

KOMMENTARER TILL STATENS STRÅLSKYDDSinSTITUTS FÖRESKRIFTER (SSI FS 2005:4) OM LASRAR

I denna information återges de värden och regler som utgör exponeringsgränser för laserstrålning enligt svensk standard SS EN 60825-1 utgåva 3, 2003. Den svenska standarden är likalydande med internationell standard IEC 60825-1, utgåva 1.2, 2001. Informationen innehåller också en översikt över de principer och riskvärderingar som ligger till grund för klassificering av lasrar.

Maximalt tillåten exponering (MTE)

Exponeringsgränserna säkerställer, enligt bästa tillgängliga undersökningsresultat, att skador inte uppstår. Gränserna har inbyggda säkerhetsfaktorer och skall därför inte uppfattas som skarpa gränser mellan farliga och ofarliga exponeringar.

Ögat är det känsligaste organet för laserstrålning, särskilt vid exponering för strålning med sådana våglängder som når in till näthinnan, dvs. inom våglängdsområdet 400–1400 nanometer (nm). Näthinnan i sig är inte känsligare än annan biologisk vävnad, men ögats optik bryter ihop strålen till näthinnan så att effekttätheten kan ökas med en faktor 10^5 jämfört med effekttätheten framför ögat. MTE-värdena tar hänsyn till fokuseringseffekten och gäller mätt framför ögats hornhinna.

För jämförelse med MTE-värdena mäts eller beräknas effekttätheten (W/m^2) eller energitätheten (J/m^2) vinkelrätt mot strålbanan som medelvärden över cirkulära areor med de diametrar som anges i tabell 1.

Begreppsförklaringar och beteckningar

<i>MTE</i>	står för maximalt tillåten exponering enligt svensk och internationell standard.
<i>Exponeringstid (t)</i>	är den totala tid (sekunder) under vilken bestrålning pågår. Tiden kan innefatta upprepade strålpulser.
<i>Pulstid (τ)</i>	är den tid (sekunder) under en strålpuls då den momentana effekten överstiger halva toppeffekten.
λ	betecknar våglängd i nanometer (nm).
<i>Våglängdsintervall och tidsintervall</i>	är skrivna med en form som t.ex. våglängdsintervallet 315–400 nm. Därmed avses $315 \leq \lambda < 400$ nm, om inte annat anges.
γ	betecknar den minsta plana toppvinkeln (milliradianer, mr) i en cirkulär kon inom vilken ett mätinstrument skall kunna registrera strålning, (acceptansvinkeln).
α	betecknar den plana synvinkel (mr) som en utbredd källa, t.ex. ett bestrålat område som reflekterar strålning i alla riktningar, upptar på det aktuella betraktningssavståndet. α är således den vinkel som erhålls med sin spets vid ögats hornhinna och med vinkelbenen riktade diametralt mot källans begränsningslinjer. För en avlång källa är α det aritmetiska medelvärdet av synvinklarna över längden respektive bredden. α_{MIN} är 1,5 mr. α_{MAX} är 100 mr. Om synvinklarna i verkligheten är mindre än 1,5 mr eller större än 100 mr skall man sätta in 1,5 respektive 100 mr, innan medelvärdet beräknas. α skall inte förväxlas med strålens spridningsvinkel (divergensvinkel).

MTE-värden

Tabell 1 mätarea

Spektralområde λ (nm)	Exponeringstid t (s)	Mätareans diameter (mm)	
		för öga	för hud
180 – 400	alla tider	1	3,5
400 – 1400	alla tider	7	3,5
$1400 - 10^5$	$\leq 0,35$	1	3,5
	$0,35 - 10$	$1,5 \cdot t^{3/8}$	3,5
	≥ 10	3,5	3,5
$10^5 - 10^6$	alla tider	11	11

Om strålens tvärsnittsdiameter är mindre än den angivna mätareans, skall den totala effekten i strålen eller den totala energin i en strålpuls tänkas vara jämnt fördelad över den angivna mätarean. Om strålen är utbredd – större än mätarean – skall den maximala faktiska effekttätheten eller energitätheten i strålen beaktas.

Exponering av öga för upprepade strålpulser kortare än 0,25 sekunder i våglängdsområdet 400 – 10^6 nm

MTE-tabellerna avser exponering för en enda bestrålning (singelpuls) som kan vara lång eller kort under en 8-timmarsperiod. Om lasern avger en serie av upprepade strålpulser (pulståg) eller om en laserapparat sveper, så att ett öga kan träffas en gång per svep, bestäms MTE för varje puls i pulståget enligt nedan.

Om flera pulser med pulstider längre än 10^{-9} sekunder förekommer inom tiden T_i , skall energitätheterna i pulserna summeras under tiden T_i . Antalet sådana storpulser skall sedan räknas, vilket ger talet N , och dess energitäthet jämföras med det beräknade MTE-värdet för pulser med tiden T_i . De värden på T_i som skall användas ges av tabell 2.

Tabell 2 T_i

Spektralområde λ (nm)	T_i (s)	Spektralområde λ (nm)	T_i (s)
400 – 1050	$18 \cdot 10^{-6}$	1500 – 1800	10
1050 – 1400	$50 \cdot 10^{-6}$	1800 – 2600	10^{-3}
1400 – 1500	10^{-3}	2600 – 10^6	10^{-7}

I övrigt gäller för ett pulståg följande:

- Energitätheten hos en enskild puls i pulståget får inte överskrida det MTE-värde som gäller för en sådan singelpuls.
- Den sammanlagda energitätheten hos ett pulståg respektive medeleffekttätheten hos ett pulståg under exponeringstiden t får inte överskrida vad som gäller för en singelpuls med varaktigheten t .
- MTE för varje puls i pulståget beräknas med följande procedur:
 - * Bestäm, enligt tabell, MTE för en ensam puls i pulståget.
 - * Bestäm antalet sådana pulser under exponeringstiden. Detta antal kallas N . I våglängdsområdet 400-1400 nm skall N bestämmas under den befarade eller planerade exponeringstiden, dock behöver man inte räkna under längre tid än T_2 (se not under tabell 4). För längre våglängder bestäms N under 10 sekunder.

* MTE för varje puls i pulståget = MTE för en ensam puls multiplicerad med $N^{-1/4}$.

* Om den ovan beskrivna proceduren leder till att toppeffekttätheten i en puls skulle bli lägre än den effekttäthet som enligt tabell tillåts under hela exponeringstiden i det kontinuerliga fallet, behöver pulseffekten inte minskas mer än till den som tillåts i det kontinuerliga fallet.

Tabell 3 Maximalt tillåten exponering (MTE) av öga för en singelpuls avseende skador av ultraviolett strålning samt fotokemiska skador i näthinnan

Våglängd λ (nm)	Exponeringstid t (s)	MTE		
180 – 302,5	$10^{-13} - 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{10}$		W/m ²
	$10^{-9} - 3 \cdot 10^4$	30		J/m ²
302,5 – 315	$10^{-13} - 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{10}$		W/m ²
	$10^{-9} - T_1$	$5600 \cdot t^{0,25}$		J/m ²
	$T_1 - 3 \cdot 10^4$	$10^{0,2(\lambda - 295)}$		J/m ²
315 – 400	$10^{-13} - 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{10}$		W/m ²
	$10^{-9} - 10$	$5600 \cdot t^{0,25}$		J/m ²
	$10 - 10^3$	10^4		J/m ²
	$10^3 - 3 \cdot 10^4$	10		W/m ²
Fotokemisk skada i näthinnan:				
400 – 450	$10 - 10^2$	100	($\gamma = 11$ mr)	J/m ²
	$10^2 - 10^4$	1	($\gamma = 1,1 \cdot t^{0,5}$ mr)	W/m ²
	$10^4 - 3 \cdot 10^4$	1	($\gamma = 110$ mr)	W/m ²
450 – 600	$10 - 10^2$	$100 \cdot 10^{0,02(\lambda - 450)}$	($\gamma = 11$ mr)	J/m ²
	$10^2 - 10^4$	$10^{0,02(\lambda - 450)}$	($\gamma = 1,1 \cdot t^{0,5}$ mr)	W/m ²
	$10^4 - 3 \cdot 10^4$	$10^{0,02(\lambda - 450)}$	($\gamma = 110$ mr)	W/m ²
400 – 484	$1 - 3 \cdot 10^4$	$100 \cdot 10^{0,02(\lambda - 450)}$	($1,5 \leq \alpha < 82$)	J/m ²

$$T_1 = 10^{0,8(\lambda - 295)} \cdot 10^{-15} \text{ s}$$

I våglängdsområdet 400 – 600 nm finns dubbla gränser avseende fotokemisk skada (tabell 3) respektive termisk skada i näthinnan (tabell 4). Det mest restriktiva villkoret skall vara gränssättande. I våglängdsområdet 400 – 484 nm gäller speciella förhållanden för exponeringstider längre än 1 sekund, om $\alpha \geq 1,5$ mr.

Tabell 4 MTE för en singelpuls avseende termiska skador i näthinnan

Våglängd λ (nm)	Exponeringstid t (s)	MTE	
400 – 700	$10^{-13} - 10^{-11}$	$1,5 \cdot 10^{-4} \cdot C_6$	J/m ²
	$10^{-11} - 10^{-9}$	$2,7 \cdot 10^4 \cdot t^{0,75} \cdot C_6$	J/m ²
	$10^{-9} - 1,8 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3} \cdot C_6$	J/m ²
	$1,8 \cdot 10^{-5} - T_2$	$18 \cdot t^{0,75} \cdot C_6$	J/m ²
	$T_2 - 3 \cdot 10^4$	10	($\alpha \leq 1,5$ mr) W/m ²
	$T_2 - 3 \cdot 10^4$	$18 \cdot C_6 \cdot T_2^{-0,25}$	($\alpha > 1,5$ mr) W/m ²
700 – 1050	$10^{-13} - 10^{-11}$	$1,5 \cdot 10^{-4} \cdot C_4 \cdot C_6$	J/m ²
	$10^{-11} - 10^{-9}$	$2,7 \cdot 10^4 \cdot t^{0,75} \cdot C_4 \cdot C_6$	J/m ²
	$10^{-9} - 1,8 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3} \cdot C_4 \cdot C_6$	J/m ²
	$1,8 \cdot 10^{-5} - T_2$	$18 \cdot t^{0,75} \cdot C_4 \cdot C_6$	J/m ²
	$T_2 - 3 \cdot 10^4$	$10 \cdot C_4$	($\alpha \leq 1,5$ mr) W/m ²
	$T_2 - 3 \cdot 10^4$	$18 \cdot C_4 \cdot C_6 \cdot T_2^{-0,25}$	($\alpha > 1,5$ mr) W/m ²
1050 – 1400	$10^{-13} - 10^{-11}$	$1,5 \cdot 10^{-3} \cdot C_6 \cdot C_7$	J/m ²
	$10^{-11} - 10^{-9}$	$2,7 \cdot 10^5 \cdot t^{0,75} \cdot C_6 \cdot C_7$	J/m ²
	$10^{-9} - 5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-2} \cdot C_6 \cdot C_7$	J/m ²
	$5 \cdot 10^{-5} - T_2$	$90 \cdot t^{0,75} \cdot C_6 \cdot C_7$	J/m ²
	$T_2 - 3 \cdot 10^4$	$50 \cdot C_7$	($\alpha \leq 1,5$ mr) W/m ²
	$T_2 - 3 \cdot 10^4$	$90 \cdot C_6 \cdot C_7 \cdot T_2^{-0,25}$	($\alpha > 1,5$ mr) W/m ²

$T_2 = 10$ s	för $\alpha \leq 1,5$ mr
$T_2 = 10 \cdot 10^{((\alpha - 1,5) / 98,5)}$ s	för $1,5 < \alpha \leq 100$ mr
$T_2 = 100$ s	för $\alpha > 100$ mr
$C_4 = 10^{0,002(\lambda - 700)}$	
$C_6 = 1$	för $\alpha \leq 1,5$ mr
$C_6 = \alpha / 1,5$	för $1,5 < \alpha \leq 100$ mr
$C_6 = 66,7$	för $\alpha > 100$ mr
$C_7 = 1$	för $1050 < \lambda \leq 1150$
$C_7 = 10^{0,018(\lambda - 1150)}$	för $1150 < \lambda \leq 1200$
$C_7 = 8$	för $1200 < \lambda \leq 1400$

Tabell 5 MTE för en singelpuls avseende termiska skador i ögats främre medier

Våglängd λ (nm)	Exponeringstid t (s)	MTE	
1400 – 1500	$10^{-13} - 10^{-9}$	10^{12}	W/m ²
	$10^{-9} - 10^{-3}$	1000	J/m ²
	$10^{-3} - 10$	$5600 \cdot t^{0,25}$	J/m ²
	$10 - 3 \cdot 10^4$	1000	W/m ²
1500 – 1800	$10^{-13} - 10^{-9}$	10^{13}	W/m ²
	$10^{-9} - 10$	10^4	J/m ²
	$10 - 3 \cdot 10^4$	1000	W/m ²

fortsättning

Tabell 5 (fortsättning) MTE avseende termiska skador i ögats främre medier

Våglängd λ (nm)	Exponeringstid t (s)	MTE	
1800 – 2600	$10^{-13} - 10^{-9}$	10^{12}	W/m ²
	$10^{-9} - 10^{-3}$	1000	J/m ²
	$10^{-3} - 10$	$5600 \cdot t^{0,25}$	J/m ²
	$10 - 3 \cdot 10^4$	1000	W/m ²
2600 – 10^6	$10^{-13} - 10^{-9}$	10^{11}	W/m ²
	$10^{-9} - 10^{-7}$	100	J/m ²
	$10^{-7} - 10$	$5600 \cdot t^{0,25}$	J/m ²
	$10 - 3 \cdot 10^4$	1000	W/m ²

Tabell 6 MTE för en singelpuls avseende exponering av hud

Våglängd λ (nm)	Exponeringstid t (s)	MTE	
180 – 400	alla tider	samma som för öga	
400 – 700	$< 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{11}$	W/m ²
	$10^{-9} - 10^{-3}$	200	J/m ²
	$10^{-3} - 10$	$1,1 \cdot 10^4 \cdot t^{0,25}$	J/m ²
	$10 - 3 \cdot 10^4$	2000	W/m ²
700 – 1050	$< 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{11} \cdot C_4$	W/m ²
	$10^{-9} - 10^{-3}$	$200 \cdot C_4$	J/m ²
	$10^{-3} - 10$	$1,1 \cdot 10^4 \cdot C_4 \cdot t^{0,25}$	J/m ²
	$10 - 3 \cdot 10^4$	$2000 \cdot C_4$	W/m ²
1050 – 1400	$< 10^{-9}$	10^{12}	W/m ²
	$10^{-9} - 10^{-3}$	10^3	J/m ²
	$10^{-3} - 10$	$5,5 \cdot 10^4 \cdot t^{0,25}$	J/m ²
	$10 - 3 \cdot 10^4$	10^4	W/m ²
1400 – 10^6	alla tider	samma som för öga	

$$C_4 = 10^{0,002(\lambda - 700)}$$

Vid exponering av hud för upprepade pulser tillämpas inte den procedur som används vid exponering av öga. I stället skall medeleffekttätheten eller den totala energitätheten i ett pulståg jämföras med MTE enligt tabellen för den aktuella exponeringstiden.

Laserklasser

Indelningen av lasrar i olika klasser, enligt den internationella standarden, är ett sätt att beroende på strålningsegenskaperna ge en grovsortering av lasrar med olika grader av skaderisker. En sammanfattning av dessa risker ges nedan. För de exakta klassgränserna hänvisas till standarden.

Klass 1

Lasrar i klassen är ofarliga även vid lång tids exponering. Antingen är lasrarna så svaga att de inte kan ge några skaderisker oavsett hur de hanteras, eller också rör det sig om apparater som innehåller lasrar – som i sig kan vara av en farligare klass – men som är inbyggda och förreglade så att ingen farlig strålning kommer ut. Den maximalt tillåtna strålningseffekten eller pulsenergin för lasrar i klassen är direkt kopplad till exponeringsgränsvärdena. Den övre klassgränsen är naturligtvis rigoröst definierad, men låter sig inte beskrivas enkelt.

Klass 1M

Lasrar vars totala effekt eller pulsenergi överskrider vad som tillåts i klass 1 (gäller såväl ultraviolett strålning, synlig strålning som infraröd strålning), men där strålen inte är smal utan utbredd. På så sätt kan exponeringsgränserna för ett obeväpnat öga eller oskyddad hud inte överskridas. Om strålknippen samlas t.ex. med en kikare eller en fiberända betraktas med en lupp, kan dock ofarligheten inte garanteras. M står för "magnifyer".

Klass 2

Klassen innehåller bara lasrar som avger synlig strålning varmed i laserstandardens menas strålning inom intervallet 400-700 nm. Exponering av ett oskyddat öga ger upphov till bländning och ögonlocket sluts reflexmässigt. Den naturliga avvärjningsreaktionen är tillräckligt snabb för att hindra överexponering av näthinnan. För cw-lasrar, dvs. sådana som kan lysa med konstant strålningseffekt, är den övre klassgränsen 1 mW.

Klass 2M

Klassen omfattar bara lasrar som avger synlig strålning (400-700 nm), Klass 2-gränsen får överskridas totalt, om strålknippen är utbredda enligt samma principer som för klass 1M. Genom pupillen i ett obeväpnat öga kan det inte passera mer än 1 mW. Om strålknippen inte samlas med hjälp av någon optik gäller alltså samma riskbedömning som för klass 2, dvs. blinkreflexen skyddar näthinnan.

Klass 3R

Klassen omfattar lasrar som avger upp till 5 gången klassgränsen för klass 1 vid motsvarande våglängder eller pulstider, om strålningen är osynlig. För synlig strålning tillåts upp till 5 gånger gränsen för klass 2. Här finns inget krav på utbredd stråle utan gränsvärdena för exponering av oskyddade ögon kan överskridas, men de innehåller sådana säkerhetsmarginaler att skador i praktiken inte uppstår. R står för "restricted".

Klass 3B

Om strålen är smal och har högre effekt eller pulsenergi än vad som tillåts i klass 3R är nästa högre klass 3B. Sådana lasrar betraktas som riskabla vid direkt exponering, även för hud närmare den övre klassgränsen. Reflexer från en matt yta är dock ofarlig att betrakta. För cw-lasrar är den övre klassgränsen 0,5 watt.

Klass 4

Omfattar alla lasrar som är starkare än klass 3B. Här kan det även vara farligt att oskyddad betrakta en upplyst fläck på en matt yta, åtminstone i något möjligt exponeringsfall. Klass 4-lasrar kan också väcka brand. Klassen saknar övre gräns.