

PRILOGA II

Laserska optična sevanja

Vrednosti izpostavljenosti optičnim sevanjem, ki so ustrezne s stališča biofizike, se lahko določijo na podlagi v nadaljevanju navedenih formul. Uporaba formul je odvisna od valovne dolžine in trajanja sevanja, ki ga oddaja vir. Rezultate je treba primerjati z ustreznimi mejnimi vrednostmi izpostavljenosti, navedenimi v preglednicah 2.2—2.4. Pri podanem viru laserskih optičnih sevanj je lahko več kakor ena vrednost izpostavljenosti in njej relevantna mejna vrednost.

Koeficienti, uporabljeni za izračun v preglednicah 2.2—2.4, so navedeni v preglednici 2.5, korekcije za ponavljajočo se izpostavljenost pa v preglednici 2.6.

$$E = \frac{dP}{dA} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$$

$$H = \int_0^t E(t) \cdot dt \text{ [J m}^{-2}\text{]}$$

Opombe:

dP moč, izražena v vatih [W];

dA površina, izražena v kvadratnih metrih [m²];

$E(t)$, E obsevanost, iradianca ali gostota pretoka moči: sevajoči tokovni vpad, ki vpada na enoto površine, v splošnem izražen v vatih na kvadratni meter [W m⁻²]; vrednosti $E(t)$, E sta pridobljeni z meritvami ali ju zagotovi proizvajalec opreme;

H izpostavljenost sevanju, časovni integral obsevanosti, izražen v džulih na kvadratni meter [J m⁻²];

t čas, trajanje izpostavljenosti, izražen v sekundah [s];

λ valovna dolžina, izražena v nanometrih [nm];

γ mejni kot stožca pri meritvah vidnega polja, izražen v miliradianih [mrad];

γ_m meritve vidnega polja, izražene v miliradianih [mrad];

α zorni kot vira, izražen v miliradianih [mrad];

mejna odprtina: krožno območje, uporabljeno za izračun povprečne obsevanosti in izpostavljenosti sevanju;

G integrirana sevnost (radianca): integral sevnosti v določenem času izpostavljenosti, izražen kot sevalna energija na enoto sevajoče površine na enoto prostorskega kota emisije, v džulih na kvadratni meter na steradian [J m⁻² sr⁻¹].

Preglednica 2.1: Nevarnosti sevanja

Valovna dolžina [nm] λ	Vrsta sevanja	Prizadeti organ	Nevarnost	Preglednica mejnih vrednosti izpostavljenosti
180 do 400	UV	oči	fotokemične in toplotne poškodbe	2.2, 2.3
180 do 400	UV	koža	eritemi (rdeči kožni madeži)	2.4
400 do 700	vidno sevanje	oči	poškodbe mrežnice	2.2
400 do 600	vidno sevanje	oči	fotokemične poškodbe	2.3
400 do 700	vidno sevanje	koža	toplotne poškodbe	2.4
700 do 1 400	IRA	oči	toplotne poškodbe	2.2, 2.3
700 do 1 400	IRA	koža	toplotne poškodbe	2.4
1 400 do 2 600	IRB	oči	toplotne poškodbe	2.2
2 600 do 10^6	IRC	oči	toplotne poškodbe	2.2
1 400 do 10^6	IRB, IRC	oči	toplotne poškodbe	2.3
1 400 do 10^6	IRB, IRC	koža	toplotne poškodbe	2.4

Preglednica 2.2:

Mejne vrednosti za izpostavljenost oči laserskemu sevanju — kratka izpostavljenost v trajanju < 10 s

Valovna dolžina ^a [nm]		Odprtina	Trajanje [s]																																																																																			
			$10^{-13} - 10^{-11}$	$10^{-11} - 10^{-9}$	$10^{-9} - 10^{-7}$	$10^{-7} - 1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5} - 10^{-3}$	$10^{-3} - 10^1$																																																																													
UVC	180 - 280	1 mm za $t \leq 0,3$ s; $1,5 \cdot t^{0,375}$ mm za $0,3 < t < 10$ s	$E = 3 \cdot 10^{10} [W m^{-2}]$ glej opombo ^c																																																																																			
UVB	280 - 302								$E = 3 \cdot 10^{10} [W m^{-2}]$ glej opombo ^c																																																																													
	303														$E = 3 \cdot 10^{10} [W m^{-2}]$ glej opombo ^c																																																																							
	304																				$E = 3 \cdot 10^{10} [W m^{-2}]$ glej opombo ^c																																																																	
	305																										$E = 3 \cdot 10^{10} [W m^{-2}]$ glej opombo ^c																																																											
	306																																$E = 3 \cdot 10^{10} [W m^{-2}]$ glej opombo ^c																																																					
	307																																						$E = 3 \cdot 10^{10} [W m^{-2}]$ glej opombo ^c																																															
	308																																												$E = 3 \cdot 10^{10} [W m^{-2}]$ glej opombo ^c																																									
	309																																																		$E = 3 \cdot 10^{10} [W m^{-2}]$ glej opombo ^c																																			
	310																																																								$E = 3 \cdot 10^{10} [W m^{-2}]$ glej opombo ^c																													
	311																																																														$E = 3 \cdot 10^{10} [W m^{-2}]$ glej opombo ^c																							
	312																																																																				$E = 3 \cdot 10^{10} [W m^{-2}]$ glej opombo ^c																	
	313																																																																										$E = 3 \cdot 10^{10} [W m^{-2}]$ glej opombo ^c											
	314																																																																																$E = 3 \cdot 10^{10} [W m^{-2}]$ glej opombo ^c					
	UVA																																																																																					
Vidna sevanja & IRA	400 - 700	$E = 3 \cdot 10^{10} [W m^{-2}]$ glej opombo ^c																																																																																				
	700 - 1 050							$E = 3 \cdot 10^{10} [W m^{-2}]$ glej opombo ^c																																																																														
	1 050 - 1 400													$E = 3 \cdot 10^{10} [W m^{-2}]$ glej opombo ^c																																																																								
IRB & IRC	1 400 - 1 500																			$E = 3 \cdot 10^{10} [W m^{-2}]$ glej opombo ^c																																																																		
	1 500 - 1 800																									$E = 3 \cdot 10^{10} [W m^{-2}]$ glej opombo ^c																																																												
	1 800 - 2 600																															$E = 3 \cdot 10^{10} [W m^{-2}]$ glej opombo ^c																																																						
	2 600 - 10^6																																					$E = 3 \cdot 10^{10} [W m^{-2}]$ glej opombo ^c																																																
7 mm																																												$H = 1,5 \cdot 10^{-4} C_E [J m^{-2}]$	$H = 2,7 \cdot 10^4 t^{0,75} C_E [J m^{-2}]$	$H = 5 \cdot 10^{-3} C_E [J m^{-2}]$	$H = 18 \cdot t^{0,75} C_E [J m^{-2}]$																																							
7 mm																																												$H = 1,5 \cdot 10^{-4} C_A C_E [J m^{-2}]$	$H = 2,7 \cdot 10^4 t^{0,75} C_A C_E [J m^{-2}]$	$H = 5 \cdot 10^{-3} C_A C_E [J m^{-2}]$	$H = 18 \cdot t^{0,75} C_A C_E [J m^{-2}]$																																							
7 mm																																												$H = 1,5 \cdot 10^{-3} C_C C_E [J m^{-2}]$	$H = 2,7 \cdot 10^5 t^{0,75} C_C C_E [J m^{-2}]$	$H = 5 \cdot 10^{-2} C_C C_E [J m^{-2}]$		$H = 90 \cdot t^{0,75} C_C C_E [J m^{-2}]$																																						
Glej opombo ^b																																												$E = 10^{12} [W m^{-2}]$ Glej opombo ^c		$H = 10^3 [J m^{-2}]$		$H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25} [J m^{-2}]$																																						
Glej opombo ^b																																												$E = 10^{13} [W m^{-2}]$ Glej opombo ^c		$H = 10^4 [J m^{-2}]$																																								
Glej opombo ^b																																												$E = 10^{12} [W m^{-2}]$ Glej opombo ^c		$H = 10^3 [J m^{-2}]$		$H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25} [J m^{-2}]$																																						
Glej opombo ^b																																												$E = 10^{11} [W m^{-2}]$ Glej opombo ^c		$H = 100 [J m^{-2}]$	$H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25} [J m^{-2}]$																																							

a Če se na valovno dolžino laserja nanašata dve mejni vrednosti, se uporablja strožja.

b Kadar je $1400 \leq \lambda < 10^5$ nm: premer odprtine = 1 mm za $t \leq 0,3$ s in $1,5 \cdot t^{0,375}$ mm za $0,3 < t < 10$ s; kadar je $10^5 \leq \lambda < 10^6$ nm: premer odprtine = 11 mm.

c Zaradi pomanjkljivih podatkov na teh impulznih dolžinah ICNIRP* priporoča uporabo meje obsevanosti 1ns.

č Preglednica daje vrednosti za enojne laserske impulze. Pri večkratnih laserskih impulzih je treba sešteti trajanja laserskih impulzov znotraj intervala T_{min} (navedeno v preglednici 2.6) ter vpisati dobljeno časovno vrednost, in sicer kot t v formuli: $5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$.

*ICNIRP – International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Mednarodna komisija za varstvo pred neioniziranimi sevanji)

Preglednica 2.3

Mejne vrednosti za izpostavljenost oči laserskemu sevanju — daljša izpostavljenost v trajanju ≥ 10 s

Valovna dolžina ^a [nm]		Odprtina	Trajanje [s]		
			$10^1 - 10^2$	$10^2 - 10^4$	$10^4 - 3 \cdot 10^4$
UVC	180 – 280	3,5 mm	$H = 30 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 40 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 60 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 100 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 160 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 250 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 400 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 630 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 1,0 \cdot 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 1,6 \cdot 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 2,5 \cdot 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 4,0 \cdot 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 6,3 \cdot 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 10^4 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
	280 – 302				
	303				
	304				
	305				
	306				
	307				
UVB	308				
	309				
	310				
	311				
	312				
	313				
	314				
UVA	315 - 400				
Vidno sevanje 400 – 700	400 - 600 Fotokemične ^b poškodbe mrežnice	7 mm	$H = 100 C_B \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $(\gamma = 11 \text{ mrad})^d$	$E = 1 C_B \text{ [W m}^{-2}\text{]}; (\gamma = 1,1 t^{0,5} \text{ mrad})^e$	$E = 1 C_B \text{ [W m}^{-2}\text{]}$ $(\gamma = 110 \text{ mrad})^e$
	400 - 700 Toplotne ^b poškodbe mrežnice		če je $\alpha < 1,5 \text{ mrad}$, če je $\alpha > 1,5 \text{ mrad}$ in $t \leq T_2$, če je $\alpha > 1,5 \text{ mrad}$ in $t > T_2$,	potem je $E = 10 \text{ [W m}^{-2}\text{]}$ potem je $H = 18 C_E t^{0,75} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ potem je $E = 18 C_E T_2^{-0,25} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$	
IRA	700 - 1 400	7 mm	če je $\alpha < 1,5 \text{ mrad}$, če je $\alpha > 1,5 \text{ mrad}$ in $t \leq T_2$, če je $\alpha > 1,5 \text{ mrad}$ in $t > T_2$,	potem je $E = 10 C_A C_C \text{ [W m}^{-2}\text{]}$ potem je $H = 18 C_A C_C C_E t^{0,75} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ potem je $E = 18 C_A C_C C_E T_2^{-0,25} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$ (ne sme presegati $1\,000 \text{ W m}^{-2}$)	
IRB & IRC	$1\,400 - 10^6$	glej ^c	$E = 1\,000 \text{ [W m}^{-2}\text{]}$		

^a Če se na valovno dolžino ali druge pogoje laserja nanašata dve mejni vrednosti, se uporablja strožja.

^b Pri malih virih pod kotom, enakim ali manjšim od $1,5 \text{ mrad}$, se vidni mejni vrednosti E od 400 nm do 600 nm zmanjšata na toplotne mejne vrednosti za $10 \text{ s} \leq t < T_1$ in na fotokemične mejne vrednosti za daljše trajanje. Za T_1 in T_2 - glej preglednico 2.5. Mejna vrednost nevarnih fotokemičnih dejavnikov za mrežnico je prav tako lahko izražena kot časovno integrirana sevnost $G =$

$10^6 \cdot C_B [\text{J m}^{-2} \text{sr}^{-1}]$ za $t > 10$ s, do $t = 10\,000$ s in $L = 100 C_B [\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}]$ za $t > 10\,000$ s. Pri meritvah G in L se uporablja γ_m kot povprečno vidno polje. Uradna meja med vidnim in infrardečim sevanjem, kakor jo je določila CIE, je 780 nm. Stolpec z imeni posameznih območij valovnih dolžin je namenjen samo temu, da uporabniku zagotovi boljšo preglednost. (oznako G uporablja CEN; oznako L, uporablja CIE; oznako L_p uporabljata IEC in CENELEC*.)

c Za valovne dolžine 1 400 - 10^5 nm: premer odprtine = 3,5 mm. za valovne dolžine 10^5 - 10^6 nm: premer odprtine = 11 mm.

č Pri merjenju vrednosti izpostavljenosti se γ upošteva na naslednji način: če je α (zorni kot vira) $> \gamma$ (mejni kot stožca, naveden v oklepajih v ustreznem stolpcu), potem mora biti velikost vidnega polja γ_m dana vrednost γ . (Če bi bila uporabljena večja velikost vidnega polja, bi bila nevarnost precenjena).

Če je $\alpha < \gamma$, potem mora biti velikost vidnega polja γ_m dovolj velika, da popolnoma zajame vire, sicer pa ni omejena in je lahko večja kakor γ .

*CENELEC- Comité Européen de Normalisation Electrotechnique (Evropski komite za elektrotehniško standardizacijo)

Preglednica 2.4: Mejne vrednosti za izpostavljenost kože laserskemu sevanju

Valovna dolžina ^a [nm]		Odprtina	Trajanje [s]					
			< 10 ⁻⁹	10 ⁻⁹ - 10 ⁻⁷	10 ⁻⁷ - 10 ⁻³	10 ⁻³ - 10 ¹	10 ¹ - 10 ³	10 ³ - 3 · 10 ⁴
UV (A, B, C)	180 - 400	3, 5mm	$E = 3 \cdot 10^{10} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$	Iste mejne vrednosti izpostavljenosti kakor za oči				
vidno sevanje & IRA	400 - 700	3, 5mm	$E = 2 \cdot 10^{11} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$	$H = 200 C_A \text{ [J m}^{-2}\text{]}$	$H = 1.1 \cdot 10^4 C_A t^{0.25} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$	$E = 2 \cdot 10^3 C_A \text{ [W m}^{-2}\text{]}$		
	700 - 1 400		$E = 2 \cdot 10^{11} C_A \text{ [W m}^{-2}\text{]}$					
IRB & IRC	1 400 - 1500		$E = 10^{12} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$	Iste mejne vrednosti izpostavljenosti kakor za oči				
	1 500 - 1 800		$E = 10^{13} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$					
	1 800 - 2 600	$E = 10^{12} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$						
	2 600 - 10 ⁶	$E = 10^{11} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$						

a Če se na valovno dolžino ali druge pogoje laserja nanašata dve mejni vrednosti, se uporablja strožja.

Preglednica 2.5:

Uporabljeni korekcijski faktorji in drugi parametri izračuna

Parameter, kakor je naveden v ICNIRP	Veljavni spektralni obseg (nm)	Vrednost
C_A	$\lambda < 700$	$C_A = 1,0$
	700 - 1 050	$C_A = 10^{0,002(\lambda - 700)}$
	1 050 - 1 400	$C_A = 5,0$
C_B	400 - 450	$C_B = 1,0$
	450 - 700	$C_B = 10^{0,02(\lambda - 450)}$
C_C	700 - 1 150	$C_C = 1,0$
	1 150 - 1 200	$C_C = 10^{0,018(\lambda - 1 150)}$
	1 200 - 1 400	$C_C = 8,0$
T_1	$\lambda < 450$	$T_1 = 10 \text{ s}$
	450 - 500	$T_1 = 10 \cdot [10^{0,02(\lambda - 450)}] \text{ s}$
	$\lambda > 500$	$T_1 = 100 \text{ s}$
Parameter, kakor je naveden v ICNIRP	Veljavnost za biološke vplive	Vrednost
α_{\min}	vsi toplotni vplivi	$\alpha_{\min} = 1,5 \text{ mrad}$
Parameter, kakor je naveden v ICNIRP	Veljavni kotni obseg (mrad)	Vrednost
C_E	$\alpha < \alpha_{\min}$	$C_E = 1,0$
	$\alpha_{\min} < \alpha < 100$	$C_E = \alpha / \alpha_{\min}$
	$\alpha > 100$	$C_E = \alpha^2 / (\alpha_{\min} \cdot \alpha_{\max}) \text{ mrad}$ z $\alpha_{\max} = 100 \text{ mrad}$
T_2	$\alpha < 1,5$	$T_2 = 10 \text{ s}$
	$1,5 < \alpha < 100$	$T_2 = 10 \cdot [10^{(\alpha - 1,5) / 98,5}] \text{ s}$
	$\alpha > 100$	$T_2 = 100 \text{ s}$
Parameter, kakor je naveden v ICNIRP	Veljavni časovni obseg izpostavljenosti (s)	Vrednost
γ	$t \leq 100$	$\gamma = 11 \text{ [mrad]}$
	$100 < t < 10^4$	$\gamma = 1,1 t^{0,5} \text{ [mrad]}$
	$t > 10^4$	$\gamma = 110 \text{ [mrad]}$

Preglednica 2.6: Korekcije za ponavljajočo se izpostavljenost

Vsa tri v nadaljevanju navedena splošna pravila se uporabljajo za vse ponavljajoče se izpostavljenosti, ki izhajajo iz ponavljajočih se pulznih ali skenirnih laserskih sistemov:

1. Izpostavljenost posameznemu impulzu v vrsti impulzov ne sme presegati mejne vrednosti izpostavljenosti trajanja posameznega impulza.
2. Izpostavljenost posamezni skupini impulzov (ali podskupini impulzov v vrsti) v določenem času t ne sme presegati mejne vrednosti izpostavljenosti za čas t .
3. Izpostavljenost posameznemu impulzu v vrsti impulzov ne sme presegati mejne vrednosti izpostavljenosti za posamezni impulz, pomnožene s kumulativno-toplotnim korekcijskim faktorjem $C_p = N^{0.25}$, pri čemer je N število impulzov. To pravilo se nanaša samo na mejne vrednosti izpostavljenosti za varovanje pred toplotnimi poškodbami, kjer so vsi impulzi, oddani v času, krajšem od T_{min} , obravnavani kot en sam impulz.

Parameter	Veljavni spektralni obseg (nm)	Vrednost
T_{min}	$315 < \lambda \leq 400$	$T_{min} = 10^{-9} \text{ s} (= 1 \text{ ns})$
	$400 < \lambda \leq 1050$	$T_{min} = 18 \cdot 10^{-6} \text{ s} (= 18 \text{ } \mu\text{s})$
	$1\ 050 < \lambda \leq 1\ 400$	$T_{min} = 50 \cdot 10^{-6} \text{ s} (= 50 \text{ } \mu\text{s})$
	$1\ 400 < \lambda \leq 1\ 500$	$T_{min} = 10^{-3} \text{ s} (= 1 \text{ ms})$
	$1\ 500 < \lambda \leq 1\ 800$	$T_{min} = 10 \text{ s}$
	$1\ 800 < \lambda \leq 2\ 600$	$T_{min} = 10^{-3} \text{ s} (= 1 \text{ ms})$
	$2\ 600 < \lambda \leq 10^6$	$T_{min} = 10^{-7} \text{ s} (= 100 \text{ ns})$