

I vårt arbete exponeras vi näst intill konstant för synlig strålning från solen eller från artificiella ljuskällor. Av de senare är belysningsarmaturer och datorskärmar vanligast, men även en industriprocess som svetsning avger stora mängder synlig strålning.

Infraröd strålning, IR, avges av alla föremål. Höga nivåer förekommer vid stark upphettning av olika material, t.ex. vid metallsmältor, glas vid glasblåsning och IR-lampor för härdning. Infraröd strålning används även inom sjukvården vid exempelvis IR-diagnostik och IR-behandling. Infraröd strålning används också vid kommunikation mellan olika former av utrustning. Vid signalöverföring i datornätverk kan höga intensiteter av IR uppkomma.

Mätning av optisk strålning

Ultraviolett strålning kan bestämmas med flera olika mätmetoder baserade på fotokatoder, fotomultiplikator, halvledardetektorer, termiska detektorer eller med UV-dosimetrar baserade på polysulfonfilm eller sporutveckling. Valet av metod beror på i vilken grad man önskar detaljerad kännedom om våglängd, spektralfördelning, tidsvariationer eller totaldosen över tid.

I bilagorna anges gränsvärden även för synlig strålning i storheterna watt och joule trots att flertalet mätningar i det synliga området gäller belysning och då vanligen rapporteras i lux och candela. Gemensamt för de två senare storheterna är att de är proportionella mot näthinnans känslighet vid de olika våglängderna men oproportionella mot de hälsorisker som kan uppkomma i t.ex. hornhinnan, linsen och huden. Rent hälsovådligt höga strålningsflöden kan alltså förekomma vid våglängder där näthinnans ljuskänslighet är låg och därmed förrädiskt nog även luxtalet.

Vid mätning av strålningsflödet eller effekten av infraröd strålning -används vanligen radiometrar.

Hälsoeffekter

I Tabell 1 sammanfattas de skadeverkningar som strålning i olika våglängdsområden kan ge upphov till på såväl öga som hud.

Intensiv exponering för optisk strålning kan ge upphov till akuta skador på oskyddad hud och oskyddade ögon. Upprepad exponering för optisk strålning kan orsaka kroniska skador på ögon och hud samt leda till hudcancer. Hur svår skadan blir beror på stråldosen och våglängden.

Att laserstrålningen, till skillnad från konventionella optiska källor, är -koherent gör den inte i sig mer biologiskt farlig. Riskerna för skador på ögon och hud beror på strålningens ofta mycket höga intensitet i förening med att människans naturliga skyddsmekanismer inte längre räcker till. Dels kan ett väl samlat strålnippe från en laser utgöra en risk på mycket stora avstånd (hundratals meter även utan användandet av optiska system som t.ex. en kikare), dels kan en laser som sänder ut en serie av mycket kortvariga pulser medföra stora effekttätheter i ögat utan att utlösa de naturliga skyddsmekanismerna. Detta sammantaget har lett till att laserstrålningen har omgärdats med särskilda säkerhetsåtgärder. Indelningen av lasrar i olika klasser utgör den tekniska utgångspunkten i säkerhetsarbetet.

Tabell 1. Skadetyper vid exponering för optisk strålning

Spektralområde	Öga	Hud
UVC (180—280 nm)	Fotokeratit	Erytem
UVB (280—315 nm)	Som UVC	Erytem Elastos Pigmentering
UVA (315—400 nm)	Katarakt	Pigmentering Fotosensitiva reaktioner Brännskada
Synligt (380—780 nm)	Fotokemisk och termisk skada på näthinnan	Som UV-A
IRA (780—1 400 nm)	Termisk skada på näthinnan	Brännskada
IRB (1,4—3,0 µm)	Katarakt Termisk skada på hornhinnan	Som IRA
IRC (3,0 µm—1 mm)	Som IRB	Som IRA

Ögonskador

Ultraviolett strålning av olika våglängder absorberas på olika nivåer i ögat. Medan mer kortvågig strålning (UVB) i huvudsak absorberas i hornhinnan absorberas mer långvågig strålning (UVA) i linsen.

Ultraviolett strålning kan skada hornhinnan och ge upphov till s.k. svetsblänk eller snöblindhet (fotokeratit). Skadorna uppträder oftast några timmar efter exponering. Symptomen är smärta, tårflöde och obehag av ljus. Efter ett par dagar har skadan läkt. Vid mycket höga doser av ultraviolett strålning kan dock den bakre delen av hornhinnan (endotelcellerna) skadas vilket kan resultera i en permanent nedsättning av synen.

Sjukdomen grå starr – grumling av ögats lins – är vanlig hos äldre personer. Optisk strålning, i form av ultraviolett strålning och värmestrålning, anses vara en viktig faktor för utveckling av denna sjukdom.

Synlig strålning absorberas endast marginellt i hornhinnan och ögats lins och når därför relativt opåverkad in till näthinnan. Nivåerna kan således bli höga och där orsaka skador på fotoreceptorer och nervceller.

Infraröd strålning absorberas beroende av våglängden av hornhinnan och linsen och kan därmed skapa värmeinducerade skador på dessa vävnader. Glasblåsarstarr var tidigare en vanlig åkomma bland glasbruksarbetare som befunnit sig nära glassmältorna under långa tidsperioder.

Hudskador

Erytem (hudrodnad) uppkommer när huden överexponeras för UV-strålning. Erytemet uppträder redan några timmar efter exponering och når sitt maximum efter 12-24 timmar. Rodnaden är kombinerad med sveda och vid kraftig exponering kan det uppstå blåsor i huden på samma sätt som vid en brännskada. Risken för erytem beror dels på hudens UV-känslighet och på pigmenteringen hos individen och dels på våglängden.

När gränsvärdena för synlig strålning överskrids finns det risk för termiska effekter i form av brännskador på huden liksom för fotokemiska och termiska skador i ögats näthinna.

Stark infraröd strålning kan ge upphov till brännskador på oskyddad hud. Normalt uppfattar arbetstagaren denna

exponering i och med att huden smärtnar och svider redan vid exponeringen. Detta medför oftast att arbetet kan avbrytas innan svårare skador uppkommer.

Hudcancer

Ultraviolett strålning ökar risken för hudcancer och även läppcancer. Hudcancer förekommer i olika former; basalcellscancer, skivepitelcancer och malignt melanom.

För basalcellscancer och skivepitelcancer ökar sannolikheten att drabbas med ökande livstidsdos av ultraviolett strålning. De allra flesta som drabbas av dessa cancerformer kan botas men det är angeläget att tumörerna upptäcks i tid. För hudcancer av typen malignt melanom anses antalet tillfällen då man bränt sig i solen ha större betydelse. Denna cancerform är betydligt allvarligare än de båda förstnämnda och det är mycket viktigt för prognosen att melanom upptäcks i ett tidigt stadium.

Kommentarer till vissa paragrafer

Till 1 § Syftet med föreskrifterna är att skydda arbetstagare mot de skador på ögon och hud som kan uppkomma vid exponering för artificiell optisk strålning. Föreskrifterna motiveras av att flera av dessa skador är allvarliga och kroniska, i vissa fall livshotande. Om skada av t.ex. en stark laserstråle uppkommer på ögats näthinna medför detta oftast en livslång synnedsättning. Hudcancer av typen malignt melanom medför ett stort antal dödsfall varje år.

Till 2 § Föreskrifterna gäller enbart artificiell optisk strålning och således inte vid exponering för solstrålning. Skyddsåtgärder vid utomhusarbete erfordras enligt det generella kravet i AML 2 kap. 2 § på att yrkesarbete ska utföras i en sund och säker miljö. Råd och rekommendationer om hur man skyddar sig vid vistelse i starkt solljus finns bl.a. på Strålsäkerhetsmyndighetens hemsida www.ssm.se

Föreskrifter om ultraviolett strålning och laser utfärdas också av Strålsäkerhetsmyndigheten. Dessa gäller både inom och utanför arbetsmiljölagens tillämpningsområde. De innehåller hygieniska riktvärden och rekommendationer för ultraviolett strålning, bl.a. särskilda föreskrifter för användning av laser vid medicinska och odontologiska behandlingar och undersökningar samt för användning av laser för underhållning eller reklam.

I 1 § av Arbetsmiljöverkets föreskrifter om Medicinska kontroller i arbetslivet förtydligas ansvarsfördelningen mellan den arbetsgivare som hyr ut arbetskraft och den som hyr in densamma.

Till 3 §

Erbjuda medicinsk kontroll	Att erbjuda medicinsk kontroll innebär inget hinder eller förbud för arbetsgivaren att sysselsätta den som avböjt att genomgå sådan erbjuden kontroll. Det förutsätts att den erbjudna kontrollen inte medför några kostnader för arbetstagaren.
Gränsvärden för exponering	Om dessa gränsvärden respekteras kommer det att säkerställas att arbetstagare som exponeras för artificiella optiska strålkällor skyddas mot alla kända negativa hälsoeffekter.
Hälsoundersökning	Undersökningen kan genomföras med hjälp av ett frågeformulär, ett enskilt samtal eller kroppsundersökningar och provtagningar.
Infraröd strålning (IRS)	Det infraröda området indelas i IRA (780–1 400 nm), IRB (1 400–3 000 nm) och IRC (3 000 nm–1 mm).
Laserklass 3B	Sådana lasrar betraktas som riskabla för ögat både vid direkt exponering och vid exponering från en reflex. Reflexer från en matt yta är dock ofarliga att betrakta.
Laserklass 4	Här kan det även vara farligt att oskyddad betrakta en upplyst fläck på en matt yta. Klassen saknar övre gräns. Lasrar i denna klass kan skada både ögon och hud. De utgör även en brandfara om de har hög effekt. Lasrar som används för kirurgi och för att skära i olika material tillhör ofta denna klass.
Läkarundersökning	Vid läkarundersökning är det angeläget att patienten ges tid att samtala med läkaren.
Ultraviolett strålning (UVS); och UV-strålning	Det ultravioletta området indelas i UVA (315–400 nm), UVB (280–315 nm) och UVC (100–280 nm).

Till 4 § De i Bilaga I och II angivna gränsvärdena grundas på de gränsvärden som angetts av ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Dessa värden bygger på bästa möjliga information från experimentella studier och har fastställts så att de ligger under kända riskexponeringar. Gränsvärdena gäller en 8 timmars arbetsdag. Om exponeringen närmar sig gränsvärdet bör man undvika ytterligare exponering under de följande 16 timmarna. Syftet är att förebygga akuta skador. Värdena utgör ingen skarp gräns mellan säkra och skadliga exponeringsnivåer, men är satta så att varken ögon eller hud ska drabbas av några akuta skador om värdena inte överskrids. De innebär däremot inget säkert skydd mot sena skador, exempelvis hudcancer, till följd av UV-exponering. Erfarenheterna från skador orsakade av pulsad och modulerad laserstrålning är fortfarande begränsade, varför det är viktigt att vara särskilt försiktig när riskerna med dessa bedöms. Exponering för optisk strålning bör därför alltid hållas så låg som möjligt.

Den biologiska effekten av UV-strålning är starkt beroende av våglängden på strålningen. Förekommande strålkällor innehåller i normalfallet ett brett våglängdsområde. För att bedöma den sammanlagda skadliga effekten av en viss strålning behöver man därför väga samman intensiteten i alla förekommande våglängdsområden, se även 5 §. För att förenkla datorhantering kan vägningsfaktorerna $S(\lambda)$ i Tabell 1.2 i Bilaga I med tillräcklig noggrannhet för alla praktiska bedömningar erhållas ur analytiska uttryck som återfinns i Strålsäkerhetsmyndighetens Allmänna råd om

hygieniska riktvärden för ultraviolett strålning. Man bör även beakta skaderiskerna för dem som befinner sig i närheten av, men inte direkt arbetar med, en strålkälla.

Till 5 § Enligt 3 kap. 2a § Arbetsmiljölagen ska arbetsgivaren systematiskt planera, leda och kontrollera verksamheten så att arbetsmiljölagsstiftningens krav uppfylls. Detta innebär bl.a. att riskerna för skador till följd av exponering för ultraviolett strålning kan behöva bedömas och dokumenteras redan på planeringsstadiet liksom vid förändringar i verksamheten. I Arbetsmiljöverkets föreskrifter om Systematiskt arbetsmiljöarbete finns kraven vad gäller arbetsgivarens ansvar i detta avseende ytterligare beskrivna.

Vid flertalet arbetsplatser finns enbart s.k. triviala strålkällor för optisk strålning. Detta innebär att strålningen i normalfallet är så låg att ytterligarebestämning av exponeringen från dessa källor inte behövs. Exempel på -triviala strålningskällor är enligt kommissionens direktivhandbok:

1. Takmonterade lysrörsarmaturer med diffusor.
2. Bildskärmar för datorer och liknande.
3. Takmonterade armaturer med kompaktlysrör.
4. Kompaktlysrör för flodljus.
5. UVA-insektsfällor.
6. Takmonterade halogen spotlights.
7. Glödlampor som bordsbelysning.
8. Takmonterade glödlampor.
9. Fotokopiatorer.
10. Interaktiva whiteboard presentationsutrustningar.
11. Lysdioder i form av indikatorlampor.
12. Digitala kalendrar.
13. Fordonsbelysningar i form av bromsljus, positionsljus, blinkers, backljus och dimljus.
14. Kamerablixtar.
15. Gatubelysning.

Vid val av icke-triviala artificiella strålkällor är det lämpligt att i första hand välja strålkällor där tillverkaren eller leverantören har dokumenterat emissionen från produkten. Vid bedömningen av hur höga nivåer av artificiell optisk strålning som förekommer på arbetsplatsen kan då arbetsgivaren använda sig av dessa uppgifter. En förutsättning för detta är att utrustningen omfattas av relevanta gemenskapsdirektiv, dvs. att tillverkarens uppgifter om hur mycket optisk strålning apparaturen avger, bestämts enligt standarder som är accepterade inom EU, t.ex. lågspänningsdirektivet och liknande dokument angivna av IEC, CIE och CEN. Normalt kan tillverkare av strålkällor tillhandahålla dessa uppgifter. Om tillverkaren eller leverantören inte kan ge data om UV-emissionen får den arbetsmiljöansvarige själv skaffa sig kunskap om emissionsförhållandena och förvissa sig om att den exponering som uppstår inte ger upphov till skadliga effekter. Ett flertal exempel på icke-triviala strålkällor finns i kommissionens direktivhandbok.

Till 6 § Uppskattningen av exponeringen för artificiell optiskt strålning bör genomföras med intervall som inte överstiger fem år även om verksamheten fortgått relativt oförändrad vad gäller denna exponering för optiskt strålning. När förutsättningarna ändras behövs nya exponeringsuppskattningar.

Med sakkunnig person avses att den som utför dessa har den utbildning och praktiska erfarenhet som krävs för att resultatet ska vara tillförlitligt.

BILAGA I

Icke-koherent optisk strålning

De biofysiskt relevanta värdena för exponering för optisk strålning kan fastställas med hjälp av nedanstående formler. Vilka formler som skall användas beror på inom vilket område strålningen sänds ut från strålkällan och resultatet bör jämföras med motsvarande gränsvärden för exponering som anges i tabell 1.1. Mer än ett värde för exponering och motsvarande gränsvärde för exponering kan vara relevant för en given källa för optisk strålning.

Beteckningarna a-o hänvisar till motsvarande rader i tabell 1.1.

a)
$$H_{\text{eff}} = \int_0^t \int_{\lambda=180 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda \cdot dt$$
 (H_{eff} är endast relevant i området 180-400 nm)

b)
$$H_{\text{UVA}} = \int_0^t \int_{\lambda=315 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt$$
 (H_{UVA} är endast relevant i området 315-400 nm)

c, d)
$$L_B = \int_{\lambda=300 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} L_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda$$
 (L_B är endast relevant i området 300-700 nm)

e, f)
$$E_B = \int_{\lambda=300 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda$$
 (E_B är endast relevant i området 300-700 nm)

g-l)
$$L_R = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda}(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda$$
 (Se tabell 1.1 för relevanta värden på λ_1 och λ_2)

m, n)
$$E_{\text{IR}} = \int_{\lambda=780 \text{ nm}}^{\lambda=3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda$$
 (E_{IR} är endast relevant i området 780-3 000 nm)

o)
$$H_{\text{skin}} = \int_0^t \int_{\lambda=380 \text{ nm}}^{\lambda=3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt$$
 (H_{skin} är endast relevant i området 380-3 000 nm)

För att uppnå syftet med detta direktiv kan ovanstående formler ersättas med följande uttryck och användning av de värden som anges i de följande tabellerna:

a)
$$E_{\text{eff}} = \int_{\lambda=180 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot S(\lambda) \cdot \lambda$$
 och $H_{\text{eff}} = E_{\text{eff}} \cdot \Delta t$

b)
$$E_{\text{UVA}} = \int_{\lambda=315 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot \lambda$$
 och $H_{\text{UVA}} = E_{\text{UVA}} \cdot \Delta t$

c, d)
$$L_B = \int_{\lambda=300 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} L_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \lambda$$

e, f)
$$E_B = \int_{\lambda=300 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \lambda$$

g-l)
$$L_R = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$
 (Se tabell 1.1 för relevanta värden på λ_1 och λ_2)

m, n)
$$E_{IR} = \int_{\lambda=780\text{ nm}}^{\lambda=3000\text{ nm}} E_\lambda \cdot \lambda$$

o)
$$E_{skin} = \int_{\lambda=380\text{ nm}}^{\lambda=3000\text{ nm}} E_\lambda \cdot \lambda$$
 och $H_{skin} = E_{skin} \cdot \Delta t$

Anmärkningar:

E_λ (λ , t), E_λ *spektral irradians eller spektral effektivitet*: effekten av den infallande strålningen på en yta per areaenhet, uttryckt i watt per kvadratmeter per nanometer [$\text{W m}^{-2} \text{nm}^{-1}$]; värdena på E_λ (λ , t) och E_λ kommer från mätningar eller kan tillhandahållas av tillverkaren av utrustningen.

E_{eff} *effektiv irradians (UV-område)*: beräknad irradians inom UV-våglängdsområdet 180 nm och 400 nm spektralt viktad med $S(\lambda)$, uttryckt i watt per kvadratmeter [W m^{-2}].

H *strålningsexponering*: integralen av irradiansen över tiden, uttryckt i joule per kvadratmeter [J m^{-2}].

H_{eff} *effektiv strålningsexponering*: strålningsexponering spektralt viktad med $S(\lambda)$, uttryckt i joule per kvadratmeter [J m^{-2}].

E_{UVA} *total irradians (UVA)*: beräknad irradians inom UVA-våglängdsområdet 315-400 nm, uttryckt i watt per kvadratmeter [W m^{-2}].

H_{UVA} *strålningsexponering*: integralen eller summan av irradiansen över tid och våglängd inom UVA-våglängdsområdet 315 nm och 400 nm, uttryckt i joule per kvadratmeter [J m^{-2}].

$S(\lambda)$ *spektral viktning*: hänsyn tas till att hälsoeffekterna av UV-strålning på ögon och hud är beroende av våglängden (tabell 1.2) [dimensionslös].

t, Δt *tid, exponeringens duration*: uttryckt i sekunder [s].

λ *våglängd*: uttryckt i nanometer [nm].

$\Delta \lambda$ *bandbredd*: uttryckt i nanometer [nm], av beräknings- eller mätintervallen.

$L_\lambda(\lambda)$, L_λ *spektral radians*: från källan, uttryckt i watt per kvadratmeter per steradian per nanometer [$\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{nm}^{-1}$].

$R(\lambda)$ *spektral viktning*: hänsyn tas till att den termiska skadan på ögat som orsakas av synlig strålning och IRA-strålning är beroende av våglängden (tabell 1.3) [dimensionslös].

L_R *effektiv radians (termisk skada)*: beräknad strålning spektralt viktad med $R(\lambda)$, uttryckt i watt per kvadratmeter per steradian [$\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$].

$B(\lambda)$ *spektral viktning*: hänsyn tas till att den fotokemiska skadan på ögat som orsakas av strålning av blått ljus är beroende av våglängden (tabell 1.3) [dimensionslös].

L_B *effektiv radians (blått ljus)*: beräknad radians spektralt viktad med $B(\lambda)$, uttryckt i watt per kvadratmeter per steradian [$\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$].

E_B *effektiv irradians (blått ljus)*: beräknad irradians spektralt viktad med $B(\lambda)$, uttryckt i watt per kvadratmeter [W m^{-2}].

E_{IR} *total irradians (termisk skada)*: beräknad irradians för infraröd strålning i våglängdsområdet 780 nm och 3 000 nm, uttryckt i watt per kvadratmeter [W m^{-2}].

E_{skin} *total irradians (synlig, IRA och IRB)*: beräknad irradians för synlig och infraröd strålning i våglängdsområdet 380 nm och 3 000 nm, uttryckt i watt per kvadratmeter [W m^{-2}].

H_{skin} *strålningsexponering*: integralen eller summan av irradiansen över tid och våglängd inom våglängdsområdet 380 nm och 3 000 nm för synlig och infraröd strålning, uttryckt i joule per kvadratmeter [J m^{-2}].

α *infallsvinkel*: infallsvinkeln från en strålkälla, betraktad från en punkt i rummet, uttryckt i milliradianer (mrad). En strålkälla är det verkliga eller virtuella föremål som ger minsta möjliga bild på näthinna.

Tabell 1.1

Gränsvärden för exponering för icke-koherent optisk strålning

Index	Våglängd i nm	Gränsvärde för exponering (ELV)	Enhet	Anmärkning	Kroppsdell	Risk
a.	180-400 (UVA, UVB och UVC)	$H_{\text{eff}} = 30$ 8 timmar per dag	$[J\ m^{-2}]$		ögonhinnorna innehinnorna ögonlinsen hud	fotokeratit konjunktivit kataraktogenes erytem elastos hudcancer
b.	315-400 (UVA)	$H_{\text{UV-A}} = 10^4$ 8 timmar per dag	$[J\ m^{-2}]$		ögonlinsen	kataraktogenes
c.	300-700 (blått ljus) se not 1	$L_{\text{B}} = \frac{10^6}{t}$ för $t \leq 10\,000\ s$	$L_{\text{B}} [W\ m^{-2}\ sr^{-1}]$ t : [sekunder]	för $\alpha \geq 11\ mrad$		
			$[W\ m^{-2}\ sr^{-1}]$			
d.	300-700 (blått ljus) se not 1	$L_{\text{B}} = 100$ för $t > 10\,000\ s$	$E_{\text{B}} [W\ m^{-2}]$ t : [sekunder]	för $\alpha < 11\ mrad$ se not 2	ögon näthinna	fotoretinit
			$[W\ m^{-2}]$			
e.	300-700 (blått ljus) se not 1	$E_{\text{B}} = \frac{100}{t}$ för $t \leq 10\,000\ s$	$E_{\text{B}} [W\ m^{-2}]$ t : [sekunder]	för $\alpha < 11\ mrad$ se not 2	ögon näthinna	fotoretinit
			$[W\ m^{-2}]$			
f.	300-700 (blått ljus) se not 1	$E_{\text{B}} = 0,01$ $t > 10\,000\ s$	$E_{\text{B}} [W\ m^{-2}]$ t : [sekunder]	för $\alpha < 11\ mrad$ se not 2	ögon näthinna	fotoretinit
			$[W\ m^{-2}]$			

Index	Vågslängd i nm	Gärningsstärke för exponering (ELV)	Enhet	Anmärkning	Kroppsdel	Risk
g.	380-1 400 (Synligt och IRA)	$L_R = \frac{2,8 \cdot 10^7}{C_a}$ för $t > 10$ s	$[W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$	$C_a = 1,7$ för $\alpha \leq 1,7$ mrad $C_a = \alpha$ för $1,7 \leq \alpha \leq 100$ mrad $C_a = 100$ för $\alpha > 100$ mrad $\lambda_1 = 380; \lambda_2 = 1 400$	öga näthinna	brännskada på näthinnan
h.	380-1 400 (Synligt och IRA)	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_a t^{0,25}}$ för $10 \mu s \leq t \leq 10$ s	$L_R [W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$ t : [sekunder]			
i.	380-1 400 (Synligt och IRA)	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_a}$ för $t < 10 \mu s$	$[W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$			
j.	780-1 400 (IRA)	$L_R = \frac{6 \cdot 10^6}{C_a}$ för $t > 10$ s	$[W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$	$C_a = 11$ för $\alpha \leq 11$ mrad $C_a = \alpha$ för $11 \leq \alpha \leq 100$ mrad $C_a = 100$ för $\alpha > 100$ mrad (synfält: 11 mrad) $\lambda_1 = 780; \lambda_2 = 1 400$	öga näthinna	brännskada på näthinna
k.	780-1 400 (IRA)	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_a t^{0,25}}$ för $10 \mu s \leq t \leq 10$ s	$L_R [W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$ t : [sekunder]			
l.	780-1 400 (IRA)	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_a}$ för $t < 10 \mu s$	$[W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$			
m.	780-3 000 (IRA och IRB)	$E_{IR} = 18 000 t^{-0,75}$ för $t \leq 1 000$ s	E : $[W \cdot m^{-2}]$ t : [sekunder]		öga hornhinna lins	brännskada på hornhinna katarakt
n.	780-3 000 (IRA och IRB)	$E_{IR} = 100$ för $t > 1 000$ s	$[W \cdot m^{-2}]$			

Index	Våglängd i nm	Gränsvärde för exponering (ELV)	Enhet	Anmärkning	Kroppsdelen	Risk
0.	380-3 000 (Synligt, IRA och IRB)	$H_{400} = 20\,000\ t^{0,25}$ för $t < 10\ s$	H: [$J\ m^{-2}$] t: [sekunder]		hud	brännskada

Not 1: Området 300-700 nm täcker delar av UVB-strålning, all UVA-strålning och merparten av synlig strålning. Den associerade skadan kallas emellertid i allmänhet "blåttjusskador". Blåttjus i egentlig mening täcker bara ungefär området 400-490 nm.

Not 2: För stadig fixering av mycket små källor med en infallsvinkel på < 11 mrad, kan I_{μ} konverteras till E_{μ} . Detta är normalt bara tillämpligt för ofthalmologiska instrument eller ett stabiliserat öga under anestesi. Den maximala tid ögat kan stirra beräknas genom: $t_{max} = 100/E_{\mu}$ med E_{μ} uttryckt i $W\ m^{-2}$. På grund av ögonrörelser under normala synuppgifter överstiger denna inte 100 s.

Tabell 1.2

S (Å) [dimensionslös], 180 nm-400 nm

λ i nm	S (Å)	λ i nm	S (Å)	λ i nm	S (Å)	λ i nm	S (Å)	λ i nm	S (Å)
180	0,0120	228	0,1737	276	0,9434	324	0,000520	372	0,000086
181	0,0126	229	0,1819	277	0,9272	325	0,000500	373	0,000083
182	0,0132	230	0,1900	278	0,9112	326	0,000479	374	0,000080
183	0,0138	231	0,1995	279	0,8954	327	0,000459	375	0,000077
184	0,0144	232	0,2089	280	0,8800	328	0,000440	376	0,000074
185	0,0151	233	0,2188	281	0,8568	329	0,000425	377	0,000072
186	0,0158	234	0,2292	282	0,8342	330	0,000410	378	0,000069
187	0,0166	235	0,2400	283	0,8122	331	0,000396	379	0,000066
188	0,0173	236	0,2510	284	0,7908	332	0,000383	380	0,000064
189	0,0181	237	0,2624	285	0,7700	333	0,000370	381	0,000062
190	0,0190	238	0,2744	286	0,7420	334	0,000355	382	0,000059
191	0,0199	239	0,2869	287	0,7151	335	0,000340	383	0,000057
192	0,0208	240	0,3000	288	0,6891	336	0,000327	384	0,000055
193	0,0218	241	0,3111	289	0,6641	337	0,000315	385	0,000053
194	0,0228	242	0,3227	290	0,6400	338	0,000303	386	0,000051
195	0,0239	243	0,3347	291	0,6186	339	0,000291	387	0,000049
196	0,0250	244	0,3471	292	0,5980	340	0,000280	388	0,000047
197	0,0262	245	0,3600	293	0,5780	341	0,000271	389	0,000046
198	0,0274	246	0,3730	294	0,5587	342	0,000263	390	0,000044
199	0,0287	247	0,3865	295	0,5400	343	0,000255	391	0,000042
200	0,0300	248	0,4005	296	0,4984	344	0,000248	392	0,000041
201	0,0334	249	0,4150	297	0,4600	345	0,000240	393	0,000039
202	0,0371	250	0,4300	298	0,3989	346	0,000231	394	0,000037
203	0,0412	251	0,4465	299	0,3459	347	0,000223	395	0,000036
204	0,0459	252	0,4637	300	0,3000	348	0,000215	396	0,000035
205	0,0510	253	0,4815	301	0,2210	349	0,000207	397	0,000033
206	0,0551	254	0,5000	302	0,1629	350	0,000200	398	0,000032
207	0,0595	255	0,5200	303	0,1200	351	0,000191	399	0,000031
208	0,0643	256	0,5437	304	0,0849	352	0,000183	400	0,000030
209	0,0694	257	0,5685	305	0,0600	353	0,000175		
210	0,0750	258	0,5945	306	0,0454	354	0,000167		
211	0,0786	259	0,6216	307	0,0344	355	0,000160		
212	0,0824	260	0,6500	308	0,0260	356	0,000153		
213	0,0864	261	0,6792	309	0,0197	357	0,000147		
214	0,0906	262	0,7098	310	0,0150	358	0,000141		
215	0,0950	263	0,7417	311	0,0111	359	0,000136		
216	0,0995	264	0,7751	312	0,0081	360	0,000130		
217	0,1043	265	0,8100	313	0,0060	361	0,000126		
218	0,1093	266	0,8449	314	0,0042	362	0,000122		
219	0,1145	267	0,8812	315	0,0030	363	0,000118		
220	0,1200	268	0,9192	316	0,0024	364	0,000114		
221	0,1257	269	0,9587	317	0,0020	365	0,000110		
222	0,1316	270	1,0000	318	0,0016	366	0,000106		
223	0,1378	271	0,9919	319	0,0012	367	0,000103		
224	0,1444	272	0,9838	320	0,0010	368	0,000099		
225	0,1500	273	0,9758	321	0,000819	369	0,000096		
226	0,1583	274	0,9679	322	0,000670	370	0,000093		
227	0,1658	275	0,9600	323	0,000540	371	0,000090		

Tabell 1.3

B (λ), R (λ) [dimensionslös], 380 nm-1 400 nm

λ i nm	B (λ)	R (λ)
300 ≤ λ < 380	0,01	–
380	0,01	0,1
385	0,013	0,13
390	0,025	0,25
395	0,05	0,5
400	0,1	1
405	0,2	2
410	0,4	4
415	0,8	8
420	0,9	9
425	0,95	9,5
430	0,98	9,8
435	1	10
440	1	10
445	0,97	9,7
450	0,94	9,4
455	0,9	9
460	0,8	8
465	0,7	7
470	0,62	6,2
475	0,55	5,5
480	0,45	4,5
485	0,32	3,2
490	0,22	2,2
495	0,16	1,6
500	0,1	1
500 < λ ≤ 600	$10^{0,02(450-\lambda)}$	1
600 < λ ≤ 700	0,001	1
700 < λ ≤ 1 050	–	$10^{0,002(700-\lambda)}$
1 050 < λ ≤ 1 150	–	0,2
1 150 < λ ≤ 1 200	–	$0,2 \cdot 10^{0,02(1\,150-\lambda)}$
1 200 < λ ≤ 1 400	–	0,02

BILAGA II

Optisk strålning från laser

De biofysiskt relevanta värdena för exponering för optisk strålning kan fastställas med hjälp av nedanstående formler. Vilka formler som skall användas beror på våglängden och durationen av den strålning som sänds ut från strålkällan och resultaten bör jämföras med motsvarande gränsvärden för exponering som anges i tabellerna 2.2-2.4. Mer än ett värde för exponering och motsvarande gränsvärde för exponering kan vara tillämpligt för en given källa för optisk strålning från laser.

Koefficienter som används för beräkningarna i tabellerna 2.2-2.4 anges i tabell 2.5 och korrigeringar för upprepad exponering anges i tabell 2.6.

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

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

Anmärkningar:

dP *effekt*: uttryckt i watt [W].

dA *yta*: uttryckt i kvadratmeter [m²].

E (t), E *irradians eller effekttäthet*: effekten av den infallande strålningen på en yta per areaenhet, vanligen uttryckt i watt per kvadratmeter [W m⁻²]. Värdena på E(t), E kommer från mätningar eller kan tillhandahållas av tillverkaren av utrustningen.

H *strålningsexponering*: integralen av irradiansen över tiden, uttryckt i joule per kvadratmeter [J m⁻²].

t *tid, duration av exponeringen*: uttryckt i sekunder [s].

λ *våglängd*: uttryckt i nanometer [nm].

γ *begränsande konvinkel för synfält*: uttryckt i milliradianer [mrad].

γ_m *synfält*: uttryckt i milliradianer [mrad].

α *infallsvinkel*: för en källa uttryckt i milliradianer [mrad].

begränsande apertur: cirkulär yta inom vilken genomsnittlig exponering för irradians och strålning beräknas.

G *integrerad radians*: integralen av irradiansen över en given exponeringstid uttryckt som strålningsenergi per ytenhet av en strålände yta per rymdvinkelenhet, uttryckt i joule per kvadratmeter per steradian [J m⁻² sr⁻¹].

Tabell 2.1

Strålningsrisker

Våglängd [nm] γ	Strålnings- område	Påverkat organ	Risk	Tabell över gränsvärden för exponering
180-400	UV	öga	fotokemisk skada och termisk skada	2.2, 2.3
180-400	UV	hud	erytem	2.4
400-700	synligt	öga	skada på näthinna	2.2
400-600	synligt	öga	fotokemisk skada	2.3
400-700	synligt	hud	termisk skada	2.4
700-1 400	IRA	öga	termisk skada	2.2, 2.3
700-1 400	IRA	hud	termisk skada	2.4
1 400-2 600	IRB	öga	termisk skada	2.2
2 600-10 ⁶	IRC	öga	termisk skada	2.2
1 400-10 ⁶	IRB, IRC	öga	termisk skada	2.3
1 400-10 ⁶	IRB, IRC	hud	termisk skada	2.4

Tabell

Gränsvärden för laserexp nerling av öga - K r t exp nerlingsti < 10 s

Våglängd ^a [nm]	Dura ion [s]						
	10 ⁻¹³ - 10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹ - 10 ⁻⁹	10 ⁻⁹ - 10 ⁻⁷	10 ⁻⁷ - 1,8 · 10 ⁻⁵	1,8 · 10 ⁻⁵ - 5 · 10 ⁻⁵	5 · 10 ⁻⁵ - 10 ⁻³	10 ⁻³ - 10 ⁰
UYC	Apertur						
180-280							
280-302	< 10 s						
303							
304	< 10 s						
305							
306							
307							
308							
309							
310							
311							
312							
313							
314							
315-400							
UYA	1 mm för						
400-700							
700-1050							
IRA	2 mm						
1050-1400							
1400-1500							
1500-1800							
1800-2600							
2600-10 ⁶							

a Om lasers vågläng mätas av två gränsvär enskall e mes restriktiva tillämpas.
b Om 1 400 ≤ λ < 10⁵ nm : aperturdiometer = 1 mm för ≤ 0,3 s ch 1,5 · 10³ mm för 0,3 s < t < 10 s ; m 10⁵ ≤ λ < 10⁶ nm : aper urdiometer = 11 mm.
c På grund av bristande ata för dessa pulslängder rekommenderar IC IRP användning av 1 ns som gränsvärde för fradians.
Tabellen ger värden för ensstaka laserpulser. Om laserpulserna är flera, nns e laserpulser urati nen för pulser i m e intervall T_{min} (förteckning i abell 2.6) läggas ihop och det resul eran e idsvärdet fyllas i för i formeln: 5,6 · 10³ · t^{0,25}.

Tabell 3
Gränsvärden för laserexp nerering av öga - Lång exp nereringstid ≥ 10 s

Våglängd ^a [nm]	Apertur	Duration [s]	
		$10^1 - 10^2$	$10^2 - 10^4$
UVC	3,5 mm	$H = 30 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$	$10^4 - 3 \cdot 10^4$
		$H = 40 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$	
		$H = 60 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$	
		$H = 100 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$	
		$H = 160 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$	
		$H = 250 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$	
		$H = 400 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$	
		$H = 630 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$	
		$H = 1,0 \cdot 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$	
		$H = 1,6 \cdot 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$	
		$H = 2,5 \cdot 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$	
		$H = 4,0 \cdot 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$	
		$H = 6,3 \cdot 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$	
		$H = 10^4 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$	
UVA	7 mm	$H = 100 C_6 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ ($\gamma = 11 \text{ mrad}$)	$E = 1 C_6 \text{ [W m}^{-2}\text{]}$; ($\gamma = 1,1 \cdot 0,5 \text{ mra}$)
		$E = 1 C_6 \text{ [W m}^{-2}\text{]}$ ($\gamma = 110 \text{ mrad}$)	
Sjvligt 400-700	7 mm	om $\alpha < 1,5 \text{ mra}$ så är $E = 10 \text{ [W m}^{-2}\text{]}$	
		om $\alpha > 1,5 \text{ mra}$ så är $H = 18 C_E \cdot 0,75 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$	
IRA	7 mm	om $\alpha > 1,5 \text{ mra}$ så är $E = 18 C_E T_E \cdot 0,25 \text{ [W m}^{-2}\text{]}$	
		om $\alpha > 1,5 \text{ mra}$ så är $E = 10 C_A C_C \text{ [W m}^{-2}\text{]}$	
IRB och IRC	7 mm	om $\alpha < 1,5 \text{ mra}$ så är $H = 18 C_A C_C C_E \cdot 0,75 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$	
		om $\alpha > 1,5 \text{ mra}$ så är $E = 18 C_A C_C C_E T_E \cdot 0,25 \text{ [W m}^{-2}\text{]}$ (får inte överstiga 1 000 W m ⁻²)	
IRA	700-1 400		$E = 1 000 \text{ [W m}^{-2}\text{]}$
IRB och IRC	1 400-10 ⁶		$E = 1 000 \text{ [W m}^{-2}\text{]}$

- a Om våglängden eller något annat villkor för lasern mfa as av vå gränsvärden skall det mest restriktiva illämpas.
- b För små källor med en infallsvinkel på högst 1,5 mrad minskas de dubbla gränsvärdena E för synlig strålning på 400 nm–600 nm till de ermiska gränsvärdena för $10 \text{ s}^{-1} < T_1$ och till $e f$ kemiska gränsvärdena för längre tidperioder. För T_1 och T_2 se tabel 2.5. Gränsvärde för f kemiska skador på näthinnan kan också uttryckas som t_i integrerat i ans $G = 106 \text{ C}_0 [J \text{ m}^{-2} \text{ sr}^{-1}]$ för $t > 10 \text{ s}$ upp till $t = 10\,000 \text{ s}$ och $L = 100 \text{ C}_0 [W \text{ m}^{-2} \text{ sr}^{-1}]$ för $t > 10\,000 \text{ s}$. För måningen av G och L skall y_m användas som gränsvärde för synfält. Den officiella gränsen mellan synligt ljus och infrarött ljus är 780 nm enligt CIE:s definition. Kolumnen med beaktningar på våglängdsband är en avseende för användningen av CE; beaktningen L används av CIE; beaktningen L_{1p} används av IEC och CENELEC.)
- c För våglängden 1400–10⁵ nm: aperturdiameter = 3,5 mm; för våglängden 10⁵–10⁶ nm: aperturdiameter = 11 mm.
 För måning av värde för exponering skall y_m definieras på följande sätt: Om α (en källas infallsvinkel) > y (begränsande konvinkel, anges inom parentes i m svarande kolumn) så bör mätningssynfältet y_m ges värdet på y . (Om ett större mätningssynfält används ska minner å risken överskattas.)
 Om $\alpha < y$ skall synfältet y_m vara tillräckligt stort för att fullständigt innesluta källan men begränsas inte för övrigt och får vara större än y .

Tabell 4

Gränsvärden för laserexponering av hu

Våglängds [nm]	Apertur	Dura ion [s]			
		$< 10^{-9}$	$10^{-9} - 10^{-7}$	$10^{-7} - 10^{-3}$	$10^{-3} - 10^4$
UV (A, B, C) 180-400	3,5 mm	$E = 3 \cdot 10^{10} [W m^{-2}]$	Samma gränsvärden som för exponering av ögat		
Synligt och IRA 400-700 700-1400		$E = 2 \cdot 10^{11} [W m^{-2}]$	$H = 200 C_A [J m^{-2}]$	$H = 1,1 \cdot 10^4 C_A^{0,25} [J m^{-2}]$	$E = 2 \cdot 10^8 C_A [W m^{-2}]$
		$E = 2 \cdot 10^{11} C_A [W m^{-2}]$			
IRB och IRC 1400-1500 1500-1800 1800-2600 2600-10 ⁶		$E = 10^{12} [W m^{-2}]$	Samma gränsvärden som för exponering av ögat		
		$E = 10^{12} [W m^{-2}]$			
		$E = 10^{12} [W m^{-2}]$			
		$E = 10^{11} [W m^{-2}]$			

a Om våglängden eller någon annan villkor för lasern omfattas av våra gränsvärden skall det mest restriktiva tillämpas.

Tabell 2.5

Tillämpade korrektionsfaktorer och andra beräkningsparametrar

Parameter enligt ICNIRP	Giltigt spektralområde (nm)	Värde
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 enligt ICNIRP	Giltigt för biologisk effekt	Värde
α_{\min}	alla termiska effekter	$\alpha_{\min} = 1,5 \text{ mrad}$
Parameter enligt ICNIRP	Giltigt vinkelområde (mrad)	Värde
C_E	$\alpha < \alpha_{\min}$	$C_E = 1,0$
	$\alpha_{\min} < \alpha < 100$	$C_E = \alpha/\alpha_{\min}$
	$\alpha > 100$	$C_E = \alpha^2/(\alpha_{\min} \cdot \alpha_{\max}) \text{ mrad med } \alpha_{\max} = 100 \text{ mrad}$
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 enligt ICNIRP	Giltigt tidsintervall för exponering (s)	Värde
γ	$t \leq 100$	$\gamma = 11$ [mrad]
	$100 < t < 10^4$	$\gamma = 1,1 t^{0,5}$ [mrad]
	$t > 10^4$	$\gamma = 110$ [mrad]

Tabell 2.6

Korrektion vid upprepad exponering

Var och en av följande tre allmänna regler bör tillämpas på all upprepad exponering från lasersystem med upprepade pulser eller scanning:

1. Exponeringen för en enskilda puls i en följd av pulser får inte överstiga gränsvärdet för exponering för en enskilda puls av den pulsdurationen.
2. Exponeringen för en grupp av pulser (eller en undergrupp av pulser i en följd av pulser) under tiden t får inte överstiga gränsvärdet för exponering för tiden t .
3. Exponeringen för en enskilda puls inom en grupp av pulser får inte överstiga gränsvärdet för exponering för en enskilda puls multiplicerat med en kumulativ-termal korrigeringsfaktor $C_p = N^{-0,25}$, där N är antalet pulser. Denna regel gäller endast gränsvärden för exponering i syfte att skydda mot termiska skador, där alla pulser under kortare tid än T_{min} behandlas som en enda puls.

Parameter	Giltigt spektralområde (nm)	Värde
T_{min}	$315 < \lambda \leq 400$	$T_{min} = 10^{-9}$ s (= 1 ns)
	$400 < \lambda \leq 1\ 050$	$T_{min} = 18 \cdot 10^{-6}$ s (= 18 μ s)
	$1\ 050 < \lambda \leq 1\ 400$	$T_{min} = 50 \cdot 10^{-6}$ s (= 50 μ s)
	$1\ 400 < \lambda \leq 1\ 500$	$T_{min} = 10^{-3}$ s (= 1 ms)
	$1\ 500 < \lambda \leq 1\ 800$	$T_{min} = 10$ s
	$1\ 800 < \lambda \leq 2\ 600$	$T_{min} = 10^{-3}$ s (= 1 ms)
	$2\ 600 < \lambda \leq 10^6$	$T_{min} = 10^{-7}$ s (= 100 ns)