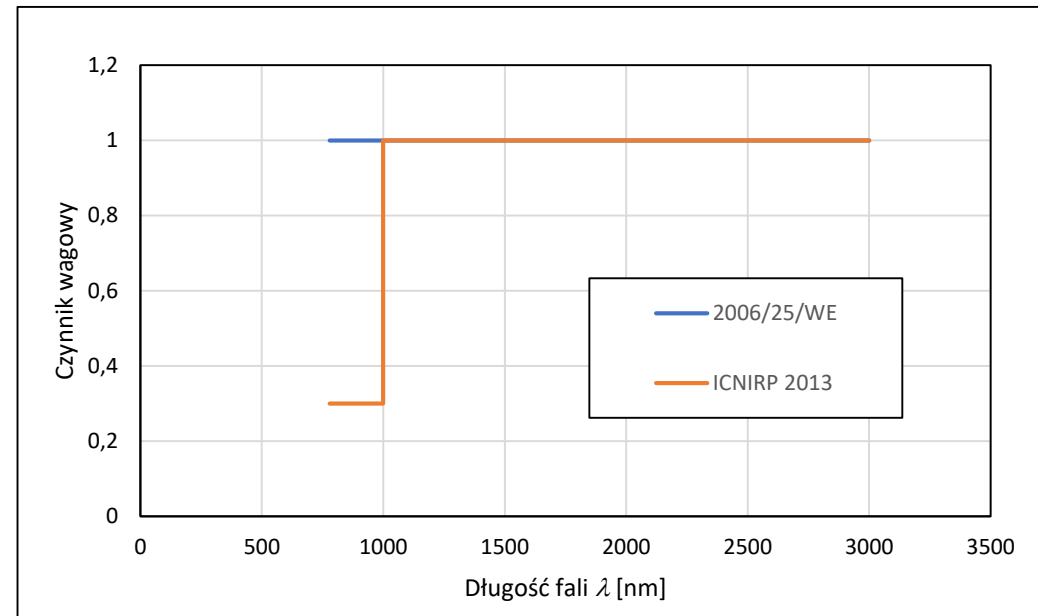
Czas ekspozycji	MDE 2006/25/WE	MDE ICNIRP 2013
$t \geq 1\ 000\ \text{s}$	$E_{IR} = 100$	$E_{IR} = 100$
$t < 1\ 000\ \text{s}$	$E_{IR} = 18\ 000\ t^{-0,75}$	$E_{IR} = 18\ 000\ t^{-0,75}$

# Porównanie wymagań Dyrektywy 2006/25/WE i ICNIRP 2013

Zagrożenie termiczne rogówki i soczewki oka 780 - 3000 nm

Wprowadzenie czynnika wagowego 0,3 dla zakresu 780 - 1000 nm przy pomiarze  $E_{IR}$

$$E_{IR} = \sum_{780}^{1000} 0,3E_{IR}(\lambda)\Delta\lambda + \sum_{1000}^{3000} E_{IR}(\lambda)\Delta\lambda$$





# *Porównanie wymagań Dyrektywy 2006/25/WE i ICNIRP 2013*

*Zagrożenie termiczne skóry 380 - 3000 nm*

Brak zmian

# Wymagane zmiany w normie PN-EN 14255-2:2010

Zagrożenie fotochemiczne siatkówki oka 300 - 700 nm

Czas ekspozycji	Kąt odbioru $\gamma$ PN-EN 14255-2:2010	Zmiany w normie PN-EN 14255-2:2010	
$t \geq 30\ 000$ s	Dla $\alpha < 11$ mrad: pomiar E, H; $\gamma$ bez ograniczeń  Dla $\alpha = 11$ mrad: pomiar L, D; $\gamma = 11$ mrad  Dla $\alpha > 11$ mrad: pomiar L, D; $\gamma \leq \alpha$ 11 mrad $\leq \gamma \leq 100$ mrad	Dla $\alpha < \gamma_{ph}$ : pomiar E, H; $\gamma$ bez ograniczeń	$\gamma_{ph} = 110$ mrad
$10\ 000 < t < 30\ 000$ s			
$100 \leq t \leq 10\ 000$ s		Dla $\alpha = \gamma_{ph}$ : pomiar L, D; $\gamma = \gamma_{ph} = \alpha$	$\gamma_{ph} = 1.1 t^{0.5}$ mrad
$0.25 \leq t < 100$ s		Dla $\alpha > \gamma_{ph}$ : pomiar L, D; $\gamma \leq \gamma_{ph} < \alpha$	$\gamma_{ph} = 11$ mrad
$t < 0.25$ s		Brak dla $t < 0.25$ s	

# Wymagane zmiany w normie PN-EN 14255-2:2010

Zagrożenie fotochemiczne siatkówki oka z silnym bodźcem świetlnym 380 ÷ 1400 nm

Czas ekspozycji	Kąt odbioru $\gamma$ PN-EN 14255-2:2010	Zmiany w normie PN-EN 14255-2:2010	
$t > 10 \text{ s}$	Dla $\alpha \leq 1,7 \text{ mrad}$ : pomiar L $\gamma = 1,7 \text{ mrad}$  Dla $\alpha > 1,7 \text{ mrad}$ : pomiar L $\gamma \leq \alpha$ $1,7 \text{ mrad} \leq \gamma \leq 100 \text{ mrad}$		$\alpha_{\text{max}} = 100 \text{ mrad}$
$0.25 \text{ s} \leq t \leq 10 \text{ s}$			
$625 \mu\text{s} \leq t < 0.25 \text{ s}$			$\alpha_{\text{max}} = 200t^{0.5} \text{ mrad}$
$10 \mu\text{s} \leq t < 625 \mu\text{s}$			$\alpha_{\text{max}} = 5 \text{ mrad}$
$1 \mu\text{s} \leq t < 10 \mu\text{s}$			
$t < 1 \mu\text{s}$			

# Wymagane zmiany w normie PN-EN 14255-2:2010

Zagrożenie fotochemiczne siatkówki oka ze słabym bodźcem świetlnym 380 ÷ 1400 nm

Czas ekspozycji	Kąt odbioru $\gamma$ PN-EN 14255-2:2010	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 $\gamma \leq \alpha$ $11 \text{ mrad} \leq \gamma \leq 100 \text{ mrad}$	Bez zmian
$10 < t < 100$ s		
$0.25 < t \leq 10$ s		
$625 \mu\text{s} \leq t \leq 0.25$ s		Brak dla $t \leq 0.25$ s
$10 \mu\text{s} \leq t < 625 \mu\text{s}$		
$1 \mu\text{s} \leq t < 10 \mu\text{s}$		
$t < 1 \mu\text{s}$		

Opracowano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego 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”

Koordinator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.