

Nejvyšší přípustné hodnoty záření laserů

1. Nejvyšší přípustné hodnoty expozice záření laserů

Nejvyšší přípustné hodnoty expozice záření laserů pro přímý pohled do svazku nebo do svazku zrcadlově odraženého jsou upraveny v tabulce č. 1, pro pohled na difúzní rozptylující plochu ozářenou laserem v tabulce č. 2. Tabulka č. 3 upravuje nejvyšší přípustné hodnoty hustot zářivého toku, případně hustot zářivé energie pro působení laserového záření na kůži. Korekční faktory C_1 až C_5 a kritické doby T_1 a T_2 použité v tabulkách č. 1 až 3 jsou vyjádřeny vzorci v tabulkách č. 4 a 5. Kritické doby T_1 a T_2 určují, podle kterého vztahu je třeba přípustnou hodnotu záření stanovit.

2. Korekce pro opakovanou expozici

Každé ze tří následujících pravidel se použije pro všechny expozice vyskytující se u opakovaně pulzujících nebo skenujících laserových systémů.

2.1. Expozice kterémukoli jednotlivému pulsu ve sledu pulsů nesmí překročit nejvyšší přípustnou hodnotu expozice pro jeden pulz s dobou trvání uvedeného pulsu.

2.2. Expozice kterékoli skupině pulsů (nebo podskupině pulsů ve sledu) o době T nesmí překročit nejvyšší přípustnou hodnotu expozice pro čas t .

2.3. Expozice kterémukoli jednotlivému pulsu v rámci skupiny pulsů nesmí překročit nejvyšší přípustnou hodnotu expozice pro jeden pulz násobenou faktorem kumulativní tepelné korekce $C_p = N^{-0,25}$, kde N se rovná počtu pulsů. Toto pravidlo platí pouze pro nejvyšší přípustné hodnoty expozice na ochranu před tepelným poškozením, kde se všechny pulsy vyzářené za dobu kratší než T_{\min} považují za jeden pulz. Hodnota T_{\min} je definována v tabulce č. 7.

3. Svazek záření laseru, který je z úrovně oka pozorovatele viděn pod úhlem větším, než je úhel α_{\min} vyjádřený vzorcem v tabulce č. 6, se pokládá za záření plošného zdroje. Nejvyšší přípustné hodnoty záření takového zdroje jsou dány přípustnými hodnotami uvedenými v tabulkách č. 1 až 3, které se dále korigují násobením bezrozměrným faktorem C_E :

$$C_E = \alpha / \alpha_{\min} \text{ pro } \alpha_{\min} < \alpha \leq 0,1 \text{ rad}$$

$$C_E = \alpha^2 / (\alpha_{\min} \cdot \alpha_{\max}) \text{ pro } \alpha > \alpha_{\max}; \alpha_{\max} = 0,1 \text{ rad};$$

α je v radiánech

Tabulka č. 1 Nejvyšší přípustná hodnota expozice při přímém působení laserového záření na rohovku oka (přímý pohled do svazku)

Doba expozice t [s]	$< 10^{-9}$	10^{-9} až 10^{-7}	10^{-7} až $1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$ až $5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$ až 10	10 až 10^3	10^3 až 10^4	10^4 až $3 \cdot 10^4$
Vlnová délka λ [nm]	30 J.m ⁻²							
180 až 302,5	30 J.m ⁻²							
302,5 až 315	$3 \cdot 10^{10}$ W.m ⁻²	$C_1 \text{ J.m}^{-2}$	$C_2 \text{ J.m}^{-2}$	$C_2 \text{ J.m}^{-2}$	$t \geq T_1$	$C_2 \text{ J.m}^{-2}$	$C_2 \text{ J.m}^{-2}$	
315 až 400		$C_1 \text{ J.m}^{-2}$				10^4 J.m^{-2}	10 W.m^{-2}	
400 až 550						100 J.m^{-2}		10^{-2} W.m^{-2}
550 až 700	$5 \cdot 10^6 \text{ W.m}^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3} \text{ J.m}^{-2}$		$18 \cdot t^{0,75} \text{ J.m}^{-2}$	J.m^{-2}	$10^{-2} \cdot C_3$	J.m^{-2}	$10^{-2} \cdot C_3$ W.m ⁻²
700 až 1050	$5 \cdot 10^6 \cdot C_4$ W.m ⁻²	$5 \cdot 10^{-3} \cdot C_4 \text{ J.m}^{-2}$		$18 \cdot C_4 \cdot t^{0,75} \text{ J.m}^{-2}$	J.m^{-2}			$3,2 \cdot C_4 \text{ W.m}^{-2}$
1050 až 1400	$5 \cdot 10^7 \text{ W.m}^{-2}$		$5 \cdot 10^{-2} \text{ J.m}^{-2}$		$90 \cdot t^{0,75} \text{ J.m}^{-2}$			16 W.m^{-2}
1400 až 10^6	10^{11} W.m^{-2}	100 J.m^{-2}		$5600 \cdot t^{0,25} \text{ J.m}^{-2}$			1000 W.m^{-2}	

Tabulka č. 2 - Nejvyšší přípustné ozáření rohovky oka při pozorování plošného laserového zdroje nebo laserového svazku po difúzním odrazu

Doba expozice t [s]	$< 10^{-9}$	10^{-9} až 10^{-7}	10^{-7} až 10	10 až 10^3	10^3 až 10^4	10^4 až $3 \cdot 10^4$
Vlnová délka λ [nm]						
200 až 302,5	30 J.m ⁻²					
302,5 až 315	$3 \cdot 10^{10} \text{ W.m}^{-2}$	$C_1 \text{ J.m}^{-2}$	$C_2 \text{ J.m}^{-2}$ $t > T_1$	$C_2 \text{ J.m}^{-2}$		
315 až 400		$C_1 \text{ J.m}^{-2}$ $t < T_1$		10^4 J.m^{-2}		
400 až 550				$2,1 \cdot 10^3 \text{ J.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$		10 W.m^{-2}
550 až 700	$10^{11} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$10^3 \cdot t^{0,33} \text{ J.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$		$2,1 \cdot C_3 \cdot 10^5 \text{ J.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$		$21 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$
700 až 1050	$10^{11} \cdot C_4 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$10^5 \cdot C_4 \cdot t^{0,33} \text{ J.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$		$3,8 \cdot 10^4 \cdot C_4 \cdot t^{0,75} \text{ J.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$6,4 \cdot 10^3 \cdot C_4 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	
1050 až 1400	$5 \cdot 10^{11} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$5 \cdot 10^5 \cdot t^{0,33} \text{ J.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$		$1,9 \cdot 10^5 \cdot t^{0,75} \text{ J.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$3,2 \cdot 10^4 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	
1400 až 10^6	10^{11} W.m^{-2}	100 J.m^{-2}	$5600 \cdot t^{0,25} \text{ J.m}^{-2}$	1000 W.m^{-2}		

Tabulka č. 3 - Nejvyšší přípustné ozáření při expozici laserového záření na kůži

Vlnová délka λ [nm]	Doba expozice t [s]		$< 10^{-9}$	10^{-9} až 10^{-7}	10^{-7} až 10	10 až 10^3	10^3 až $3 \cdot 10^4$
200 až 302,5			$3 \cdot 10^{10} \text{ W.m}^{-2}$	30 J.m^{-2}			
302,5 až 315				$t < T_1$	$C_1 \text{ J.m}^{-2}$	$t > T_1$	$C_2 \text{ J.m}^{-2}$
315 až 400				$C_1 \text{ J.m}^{-2}$		10^4 J.m^{-2}	10 W.m^{-2}
400 až 1400			$2 \cdot 10^{11} \text{ W.m}^{-2}$	200 J.m^{-2}	$11 \cdot 10^3 t^{0,25} \text{ J.m}^{-2}$		2000 W.m^{-2}
1400 až 10^6			10^{11} W.m^{-2}	100 J.m^{-2}	$5600 t^{0,25} \text{ J.m}^{-2}$		1000 W.m^{-2}

Tabulka č. 4

Parametr	Vlnová délka λ [nm]	
	od	do
$C_1 = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$	302,5	400
$T_1 = 10^{0,8(\lambda - 295)} \cdot 10^{-15} \text{ s}$	302,5	315
$C_2 = 10^{0,2(\lambda - 295)}$	302,5	315
$T_2 = 10 \cdot 10^{0,02(\lambda - 550)} \text{ s}$	550	700
$C_3 = 10^{0,015(\lambda - 550)}$	550	700
$C_4 = 10^{(\lambda - 700) / 500}$	700	1050

Tabulka č. 5

Parametr	Opakovací frekvence impulzů N
$C_5 = N^{-0,5}$	$N = 1 \text{ s}^{-1}$ až 278 s^{-1}
$C_5 = 0,06$	$N > 278 \text{ s}^{-1}$

Tabulka č. 6

Parametr	Doba expozice t [s]
$\alpha_{\min} = 8,5 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$	$t < 10^{-9}$
$\alpha_{\min} = 0,25 \cdot 10^{-3} \cdot t^{-0,17} \text{ rad}$	$10^{-9} \leq t < 18 \cdot 10^{-6}$
$\alpha_{\min} = 15 \cdot 10^{-3} \cdot t^{0,21} \text{ rad}$	$18 \cdot 10^{-6} \leq t < 10$
$\alpha_{\min} = 24,3 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$	$t \geq 10$

Poznámka: pro $\lambda > 1050 \text{ nm}$ a $t < 50 \cdot 10^{-6} \text{ s}$ je nutné korigovat vztah pro α_{\min} násobením faktorem 1,4 a použít tedy vzorec $\alpha_{\min} = 0,25 \cdot 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot t^{-0,17} \text{ rad}$.

Tabulka č. 7

Spektrální rozsah [nm]	T_{\min} [s]
$315 < \lambda \leq 400$	10^{-9}
$400 < \lambda \leq 1\ 050$	$18 \cdot 10^{-6}$
$1\ 050 < \lambda \leq 1\ 400$	$50 \cdot 10^{-6}$
$1\ 400 < \lambda \leq 1\ 500$	10^{-3}
$1\ 500 < \lambda \leq 1\ 800$	10
$1\ 800 < \lambda \leq 2\ 600$	10^{-3}
$2\ 600 < \lambda \leq 10^6$	10^{-7}