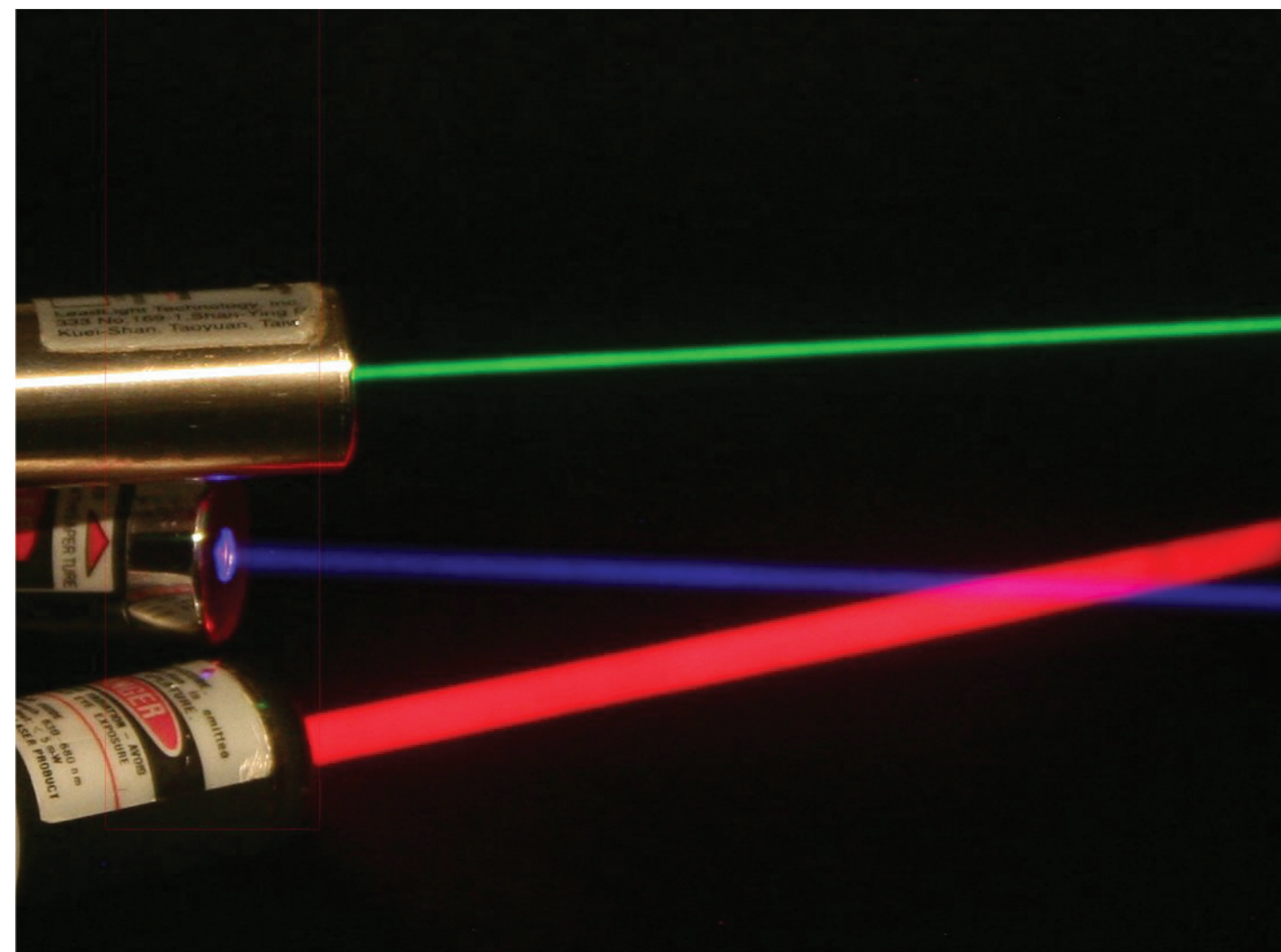


CESAR LOPES, SÖREN SVENSSON OCH JOHAN ÖHGREN



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.

Cesar Lopes, Sören Svensson och Johan Öhgren

Starka handhållna lasrar

Hotutveckling och skyddsmöjligheter

Titel	Starka handhållna lasrar – Hotutveckling och skyddsmöjligheter
Title	Strong handheld lasers – Threat development and protection possibilities
Rapportnr/Report no	FOI-R--3036--SE
Rapporttyp Report Type	Underlagsrapport Base data report
Sidor/Pages	43
Månad/Month	September/September
Utgivningsår/Year	2010
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	FM
Projektnr/Project no	E53190
Godkänd av/Approved by	Mikael Sjöman

FOI, Totalförsvarets forskningsinstitut	FOI, Swedish Defence Research Agency
Avdelningen för Informationssystem	Information Systems
Box 1165	Box 1165
581 11 Linköping	SE-581 11 Linköping
Sverige	Sweden

Sammanfattning

Billiga, små, handhållna och relativt starka lasrar har under de senaste åren fått stor spridning bland civilbefolkningen/allmänheten. De kommersiellt tillgängliga lasrarna kan blända/störa ögon på kilometeravstånd. På kortare avstånd kan de även skada ögon med synreducering eller i värsta fall permanent synförlust som följd.

Den stora spridningen av handhållna lasrar har gjort att antalet incidenter i världen ökat dramatiskt. I Sverige rapporteras om nästan en incident per dag. Bland de mest drabbade är flyget (piloter) och polisen. Flygplan blir belysta under start och landning, det vill säga under den del av flygningen som är mest känslig för oförutsedda händelser, vilket kan leda till allvarliga konsekvenser. Plan har tvingats avbryta landningen och till och med omdirigerats till andra flygplatser. De flesta attackerna är medvetna och konsekvenser av laserbelysningen om båda piloterna tappar synen under en kritisk del av landningen/starten kan bli ödesdigra. Förövare är allt från ungdomar (okynne) till kriminella och autonoma grupper (terroristliknande/inspirerade grupper). Barns lek med starka handhållna pekare har också lett till ögonskador med synreducering som följd och antalet arbetsskador på bland annat poliser ökar. Civila myndigheter försöker genom lagstiftning att stävja den här typen av verksamhet. Hårdare lagstiftning, och till och med vapenklassning i andra länder, verkar dock ha liten effekt och antalet incidenter fortsätter, precis som i Sverige, att öka. I Sverige beslagtar polisen 2 – 3 lasrar per dag och trenden är att styrkan på lasrarna ökar, samtidigt som priserna sjunker, och nya lasertyper dyker upp. De kommersiellt tillgängliga lasrarna utgör därför ett reellt hot mot många viktiga samhällsfunktioner samt mot enskilda individer och försvarets personal.

Kommersiella skydd finns i form av glasögon och i viss mån visir och skärmar som kan blockera laserljuset och skydda mot bländning och skada. De ger dock inte ett fullständigt skydd mot alla typer av laserattacker, och skapar dessutom ett handikapp för användaren eftersom de är starkt färgade. Övning och utbildning av personer som riskerar att drabbas blir därför ett viktigt komplement till skyddsglasögon och en förutsättning för att minimera effekten av laserbelysning.

Rapporten beskriver hur den här typen av hot utvecklas och stadigt har ökat. Därför, med tanke på lättheten i att få tag på dessa billiga lasrar, måste både militära och civila myndigheter ta hotet på allvar. Rapporten riktar sig därför inte enbart till Försvarmakten (FM) utan också till civila myndigheter med syftet att åskådliggöra hotet och ge exempel på skyddsmöjligheter.

Nyckelord: Laser, handhållna lasrar, laserpekare, laserhot, laserskydd

Summary

Commercially available laser pointers have during the latest years been spread among the general public. The laser pointers are cheap, small, handheld and relatively strong. They can dazzle eyes from kilometre distances. At shorter distances they are able to permanently injure eyes with impaired visual function or in the worst case total blindness.

The number of incidents around the world has dramatically increased due to the availability of the laser pointers. The incidents in Sweden have also increased with almost one reported incident every day. Pilots and the police forces are among the most affected. Airplanes are attacked at take off and landing, that is, during the most critical part of the flight, which can lead to serious consequences if both pilots' eyes are hit by the laser beam. Planes have been forced to abort landing or been redirected to another airport. Most of the incidents are planned. The attackers can be found among youngsters (mischief) to terrorist or terrorist inspired groups. Children's play with laser pointers has also lead to eye injuries with permanent impaired visual function. Also, the number of injuries due to laser attacks against for example police forces has increased. The civilian authorities are, through legislation, trying to restrain this activity. Stronger legislation, and even classing the lasers as weapons, has had very little effect so far. The number of incidents continues to increase around the world.

The police forces in Sweden confiscate 2 – 3 lasers every day and the overall trend is that the lasers are becoming cheaper and stronger. Also new laser types are being available to the general public. The commercially available laser pointers are therefore a real threat against many important public operations, individuals and defence personnel.

Commercial protections are available in the form of eyewear and also visors and screens that can block the laser light and protect against dazzle and injury. The available eyewear and the like do not give a complete eye protection and they are also strongly coloured. In order to minimise the effects of a laser attack, practise and training of personnel which are at risk is therefore important.

This report describes not only how this type of threat is evolving, but also protection methods. The laser pointer threat needs to be taken seriously by both civilian and defence authorities. This report is therefore of interest for both.

Keywords: Laser, hand-held lasers, laser pointers, laser threat, laser protection

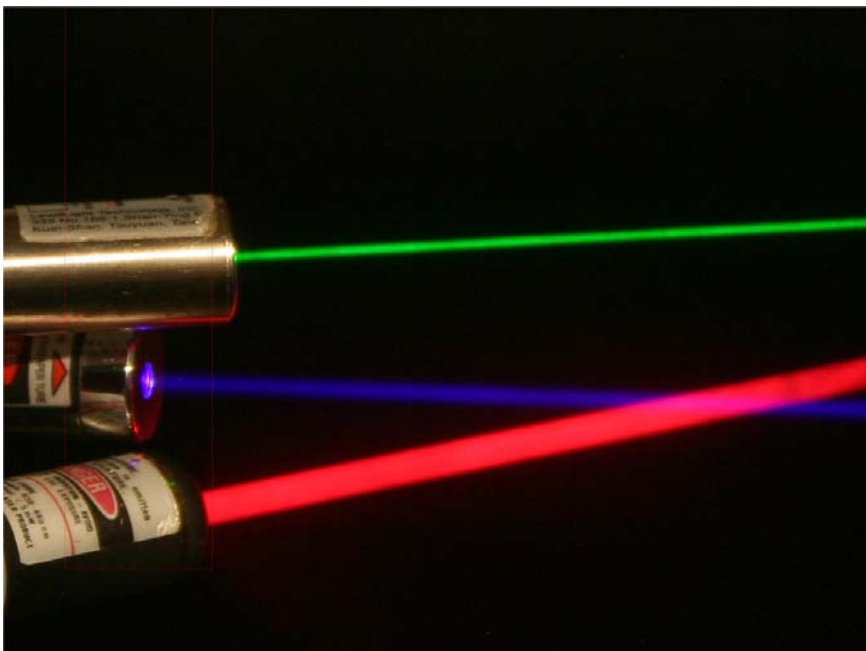
Innehållsförteckning

1	Inledning	7
2	Hotutveckling	10
2.1	Teknisk hotutveckling och tillgänglighet.....	10
2.2	Risker för skador och annan påverkan	14
2.2.1	Skadeverkan	15
2.2.2	Bländning	17
2.2.3	Övriga fysiologiska reaktioner och psykologisk påverkan	20
2.2.4	Sekundära effekter av laserexponering	21
2.3	Incidenter	21
2.3.1	Poliser	22
2.3.2	Flygförare och flygtrafikledare	22
2.3.3	Buss- och taxichaufförer och spårvagnsförare	23
2.3.4	Ordningvakter och väktare	24
2.3.5	Fotbollsspelare.....	24
2.3.6	Bilförare och övriga.....	24
3	Skyddsmöjligheter	25
3.1	Strålskyddslagen.....	25
3.2	Tekniska laserskydd	26
3.2.1	Allmänt om statiska laserskydd	26
3.2.2	Laserskyddsfiltrens inverkan på synen.....	28
3.2.3	Skyddens begränsningar och bieffekter	30
3.3	Övning, utbildning och beredskap.....	31
3.3.1	Övning och utbildning	31
3.3.2	Beredskap.....	32
4	Slutsatser	34
	Bilaga A — Riskavstånd	35
	Bilaga B — Parametrar för våglängdsfilter	37
	Bilaga C — Kommersiella statiska skydd	38
	Bilaga D — Dynamiska skydd	41
	Bilaga E — Exempelblankett för systematisk rapportering av incidenter	43

1 Inledning

Ljus och ljusfenomen har alltid fascinerat människan och att skapa ljus i dess olika färger har därför varit eftertraktat. I början av 1960-talet uppfanns lasern. Ordet laser är en akronym för engelskans Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (ljusförstärkning genom stimulerad emission av strålning). Tidigt insåg man laserns möjligheter inom en rad viktiga områden som exempelvis kommunikation, sjukvård, skönhetsindustrin, materialbearbetning, underhållning och inte minst som ett kraftfullt vapen. Stora forskningsresurser har därför satsats för att ta fram billiga, lättanvända och kraftfulla lasrar.

De senaste åren har tillgängligheten på olika typer av handhållna små lasrar, framförallt de som avger grönt och nu också blått ljus med relativt höga ljusintensiteter, ökat dramatiskt (Figur 1-1). De kommersiellt tillgängliga små lasrarna kallas ofta laserpekare (jämför engelskans laser pointer). I den här rapporten definierar vi *laserpekare* som en lätt, billig och kommersiellt tillgänglig handhållen laser.¹



Figur 1-1. Kommersiella handhållna laserpekare finns idag som ger många olika våglängder (färger). Foto: L-G Heimdal (FOI).

De små lasrarna har också spritts över världen i leksaker och i exempelvis CD-/DVD-spelare och skrivare. Laserpekare köps också ofta av vuxna till barn som leksaker. Den stora allmänheten har inte insett faran med dessa ”leksaker” och nyligen rapporterades om barn som fått ögonskador med synreducering som följd på grund av lek med laserpekare².

Laserpekare med styrkor kring 1 W är idag relativt billiga och kan enkelt införskaffas genom exempelvis Internet. De kommersiellt tillgängliga lasrarna är dessutom små, batteridrivna och mycket lätta att använda. Spridningen av den här typen av lasrar leder inte enbart till att hotet mot våra förband på utlandstjänst ökar utan har redan lett till allvarliga konsekvenser för samhället i övrigt. Rapporten beskriver hur den här typen av hot utvecklas och stadigt har ökat. Därför, med tanke på lättheten i att få tag på dessa billiga

¹ Denna definition skiljer sig från den gängse militära där en laserpekare är en speciell utrustning som belyser en fläck på målet och på så vis leder in robotar, glidbomber och dylikt mot målet.

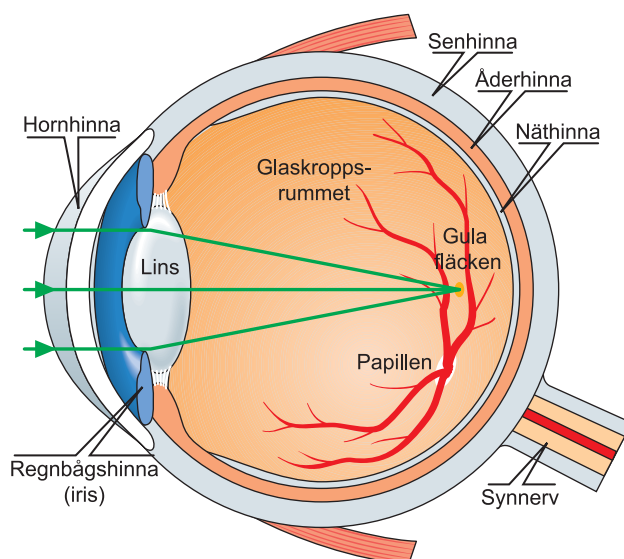
² S. Wyrsh, P. B. Baenninger och M. K. Schmid, ”Retinal Injury from a Handheld Laser Pointer”, *The New England Journal of Medicine*, 363 (11), sidan 1089 (2010).

lasrar, måste både militära och civila myndigheter ta hotet på allvar. Rapporten riktar sig därför inte enbart till Försvarsmakten (FM) utan också till civila myndigheter med syftet att åskådliggöra hotet och ge exempel på skyddsmöjligheter.

I Sverige ska laserpekarna enligt lag vara märkta med klass (se kapitel 3.1), styrka och våglängd. Många laserpekare köps under resor till eller importeras från asiatiska länder och dessa saknar ofta den markering som lagen kräver. Vanligt är att³

- märkning saknas helt eller används slentrianmässigt, exempelvis "avoid direct eye exposure, laser output > 10 mW". 20 – 40 mW pekare är dock ofta omärkta.
- våglängd oftast stämmer, men "reststrålning" i det när-infraröda (exempelvis 808 och 1064 nm), vilken kan vara 50 % av den totala effekten, aldrig anges.

Det som attraherar hos lasern är dock också det som är det farliga, nämligen ljusstyrkan och möjligheten att rikta ljuset mot ett mål. Speciellt farligt blir det när lasern riktas mot någons ögon. Människans ögon har som funktion att samla in ljus för att hjärnan ska kunna skapa en bild i medvetandet. Ögats optik avbildar omgivningen på näthinnan som variationer av ljusintensitet som omvandlas till elektriska signaler i näthinnan och tolkas i näthinnan och hjärnan till en bild. Laserljus som träffar ögat fokuseras av ögats optik (hornhinna, kammervatten, lins och glaskropp) till en liten yta på näthinnan vilket medför att intensiteten som träffar ögat förstärks i storleksordningen hundratusen gånger (Figur 1-2). Våra ögon är därför mycket ljuskänsliga och, inte minst, känsliga för laserljus.



Figur 1-2. Ljus som träffar ett öga fokuseras på en liten yta på näthinnan (brännglaseffekt). Starka ljuskällor kan därför skada näthinnan. Bild: Dr Bo Andersén.

Situationen förvärras också i mörker (vid låga ljusnivåer) eftersom ögats känslighet för ljus då är högre än under ljusa förhållanden. Exempelvis kan en kort exponering för intensivt ljus i mörker leda till en övergående blindhet, bländning. Utsatts ögat för laserljus blir effekten allvarligare, från bländning med tillfällig/övergående blindhet till total synförlust (se kapitel 2.2.1 och 2.2.2). Förutom ögonskador kan lasrar även ge brännskador på huden.

³ (a) Källa: SP – Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (Gösta Werner). (b) "Laserpekare starkare än märkning", <http://www.corren.se/Sverige/?articleId=5268335>. (c) J. Galang m.fl., NIST Technical Note (TN 1668), "A Green Laser Pointer Hazard", juli 2010. Tillgänglig på Internet under www.nist.gov/manuscript-publication-search.cfm?pub_id=906138 då denna rapport författades.

Redan under 90-talet började rapporteringar om belysning mot poliser, flygförare och bilister komma från USA⁴. Fenomenet spred sig snabbt till resten av världen och har nu också blivit ett allvarligt problem i Sverige. Rapporter där grön laser har använts för att störa viktiga samhällsfunktioner har ökat dramatiskt i Sverige under de senaste åren med mer än en fördubbling under 2010 jämfört med 2009^{5,6}. Ungdomars okynnesanvändning av laser utgör en stor andel av fallen. Andra grupper som nämns är terroristinspirerade individer eller organisationer och kriminella individer/grupper, både nationellt och internationellt. I Sverige har den allvarliga situationen på våra flygplatser och inte minst mot polisen, brandkåren, den allmänna transportsektorn och även mot försvarets piloter lett till att lasrar starkare än 5 mW förbjudits på allmän plats sedan 2009⁷ (se kapitel 3.1). Detta har inte stoppat importen av lasrar från framförallt Asien. I dag beslagtar polisen två till tre lasrar per dag. De flesta beslagtagna lasrar har en effekt på 20 – 40 mW, men lasrar med effekter upp till runt 700 mW förekommer också. De flesta beslagtagna lasrar sänder ut grönt ljus. Men priset på blåa lasrar har sjunkit, vilket kommer att medföra en ökning av beslagtagna blåa lasrar.

Bländning (och även möjlig ögonskada) med kommersiella handhållna lasrar utgör ett reellt hot mot många viktiga samhällsfunktioner samt mot enskilda individer och försvarets personal. Berörda myndigheter som Transportstyrelsen, Strålsäkerhetsmyndigheten, Polisen, Arbetsmiljöverket, FOI med flera har därför startat ett samarbete för att sprida information om riskerna. Förståelsen och kunskapen om effekter vid bländning med laser är låg inom de civila myndigheterna och här finns en stor efterfrågan på kunskap om effekter samt ett behov av utbildning. I denna rapport tar vi bland annat upp hotet från små handhållna lasrar (inklusive hotutveckling och incidenter) och skyddsmöjligheter (lagar, tekniska skydd, övning, utbildning och beredskap).

⁴ (a) Focus FAA, "Shining a Light on the Safety Risks of Lasers", <https://employees.faa.gov/news/focusfaa/story/?newsId=60209>. (b) C. W. Spangler, *Journal of Materials Chemistry*, 9, 2013 (1999). (c) <http://www.laserpointersafety.com>

⁵ Källa: Transportstyrelsen (Ulrika Svensson).

⁶ S. Hough, "Laser illumination of aircraft", *Safety feedback* 1. 37 (2010).

⁷ SSMFS 2008:14 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om lasrar.

2 Hotutveckling

2.1 Teknisk hotutveckling och tillgänglighet

Laserhotet ser ut på olika sätt. Först och främst måste man ta hänsyn till de tekniska egenskaperna hos de lasrar som redan finns bland allmänheten. Men det sker också en kontinuerlig utveckling av lasertekniken, vilket dels ökar prestanda på befintliga lasertyper, dels leder till att nya lasrar som fungerar enligt andra principer blir tillgängliga för fler. En annan del av hotbilden är tillgängligheten och spridningen av lasrar, exempelvis möjliga inköpsvägar och kostnaden för olika lasrar. Ytterligare en aspekt är hur lasrarna kommer till användning och användarnas uppträdande och taktik. I detta avsnitt behandlar vi i huvudsak de tekniska aspekterna och den tekniska utvecklingen för lasrar och även i viss mån spridningen av lasrar. Det taktiska laserhotet ligger dock utanför ramen för denna rapport och behandlas i andra sammanhang.

Det finns ett antal faktorer som är gemensamma för de flesta lasrar⁸ och som måste beaktas när man bedömer hotets karaktär:

- Lasrar verkar ögonblickligen (med ljusets hastighet) och över stora avstånd.
- Lasern och laserstrålen är ljudlösa.
- En laserstråle kan göras smal och eftersom all effekt samlas på en liten yta blir den mycket intensiv.
- En laserstråle kommer dock ofrånkomligen att vidgas med ökande avstånd.
- Ljuset från de vanligaste lasrarna har en enda våglängd och därmed en bestämd färg.
- Laserljus kan också vara osynligt och man märker då inte om man får in det i ögat.
- Det är ofta svårt att se en laserstråle från sidan, även om den består av synligt ljus.
- Med en laser är det enkelt att växla mellan olika mål och att följa mål som rör sig.
- Lasrar kräver fri sikt mellan användare och mål och stoppas av fasta objekt, såvida de inte är genomskinliga.
- Laserljusets förmåga att nå fram till målet påverkas av väderförhållanden såsom dimma, regn och rök.
- Mer avancerade lasrar är i allmänhet stora och tunga apparater, har en högre kostnad och är svårare att införskaffa.

Beroende av vilken teknik som alstrar laserljuset kan lasrar delas in i några huvudtyper⁹:

- Halvledarlasrar (även kallade diodlasrar). Dessa har störst spridning bland allmänheten och används i laserpekare, laserprojektorer, streckkodsläsare, CD- och DVD-utrustning, inom optisk fiberkommunikation med mera. Storleken på laserkällan kan vara mindre än 1 mm.¹⁰
- Gaslasrar. Här finner vi den välkända röda helium-neon-lasern, som finns i bärbara varianter och även koldioxidlasern, vilken kan användas för metallbearbetning.¹¹
- Fasta tillståndslasrar (även kallade kristallasrar) används för materialbehandling, avståndsmätning, inom medicinen med flera områden. Ett exempel är den tidiga

⁸ "FOI orienterar om – Elektromagnetiska vapen och skydd", nummer 1, 2001, Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI), sidan 23.

⁹ "FOI orienterar om – Elektromagnetiska vapen och skydd", nummer 1, 2001, Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI), sidorna 7–10.

¹⁰ Nationalencyklopedin på Internet, www.ne.se, uppslagsord "diodlaser".

¹¹ Nationalencyklopedin på Internet, www.ne.se, uppslagsord "gaslaser".

rubinlasern och den nu vanliga Nd:YAG-lasern, vilken kan avge starka ljuspulser.¹² På senare tid har fiberlasrar utvecklats, där laserstrålningen produceras i själva fibern. Dessa kan ha mycket höga effekter.¹³

- Färgämneslasrar är en form av vätskelaser. Färgämneslasrar används för laserspektroskopi och kemisk analys.¹⁴
- Kemiska lasrar. Dessa får sin energi från ett högenergetiskt drivmedel (kan vara ett sprängämne) som omvandlas i en kemisk reaktion och resultatet blir en kraftig laserpuls.
- Vitljuslasrar är en form av laser som gjort sitt intåg i laboratoriemiljö på senare tid. Som namnet antyder kan man välja ur ett brett våglängdsintervall, som kan vara hela det synliga spektret. Vitljuslasrar kan ha en mycket kort våglängd och hög frekvens (MHz). Vitt laserljus kallas även superkontinuum (super continuum på engelska).

Bortsett från vitljuslasern är antalet våglängder (färger) som går att få från olika lasrar relativt begränsat. Men det finns tekniker för att omvandla ljus från en våglängd till en annan. Dessa tekniker kallas *frekvensdubbling*, *optisk parametrisk oscillation (OPO)* och *ramankonvertering*. Vitljuslaserns stora antal våglängder uppkommer när en mycket kort laserpuls delas upp i olika våglängder i en speciell fiber.

De viktigaste egenskaperna för de olika lasertyperna, ur hotsynvinkel, sammanfattas i Tabell 2-1.

Tabell 2-1. Egenskaper för olika lasertyper. Rubrikerna "Hotnivå i dag" och "Hotutveckling" gäller laserpekare (handhållna och kommersiellt tillgängliga lasrar).

	Våglängd	Kontinuerlig eller pulsad	Typisk effekt (kontinuerlig) eller energi (pulsad)	Hotnivå i dag (laserpekare)	Hotutveckling (laserpekare)
Halvledarlasrar	blått – 30 µm (IR)	kontinuerlig	1 W	hög	starkt ökande
Gaslasrar	UV – IR	båda	1 mW – 100 kW	låg	låg
Fasta tillståndslasrar	synligt	pulsad	100 W – 10 kW	hög	ökande
Färgämneslasrar	UV–IR	båda	1 kW, 100 J	låg	låg
Kemiska lasrar	IR	pulsad	1 MW	låg	låg
Vitljuslasrar	synligt	kontinuerlig	5 W	låg	ökande

Lasertekniken utvecklas ständigt. På senare tid har till exempel halvledarlasrar för blått ljus blivit betydligt starkare. Tekniken lär också få användning för andra färger och dagens gröna lasrar, som ofta är frekvensdubblade Nd:YAG-lasrar (fasta tillståndslaser), håller på att ersättas av ännu starkare halvledarlasrar. Vitljuslasrar har också blivit vanligare och billigare och därmed ökar möjligheten att välja valfri våglängd (färg) på ljuset. Möjligheten att skapa kortare och kortare laserpulser ökar och har nu nått femtosekund-området (1 femtosekund = $1/10^{15}$ sekund).

¹² Nationalencyklopedin på Internet, [www.ne.se/uppslagsord "laser"](http://www.ne.se/uppslagsord/laser).

¹³ "Laserbearbetning hos Permanova", Aktuell Produktion, nr 8, 2006, www.permanova.se/?id=1082

¹⁴ Nationalencyklopedin på Internet, [www.ne.se/uppslagsord "färgämneslaser"](http://www.ne.se/uppslagsord/fargamneslaser).

Det är inga större svårigheter för allmänheten att få tag på mindre, bärbara lasrar med skadligt höga energinivåer. Förutom möjligheten att köpa och ta med sig från utlandsvisiteter finns det ett antal butiker på Internet som tillhandahåller laserpekare. Sådana butiker finns i bland annat Hong Kong, Kina, Singapore, Storbritannien, Kanada och inte minst i USA. Det finns även ett par svenska butiker på Internet, men åtminstone en har slutat sälja lasrar sedan förbudet mot starka lasrar på allmän plats trädde i kraft. Figur 2-1 visar exempel på handhållna laserpekare. Dessa kan exempelvis se ut som pennor eller ficklampor.



Figur 2-1. Exempel på handhållna laserpekare med styrkor från 1 W till 1 mW.

Tabell 2-2 ger exempel på lasrar som fanns till försäljning i september 2010. Eftersom priset är en viktig faktor vid anskaffandet och spridningen anges det också i tabellen.

Tabell 2-2. Exempel¹⁵ på handhållna, batteridrivna lasrar i det synliga området samt infrarött (IR), som går att beställa via butiker på Internet.

Effekt	Våglängd	Färg	Pris (omräknat)
5 mW	532 nm	grön	110 kr
20 mW	405 nm	violett	100 kr
20 mW	532 nm	grön	150 kr
20 mW	589 nm	gul	11 800 kr
20 mW	593 nm	gul	1 200 kr
50 mW	532 nm	grön	70 kr
50 mW	589 nm	gul	8 800 kr
80 mW	473 nm	blå	2 960 kr
80 mW	532 nm	grön	200 kr
100 mW	405 nm	violett	210 kr
100 mW	532 nm	grön	170 kr
100 mW	650 nm	röd	240 kr
150 mW	532 nm	grön	320 kr
200 mW	405 nm	violett	460 kr
200 mW	532 nm	grön	460 kr
200 mW	650 nm	röd	370 kr
250 mW	635 nm	röd	9 550 kr
300 mW	okänd	blå	380 kr

¹⁵ Uppgifterna om effekt, våglängd och pris för de två lasrarna 20 mW-593 nm-1200 kr respektive 1000 mW-445 nm-1500 kr kommer från Preventor AB.

300 mW	532 nm	grön	510 kr
400 mW	532 nm	grön	560 kr
400 mW	650 nm	röd	okänt
450 mW	532 nm	grön	4 540 kr
500 mW	445 nm	blå	2 220 kr
500 mW	532 nm	grön	340 kr
550 mW	660 nm	röd	11 030 kr
600 mW	532 nm	grön	480 kr
700 mW	532 nm	grön	700 kr
800 mW	532 nm	grön	640 kr
800 mW	1064 nm	IR	8 800 kr
1000 mW	445 nm	blå	1 500 kr
1000 mW	532 nm	grön	690 kr
1200 mW	532 nm	grön	820 kr
1500 mW	532 nm	grön	900 kr
1400 mW	808 nm	IR	10 290 kr
1900 mW	1064 nm	IR	18 430 kr
2000 mW	532 nm	grön	1 320 kr
2000 mW	660 nm	röd	1 610 kr
2500 mW	532 nm	grön	1 460 kr
3000 mW	532 nm	grön	1 690 kr
3000 mW	660 nm	röd	2 350 kr
3000 mW	808 nm	IR	18 430 kr
4000 mW	532 nm	grön	2 420 kr
5000 mW	532 nm	grön	4 030 kr

Kombilaserpekare med blå och grön laser i samma pekare finns upp till 200 mW¹⁶, kombilaserpekare med grön och röd laser upp till 100 mW, och det finns även hemmabyggen med de tre färgerna blått, grönt och rött (okänd effekt). Förutom lasrar finns kraftfulla ficklampor till försäljning, exempelvis 100 W halogenlampor med ljusflödet 4 100 lumen. Strålen från en sådan är inte lika väl sammanhållen som från en laser, men ljuset är vitt (innehåller alla färger) och ljusstyrkan kan vara besvärande stark.

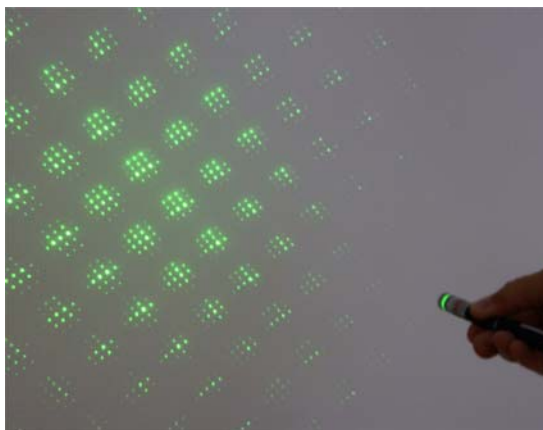
Laserpekare med synliga ljusvåglängder kan vara internt pumpade med osynlig IR-strålning, exempelvis 808, 946, 1064 eller 1342 nm¹⁷. I detta fall bör de ha ett IR-filter för att inte släppa ut IR-strålningen, eftersom den vanligen har minst lika hög effekt som det synliga ljuset. Vissa enklare laserpekare kan sakna detta filter och det händer också att användaren plockar bort filtret. Riskerna med laserpekaren ökar då, eftersom ögat inte uppfattar strålningen men kan skadas av den (se kapitel 1).

Innehavare av lasrar nöjer sig inte alltid med sin laser som den är utan försöker ibland själva att öka dess prestanda. Diverse tekniker som uppges öka laserns prestanda, som att ta isär den och vrida på potentiometrar eller hettar upp vissa komponenter, presenteras exempelvis på Internet. Hur väl detta fungerar i praktiken är dock inte klarlagt. Därutöver finns det instruktioner tillgängliga för hur man bygger sin "egen" laser genom att demontera CD-/DVD-spelare och flytta över laserenheten i ficklampor och dylikt.

¹⁶ Uppgift från Preventor AB.

¹⁷ Uppgift om ett par våglängder från Preventor AB.

Hur strålen går ut från lasern kan också modifieras. Ett sätt är att montera linser och på så vis bestämma hur mycket eller litet strålen ska spridas på ett visst avstånd. Ett annat exempel är optiska tillsatser som delar upp strålen i ett punktmönster (Figur 2-2). Tillsatser av detta slag sprider laserljus i flera riktningar samtidigt utan att själva lasern behöver riktas om; samtidigt kommer naturligtvis effekten i varje delstråle att vara mindre än laserns hela effekt.



Figur 2-2. Laserpekare med tillsats som skapar ett punktmönster genom att dela upp strålen i delstrålar. Foto: L-G Heimdal (FOI).

Laserteknik blir allt vanligare i samhället, liksom olika laserinstrument för privatpersoner. Steget från nyttig användning av sådana till missbruk är litet. Allmänheten kan få tillgång till mer eller mindre starka lasrar på olika sätt, exempelvis via butiker i Sverige eller utomlands, via Internet, eller genom att låna, ta rätt på eller stjäla laserutrustning från andra ägare. Dessa kan vara universitet, medicinska kliniker, industrier, polis och militär och andra. Några exempel får klargöra hur vanlig lasertekniken har blivit i samhället – de vanligaste först: laserpekare, CD-/DVD-brännare, laserskrivare, lasersikten för jakt, riktinstrument för byggnadsarbeten, optisk kommunikation, holografi, laserprojektorer, laser-shower, miljöövervakning, medicinsk behandling, materialbearbetning i verkstadsindustrin, bländlasrar för polis och militär, militära laseravståndsmätare med mera.

2.2 Risker för skador och annan påverkan

För att någon ska göra sig besväret att laserbelysa någon eller något så måste belysaren tro sig få ut något av belysningen. Detta motiv har ofta betydelse för vilken inverkan belysningen slutligen får i det belysta området. Speciellt i två avseenden kan belysarens motiv ha betydelse:

1. Huruvida laserstrålningen syftar till att direkt påverka belysningsobjektet eller ej: Rödpunktssikten, avståndsmätare och belysning av mörka scener är exempel på sådan laserbelysning där belysaren knappast förväntar sig någon speciell effekt på de belysta personerna av själva laserbelysningen. Därmed riktas belysningen inte i första hand mot personernas ögon.
2. Huruvida belysaren vill att belysningen inte upptäcks eller om detta saknar betydelse: Om man mäter avstånd eller belyser en mörk scen kanske man helst vill att personerna i scenen är ovetande om att de blir laserbelysta. Därmed riktas belysningen inte i första hand mot ögon och andra optiska sensorer.

Oavsett vilken avsikt den som utsätter andra för laserbelysning har så kan konsekvensen för den belysta parten¹⁸ indelas i några olika typfall:

¹⁸ ”FOI orienterar om – Elektromagnetiska vapen och skydd”, nummer 1, 2001, Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI).

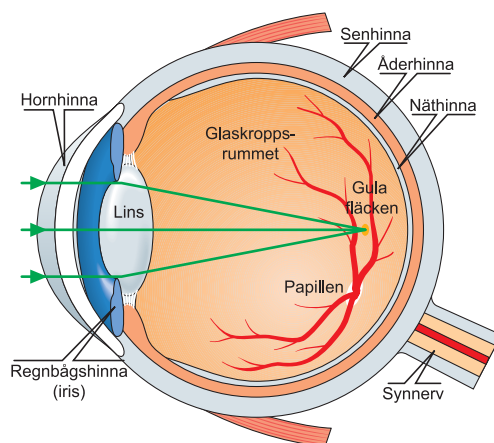
- Ingen verkan
- Direkt verkan
 - o Skadeverkan
 - o Bländning (störning)
 - o Fysiologiska reaktioner och psykologisk påverkan
- Indirekt verkan (den belyste ändrar sitt beteende i något avseende, se avsnitt 2.2.4 om sekundära effekter)

Gränserna mellan dessa typfall kan vara otydliga och ofta utlöses fler än en verkansform samtidigt. När det gäller direkta synstörningar och direkt skadeverkan är det möjligt att grovt förutsäga och uppskatta effekter av belysning. Sådana förutsägelser rymmer dock en stor osäkerhet eftersom en person exempelvis kan råka blunda precis när en laserpuls träffar. En hel del uppskattningar av sådan verkan har dock gjorts i olika sammanhang¹⁹. Fysiologiska och i synnerhet psykologiska konsekvenser av belysningar kan vara svårare att förutsäga.

2.2.1 Skadeverkan

Att laserljus kan skada ögon har efter laserns uppfinning på 60-talet konstaterats vid flera olyckor i olika laboratorier men även utomhus med militära avståndsmätare inblandade. Vid några tillfällen har det också rapporterats att lasrar använts vid incidenter mellan olika länder så att flygvapenpiloter skadat ögonen.

Lasrar med de mest skiftande egenskaper finns och de kan ge skador av många olika slag. En del kan exempelvis vålla brännskador på huden medan andra vid lång exponering orsakar grå starr i ögat. För denna rapportts vidkommande är det dock momentant uppdykande ögonskador som är mest relevanta. Anledningen till att just ögonen är speciellt skadeutsatta är att strålning i ett relativt stort våglängdsområde fokuseras på näthinnan. Intensiteten i ögats inre kan då bli nära 100 000 gånger högre än vad den blir på huden omkring ögat, se Figur 1-2. Trots att näthinnan i sig inte är mer skadekänslig än huden så blir därför ögonskador vanligare än hudskador. En brännskada på näthinnan ger dessutom en permanent synnedsättning, medan motsvarande brännskada på huden läker utan att ge bestående men.



Figur 1-2 (upprepad). Öga i genomskärning. Bild: Dr Bo Andersén.

Strålsäkerhetsmyndighet (SSM) meddelar föreskrifter för området som syftar till att så långt möjligt undanröja risken för skador på grund av laserstrålning²⁰. Användningen av

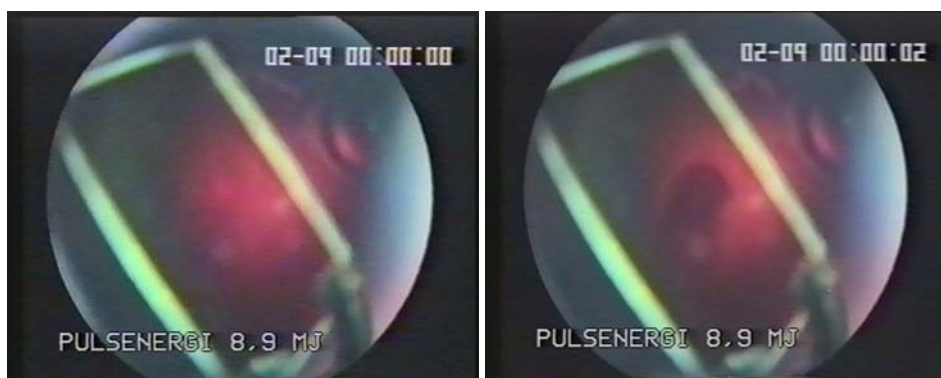
¹⁹ D. Sliney och M. Wolbarst, "Safety with Lasers and Other Optical Sources", Plenum Press, New York, 1980.

²⁰ (a) Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om lasrar, SSMFS 2008:14 (2009).

(b) Martin Lindgren, Strålsäkerhetsmyndigheten, Promemoria 2010-03-19.

lasrar i arbetslivet regleras av Arbetsmiljöverkets föreskrift AFS 2009:7. Dessa föreskrifter stöder sig på en internationell standard²¹ som anammats även i Sverige och fått status av svensk standard²². Genom djurförsök och olika överväganden har tabeller utarbetats där man internationellt enats om vilka exponeringsnivåer som kan anses vara oskadliga. Av säkerhetsskäl ligger dessa nivåer avsevärt under skadlig exponering. Pupillöppningens storlek och en rad andra faktorer påverkar skadekänsligheten.

Skador och inflammationer på ögats utsida inklusive hornhinnan är ofta mycket smärtsamma (svetsblänk och snöblindhet). I motsats till detta ger skador på näthinnan ingen smärta. Symptom kan vara ljusblixtar, synfältsbortfall och vid högre exponeringar blödning ut i glaskroppen vilket åtminstone temporärt försämrar synen över stora delar av synfältet. Ett exempel på hur en ögonskada med blödning ut i glaskroppen kan se ut visas i bilderna som tagits med ögonbottenkamera i Figur 2-3.



Figur 2-3. En laserinducerad ögonblödning hos gris som har orsakats av en 8 mJ rubinlaserpuls. Till vänster visas en ögonbottenbild före och till höger efter exponering. Den mörkröda fläcken centralt i den högra bilden är en blödning från åderhinnan ut i glaskroppen. Foto: Bengt Anderberg²³ (FOI).

De skador som är aktuella i denna rapport är alltså skador på näthinnan. Det är endast våglängder mellan 400 och 1400 nanometer (synligt ljus och när-IR) som tränger in och fokuseras på näthinnan på det farliga sätt som beskrivits här. Övriga våglängder absorberas innan de når näthinnan eller fokuseras inte av hornhinna och lins så att intensiteten ökar dramatiskt på näthinnan. Näthinneskadorna kan dock få olika konsekvenser beroende på hur omfattande de är och i vilken del av näthinnan de hamnar:

1) Liten skada

Laserljusets fokusering ger en lokal upphettning av ett litet område på näthinnan. Syncellerna i detta område dör och med en ögonbottenkamera kan man tydligt se skillnad mellan före och efter skadetillfället. Skador framträder som fläckar med ljusare ärrvävnad. Den termiska punktskadan på näthinnan går inte att reparera. Det blir dock oerhört stor skillnad på individens synhandikapp beroende på var skadan hamnar. Det finns två speciellt känsliga områden (a och b nedan) medan övriga delar av näthinnan inte är så kritiska (c nedan).

- a) I centrum för skarpseende (centralgropen i gula fläcken, se Figur 1-2 på föregående sida)
Det är på denna yta bilden av det vi betraktar projiceras. Om de talrika syncellerna här skadas kommer det att resultera i ett livslångt handikapp med reducerad syn.
- b) I synnervsutträdet (papillen i Figur 1-2 på föregående sida)
I den så kallade "blinda fläcken" finns inga synceller men här sammanstrålar

²¹ Internationell standard IEC 60825-1.

²² Svensk standard SS EN 60825-1, utgåva 3, 2003.

²³ B. Anderberg, "Anti-Eye Laser Weapons", doktorsavhandling, Göteborgs universitet, 1993.

nervtrådarna från alla synceller i ögat och bildar synnerven som här lämnar näthinnan. En skada här kan permanent skada synen för hela ögat.

- c) I övriga perifera delar av synfältet (runt gula fläcken i Figur 1-2 på sidan 15) Alla människor har olika små defekter i det perifera seendet. Bland annat ser vi ingenting i den så kallade ”blinda fläcken” (se ovan). Hjärnan har en modell av vad som finns i vår omvärld och därför märks inte sådana defekter. En permanent synskada i det perifera synfältet kanske inte uppmärksammas alls.

2) Djupare skada

En intensivare exponering på näthinnan kan orsaka lokal kokning/ionisering och ångblåsor som sliter sönder underliggande åderhinna. Där kan ett blodkärl punkteras så att blod tränger ut i glaskroppen i ögats inre. Blödningen ut i glaskroppen gör att scenen döljs i allt fler och mörkare röda slöjor. Ibland kan dock blödningen resorberas efter en tid och större delen av synförsämringen går då tillbaka. Blod i glaskroppen kan ibland även avlägsnas på kirurgisk väg. Förlorade synceller i näthinnan återbildas dock inte.

I de flesta fall har ögonskadorna orsakats av en hastig uppvärmning av en fläck på näthinnan på grund av en intensiv och kort laserpuls. Det är dock mycket sällsynt att synskador rapporterats efter belysning med handhållna, kontinuerligt strålade lasrar på över 10 m avstånd. De handhållna lasrarna är förvisso starka nog att skada ögon men svårigheten att konstant belysa ögat med en smal stråle har gjort skadeverkningar sällsynta i relation till den stora mängd incidenter som rapporterats (se kapitel 3). Men i och med att de handhållna lasrarna blir allt starkare spås det att rapporteringar om ögonskador kommer att öka. I år har det rapporterats om två fall i Sverige (se kapitel 2.3) och nyligen rapporterades det om en 15-årig pojke som lekte med en 150 mW laserpekare framför en spegel. Strålen reflekterades från spegeln och träffade hans ögon flera gånger vilket ledde till skador på båda hans ögon (näthinneskador). Pojken lever nu med ett synhandikapp².

Hur man med ledning av i första hand laserns specifikation och gällande säkerhetsföreskrifter beräknar riskavstånd för skada framgår av Bilaga A — Riskavstånd Vi ser där att en dämpning till 10 % (mycket mörka solglasögon) inte förmår helt eliminera ögonskaderisken ens från handhållna laserpekare. Det bör dock poängteras att det inte är helt enkelt att hålla en smal laserstråle konstant riktad mot ett öga under ett par tiondels sekunder och att säkerhetsmarginalen i tabellerna är betydande. Så länge uteffekten från laserpekare ligger under 1 W kommer troligen synskador bland utbildad, belyst personal att vara tämligen sällsynta. I samma bilaga ser vi dock att bärbara militära pulsade lasrar har en helt annan ögonskadeförmåga med många kilometer i riskavstånd.

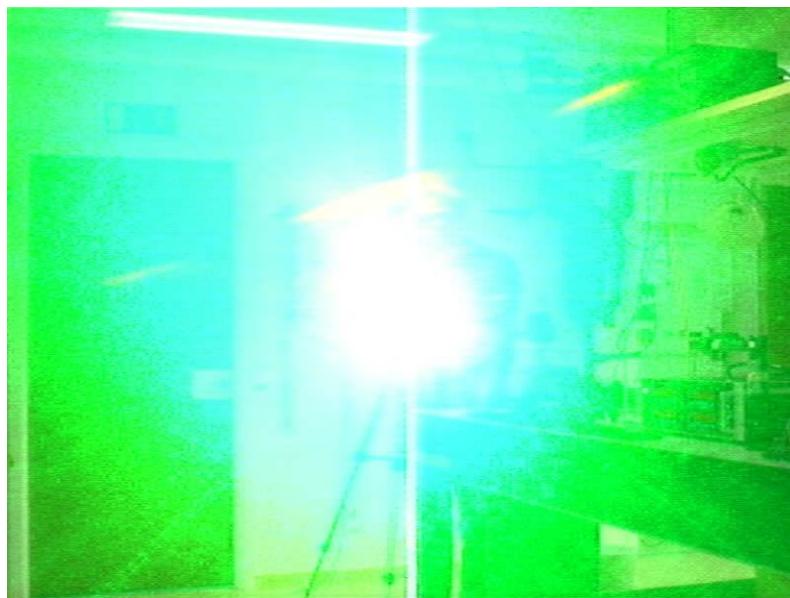
2.2.2 Bländning

Vi såg i föregående kapitel att ögonskaderisken vid belysning med kontinuerligt lysande laserpekare är begränsad. Störning av synen och förmågan att urskilja detaljer i en scen kan dock, i synnerhet under skymning och mörker, åstadkommas med bråkdelar av de exponeringsnivåer som krävs för att nå en skada. I fullt dagsljus är det emellertid mindre skillnad mellan skadliga och störande exponeringar. Den som bländas av en artificiell ljuskälla mitt i solskenet en sommardag bör därför vara medveten om att det är riskabelt att se mot bländljuskällan. De små laserpekare som är så spridda i samhället idag kan alltså blända effektivt under skymning och mörker.

I Figur 2-4 visas ett exempel på hur en laserbländning kan se ut. Beroende på bländningens natur har man klassificerat olika typer av bländning och givit dem namn som är tämligen självförklarande:

- Störande bländning
Ljusfenomen, blinkningar och annat gör det svårt att koncentrera blicken och uppmärksamheten mot det man egentligen vill observera.

- Obehaglig bländning
Den bländande ljuskällan är så stark att det uppfattas som obehagligt att rikta blicken ut mot scenen för att se vad som pågår där.
- Döljande bländning
Bländningen är starkare än scenens naturliga ljus och överglänser det intressanta skeendet i scenen så att det inte går att se.

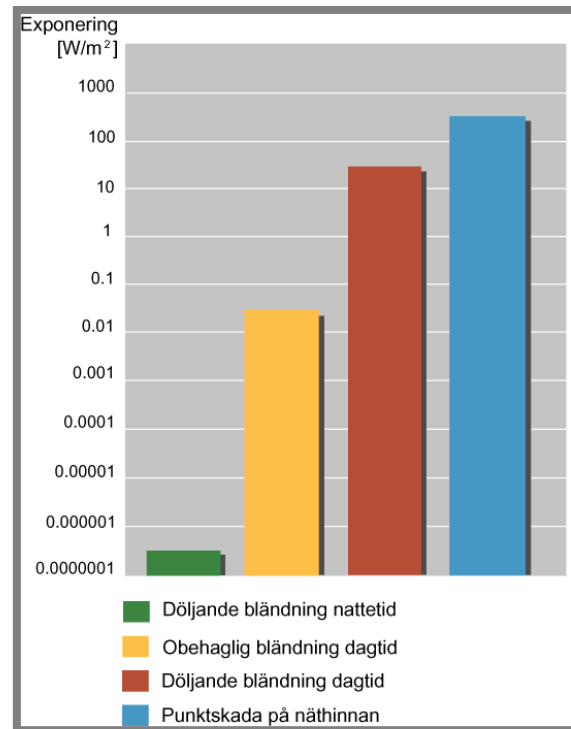


Figur 2-4. Exempel på bild från laserbländad kamera.

Med bländning menar man vanligen en synstörning som inte är en permanent skada. Det finns dock långsamt av klingande symptom på bländning som kan vålla problem:

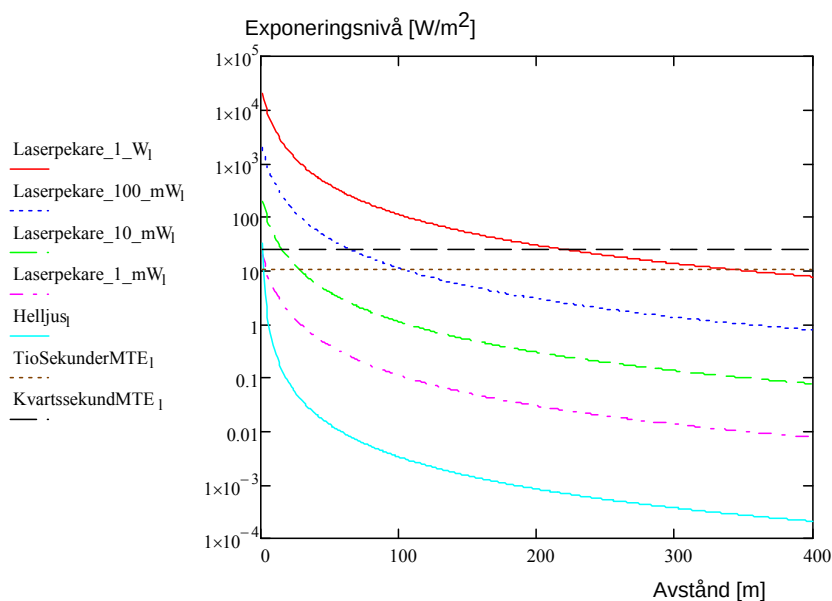
- Försämrat mörkerseende
Dagtid är det synceller som kallas *tappar* som används i det mänskliga ögat. De kan ge färginformation och finns i rikt mått i de centrala delarna av synfältet. Under mörker är de emellertid inte tillräckligt ljuskänsliga för att vara användbara. Då används i stället de så kallade *stavarna*. Dessa synceller ger endast grånyanser men är avsevärt ljuskänsligare än tapparna. Stavarna kan dessutom få än högre ljuskänslighet genom att ögat ökar koncentrationen av ljuskänsligt pigment i syncellerna. Fullständig anpassning till mörker (mörkeradaptation) tar 30 – 45 minuter i mörker. En enda ljusblxt kan dock omintetgöra mörkeranpassningen och pigmentkoncentrationen reduceras. En laserbländning under mörker kan därför försämra mörkeranpassningen i mer än en halvtimme.
- Efterbilder
De flesta har upplevt att bli fotograferade med blixtn i mörker. Det är då inte ovanligt att man i synfältet upplever ljusa eller mörka fläckar även en god stund efter exponeringen. Stark belysning kan alltså chocka synen så att så kallade efterbilder kan ligga kvar dygnsvis. Detta kan inverka negativt på förmågan att urskilja detaljer.

I Figur 2-5 kan vi se att den relativt lindriga effekten ”obehaglig bländning dagtid” kan nås med en laser på 1 mW som lyser upp en area på 3 dm². I mörker är denna laserpekarebelysning 100 000 gånger starkare än vad som krävs för den kraftfullare effekten ”döljande bländning nattetid”. (Detta resonemang kan också vändas för att tydliggöra hur mycket starkare lasrar som krävs för att säkert blända under dagtid än under mörker.) I samma figur ser vi vilka exponeringsnivåer (med grönt laserljus) som kan orsaka olika typer av bländning.



Figur 2-5. Figuren visar vilken stor skillnad det är mellan de exponeringsnivåer som krävs för att nå bländning i dagsljus respektive i mörker.

Figur 2-6 ger en relation mellan exponeringen från det klenaste tillåtna helljus som en bil får ha inom den Europeiska Unionen jämfört med approximativa exponeringsnivåer från handhållna lasrar. I figuren finns också maximal tillåten exponering ur arbetarskyddssynpunkt inlagd för två exponeringstider. Den kortaste gäller om man låter naturliga avvärjningsreaktioner styra seendet så att den belysta blundar eller vänder bort blicken. 10-sekundersnivån är mer relevant om man trots bländning ihärdigt stirrar för att trots laserljuset försöka urskilja något i scenen. Genom att kombinera information ur Figur 2-5 och Figur 2-6 inser vi att alla lasrarna kan orsaka obehaglig bländning dagtid. De kan dessutom orsaka alla typer av bländning nattetid.



Figur 2-6. Ungefärlig exponering från tämligen starka handhållna lasrar jämfört med exponering från klenaste tillåtna bilhelljus. Vi ser att helljuset endast ger en bråkdel av laserexponeringen.

2.2.3 Övriga fysiologiska reaktioner och psykologisk påverkan

Människan har ett antal reflexmässiga reaktioner som kan ha betydelse i samband med laserbelysning. En beskrivning av dessa reaktioner och tänkbara konsekvenser av dessa i samband med laserexponering följer här:

- 1) Pupillstorlek
Regnbågshinnan i ögat har en naturlig ljusreglerande funktion. Hinnan ligger runt den mörka pupillöppningen som är ljusets väg in i ögat. Vid starkt omgivningsljus kan öppningen minska till 1 mm medan den i mörker kan växa till 7 mm i diameter. Enkel geometri ger vid handen att det skiljer nästan en faktor 50 mellan ljusmängderna som släpps in vid maximal respektive minimal öppning. Ögat är avpassat för att ge användbara bilder av omvärlden under vitt skilda naturliga förhållanden. Bra seende dagtid har emellertid prioriterats och vår pupill är därför rund även vid liten öppning och kan inte dra ihop sig lika mycket som exempelvis kattdjurens. Tyvärr kan man dock av två skäl inte räkna med att pupillsammandragning aktiveras som skydd mot skada vid laserbelysning:
 - a) De flesta skadande laserexponeringar orsakas av så korta pulser att inga fysiologiska reaktioner hinner äga rum.
 - b) Starka sinnesrörelser, exempelvis skräck kan medföra att pupillen öppnas maximalt istället för att stängas i starkt ljus.
- 2) Avvärningsreflex
Alla vet att starka ljuskällor (som exempelvis solen) upplevs som obehagliga att se mot. Detta är en mycket relevant reaktion eftersom det är skadligt för synen att stirra in i solen. Obehaget ger upphov till beteenden som att blunda, vända bort blicken eller skärma av ljuskällan med handen. Dessa avvärningsreflexer räknas in vid bedömning av långa laserpulser eller kontinuerligt lysande lasrars farlighet. Avvärningsreflexerna ger dock ett begränsat skydd mot ögonskadande laserstrålning av två skäl:
 - a) De flesta laserinducerade ögonskador orsakas i praktiken inte av laserpekare – även om dessa kan vara ögonfarliga – utan av lasersystem vars pulser är så korta att inga avvärningsreflexer hinner skydda. (Inte ens elektrooptiska slutare hinner stoppa pulser som endast är några nanosekunder långa.)
 - b) Det är möjligt att trotsa obehaget och stirra in i ljuskällan om individen av något skäl bedömer det som viktigt.
- 3) Uppmärksamhetsreflex
För människan och de flesta djur har förmågan att snabbt uppmärksamma och rikta blicken mot förändringar, rörelser och blänk varit av stor betydelse för överlevnaden. Ett första laserblänk kan aktivera denna reflex hos människan så att blicken automatiskt riktas mot ljuskällan. Detta kan dramatiskt öka skade- eller bländverkan av en laserexponering.

Det är mycket svårt för en belyst individ att omedelbart förstå om en belysning vållat enbart temporär bländning och efterbilder eller om den också orsakat permanenta ögonskador. Det akuta obehag man känner när man utsätts för stark och bländande belysning blir inte värre om näthinnan skadas eftersom där saknas smärtreceptorer. Om man gnuggar ögonen för att på så sätt instinktivt försöka få bort bländningseffekter och andra synned-sättningar så kan gnuggandet ge en smärtsam inflammation på hornhinnan.

Det är mycket svårt att göra tillförlitliga modeller av vilken psykologisk påverkan som laserbelysning kan ge. Det varierar troligen alltför mycket mellan individer och mellan olika situationer för att några generella slutsatser ska kunna dras. Det är dock ställt utom varje tvekan att hot mot synen/ögonen i allmänhet anses allvarligare än hot mot många andra funktioner och kroppsdelar. Det är också naturligt i vårt samhälle att minimera skaderisker i yrkessammanhang. Ingen uttömmande behandling av risker med psykologisk påverkan av laserbelysning lämnas i denna rapport. Några psykologiska faktorer berörs dock i kapitlet om utbildning.

2.2.4 Sekundära effekter av laserexponering

De direkta effekterna av belysning med laserpekare har vi behandlat i kapitlet ovan. Laserbelysningen kan dock få mer vittgående konsekvenser än så. Vi försöker att systematisera denna indirekta inverkan i tre kategorier:

- Bländning leder till att den belysta inte kan fullgöra sin uppgift.
Laserbelysning kan exempelvis vara så störande att flyg-, båt- och fordonsförare inte ser att manövrera. Detta kan i värsta fall leda till haverier och stora skador. Mer lindriga konsekvenser kan vara att fordon stannar eller att vakt- och utryckningspersonal varken ser att utföra sin uppgift eller urskilja förlopp och gärningsmän. De blir därmed inte lika användbara som vittnen.
- Upplevd skaderisk leder till att en befattningshavare inte fullgör sin uppgift.
Rykten om att laserbelysta har förlorat synen kan göra att exempelvis anställda inom ordningsmakten inte vågar observera allmänheten. Detta kan leda till passivisering och drastisk reduktion av effektiviteten i ordningsmakten. Om detta blir generella reaktioner bland befolkningen i stort kan samfärdsel och andra vitala samhällsfunktioner lamslås.
- Belysningen utlöser motreaktioner eller andra komplexa beteenden
Frustration kan göra att bilförare kör rakt mot ljuset eller att individer med skjutvapen beskjuter strålkällan. Man kan också tänka sig andra typer av ”moteld”. Frekvent belysning kan också resultera i att befolkningen föredrar andra vägar och gångstråk än tidigare om det är mindre risk att de blir utsatta för laserbelysning där.

2.3 Incidenter

Rapporter där grön laser har använts för att störa viktiga samhällsfunktioner ökar stadigt i Sverige. Prognosen för 2010 är att antalet rapporteringar kommer att mer än en fördubblas jämfört med 2009^{5,6}. Med tanke på de kommersiella lasrarnas effekt att på kilometeravstånd blanda bilförare, piloter et cetera är antalet allvarliga incidenter fram tills idag få. Detta ändras sannolikt nu när allt kraftfullare och billigare lasrar blir tillgängliga för allmänheten (se kapitel 2.1). Men redan nu ser man ett ökande antal arbetsskadeanmälningar till Arbetsmiljöverket vilket har lett till krav på skyddsutrustning för vissa yrkesgrupper.

I dag orsakas de flesta incidenter av²⁴

- Okynne; barn- och ungdomslek
- Oaktsamhet; lasershower, reklam, astronomiklubbar et cetera
- Ordningsstörande individer; belysning av ordningsmakten, väktare, flygförare, buss- och spårvagnsförare et cetera
- Autonoma grupper (autonoma miljö) med avsikt att skada/störa; demonstrationer, upplopp
- Galningar/terrorister.

De drabbade finns inom alla samhällssektorer:

- Poliser
- Piloter
- Helikopterförare
- Flygtrafikledare
- Spårvagnsförare och buss- och taxichaufförer

²⁴ Källa: Arbetsmiljöverket (Per Nylén).

- Ordningsvakter
- Vaktare
- Fotbollspelare
- Bilförare

Situationen under de senaste åren för ett antal olika samhällsgrupper redovisas här nedan. Vi väljer att fokusera på Sverige eftersom de internationella incidenterna är alltför många. FOI publicerade en rapport 2006 där den internationella situationen togs upp för flygsektorn²⁵. Sedan dess har antalet incidenter fortsatt att öka²⁶. Nytt på scenen är att det även internationellt förekommer samordnade attacker mot flygfarkoster, som exempelvis i Australien 2008 när fyra separata lasrar placerade på fyra olika platser riktades mot ett flygplan på väg att landa i Sydney²⁷.

2.3.1 Poliser

Poliser är en mycket utsatt grupp. Polisflyget, polishelikoptrar, bil-, mc- och fotpatrullerande poliser är utsatta²⁸. Förövare är allt från ungdomar till drogpåverkade personer (se föregående avsnitt). Attacker har lett till att poliser skadats och förts till sjukhus²⁹. Det finns nu också fall där läkare konstaterat ögonskador. Trenden är dessutom att polisen beslagtar allt starkare laserpekare vilket markant ökar risken för ögonskador med synförlust och även hudskador som följd.

Mellan november 2008 och november 2009 rapporterades om cirka 80 laserattacker mot poliser²⁹. Av dessa 80 attacker ledde 25 fall till arbetsskador. Polisflyget blev utsatt vid cirka 15 tillfällen under 2009 med 3 gripna. Bara sedan mars i år (2010) har polisen beslagtagit nästan 200 lasrar.

2.3.2 Flygförare och flygtrafikledare

Piloter och helikopterförare tillhör de mest drabbade runt om i världen och i Sverige. Förutom medvetna attacker, förekommer laserbelysningar också från ”legitima” källor som ljusshower och forskningsstationer. Laserbelysning av flygande objekt bör dock kunna minskas genom striktare tillämpning av de regler som finns och tillkommande regler samt genom spridning av information. Ökningen av attacker mot flygplan de senaste åren är dock markant^{26,6} (se Tabell 2-3). Fram till augusti 2010 har det rapporterats nästan lika många incidenter som under hela 2009.

Tabell 2-3. Rapporterade incidenter de senaste åren mot flygfarkoster för ett antal länder.⁶

Antal rapporterade incidenter	2005	2006	2007	2008	2009
Sverige	-	1	2	8	90
Danmark	-	-	3	0	32
Norge	-	-	-	5	126
Storbritannien	10	11	30	202	871
USA	348	451	643	955	1527

²⁵ S. Björkert och C. Lopes, ”Transportation sector optical protection system (TOPSY) – Conclusions from a workshop on laser protection for civil aviation and a literature review”, FOI-D--0029--SE (2006).

²⁶ Se exempelvis (a) <http://fr.news.yahoo.com/63/20100831/tfr-jug-en-comparution-immdiate-pour-avo-019dcf9.html>; (b) <http://www.laserpointersafety.com/news/files/tag-airplane.php>.

²⁷ <http://www.foxnews.com/story/0,2933,346852,00.html>

²⁸ <http://ltz.se/nyheter/ostersund/1.1592733-laserattacker-mot-polis-okar> (2009)

²⁹ Se exempelvis (a) <http://kvp.expressen.se/nyheter/1.1812358/poliser-skadade-av-gron-laser> (2009); (b) http://svt.se/2.22620/1.1829383/man_gripen_efter_attack_med_laser.

Flygplanen attackeras oftast vid inflygning/landning, det vill säga i närheten av flygplatser, vid skymning eller mörker. De flesta incidenterna sker därför sent eftermiddag, eller tidigt på kvällen med en topp vid kl. 19.00. Att de flesta incidenter sker vid skymning/mörker beror på att det under de förhållanden är lättast att blända människor eftersom ögat då är anpassat för mörkerseende och extra känsligt för starka ljuskällor. En annan faktor kan vara att det då är lättare för den som använder lasern att se vart laserstrålen riktas. Möjligen sker fler incidenter dagtid än vad som rapporteras, men detta uppfattas inte alltid av de utsatta eftersom det är svårare att blända dagtid än nattetid.

Många flygplatser i Sverige är drabbade; Stockholm/Arlanda, Stockholm/Bromma och Göteborg/Landvetter är de mest utsatta.³⁰

Om attacken sker under en kritisk del av flygmanövern kan konsekvenserna bli mycket allvarliga. Några rapporterade effekter på piloter är:

- distraktion
- bländning
- bländning med tillfällig synförlust och efterbilder
- ögonsmärter.

Effekten på flygförarna har undersökts³¹ av Federal Aviation Administration (FAA) i USA och diskuterats i kapitel 2.2.2.

Konsekvensen är, i många fall, avbrutna landningar eller omdirigering till en annan flygplats. Andra flygfarkoster som flyger på låg höjd är helikoptrar. De har många och stora fönster. Helikopterförarna gör också komplicerade manövrar. Den låga höjden och de komplicerade manövrarna ger lite utrymme och tid att korrigera färdvägen om piloten blir belyst med tillfällig förlust av synen.

Svårigheten i att få tag på förövarna visas inte minst av en händelse på Malmö Airport. Cockpiten på ett fraktpplan på 800 meters höjd, under inflygning, träffades av en skarp grön laserstråle. Piloten bedömde att strålen kom från en plats 4 mil bort. Förövarna kan alltså utföra sina dåd på stora avstånd vilket gör det svårt för polisen att gripa dem. En person greps dock under 2009 i Sverige. Detta efter att samma person riktat lasern först mot en polishelikopter och senare mot en mc-polis³².

Attackerna mot flygförare och flygtrafikledare (kontrolltorn) har fått Eurocontrol att publicera en säkerhetsvarning och rekommendationer³³. Incidenter i Sverige ska rapporteras till Transportstyrelsen.

2.3.3 Buss- och taxichaufförer och spårvagnsförare

Bussbranschen rapporterar cirka en händelse per månad. Händelser nyligen vid Norsborg/Fittja vittnar om allvaret i situationen. Tio tillbud skedde i området nyligen där en utsatt förare hade kvardröjande symptom i cirka 75 minuter i form av svart fläck i synfältet och en förare såg nästan ingenting under en tid efter attacken³⁴. I Skutskär träffades en busschaufför i ögonen av en stråle från en mötande buss³⁵. Även bussförare i Norrköping har utsatts³⁶. Belysningen kan leda till allvarliga trafikolyckor och inställda turer. Bussarbetsgivarna, med cirka 450 medlemsföretag, ser därför laserattacker som ett stort problem.

³⁰ Källa: Transportstyrelsen (Britt-Marie Kärlin, Flygsäkerhetsanalytiker, Jaa).

³¹ V. B. Nakagawara, R. W. Montgomery, A. E. Dillard, L. N. McLin och C. W. Connor, "The Effects of Laser Illumination on Operational and Visual Performance of Pilots During Final Approach", Federal Aviation Administration, Office of Aerospace Medicine, rapportnummer DOT/FAA/AM-04/9 (2004).

³² <http://www.dn.se/nyheter/sverige/fler-laserattacker-mot-flygtrafik-1.938377> (2009).

³³ http://www.eurocontrol.int/safety/public/standard_page/Safety_Alert_2009.html

³⁴ Källa: Nobina (Mats Hansson).

³⁵ <http://gd.se/nyheter/alvkarleby/1.1726192-polis-utredar-laserattacker> (2010).

³⁶ <http://norrkoping.lny.se/chauffor-utsatt-for-laserattentat-46322>

Spårvagnsförare i Göteborg har också varit utsatta.

I juli 2009 attackerades en taxichaufför under färd på riksväg 80, utanför Gävle, och måste uppsöka sjukvården²⁹. Händelsen skedde nattetid och taxichauffören kände obehag i ögonen flera timmar efter händelsen.

2.3.4 Ordningsvakter och väktare

En spärrvakt vid tunnelbanan i Stockholm utsattes nyligen med konstaterat ögonskada som följd²⁴. En väktare i Södertälje utsattes för en laserattack när han ronderade på kvällen den 21 januari 2010. Väktaren och dennes kollega lyckades gripa mannen och tillkalla polis³⁷.

2.3.5 Fotbollsspelare

Fotbollsspelare har sedan en tid varit utsatta för laserbelysning. Fenomenet startade för några år sedan utomlands men förekommer nu också i Sverige³⁸. I fotbollslandskampen mellan Sverige och Skottland på Råsunda, 11 augusti 2010, belystes spelare och domare på planen med laser. Även under Allsvenska matcher har laserstrålar riktats mot spelare. Trots att det kan vara svårt att träffa spelarnas ögon kan detta bli ett stort problem.

2.3.6 Bilförare och övriga

Ofta genom okynne och lek blir människor utsatta för laserljus. Förövarna är ofta barn som har svårt att förstå allvaret med den här typen av lek. Dessutom är laserpekare en ”inneleksak”, en trend som ökar bland barn. Detta visas inte minst av händelser i Skutskär i början av januari, 2010, då 4 personer träffades av grön laser. En mamma med barn fick uppsöka sjukhus med smärtor i ögonen³⁵. Även en bilist träffades i ögonen av en stråle från en mötande buss. Misstanken fanns att det var skolelever som utförde dåden. Flera elever hade skaffat laserpekare, vilka polisen beslagtogs. Efter ett antal incidenter i Uppsala kommun bestämdes att alla lasrar som upptäcks i skolorna ska beslagtas³⁹.

³⁷ <http://lt.se/nyheter/1.712848-laserattack-mot-vaktare> (21 januari 2010).

³⁸ <http://www.aftonbladet.se/sportbladet/fotboll/landslaget/article76110117> (13 augusti 2010).

³⁹ <http://www.unt.se/uppsala/stopp-for-laserpekare-i-skolan-920031.aspx>

3 Skyddsmöjligheter

3.1 Strålskyddslagen

Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) är den instans i Sverige som meddelar föreskrifter om tillståndsplikt för lasrar enligt 21 § i Strålskyddslagen (1988:220). SSM införde, 1 februari 2009, krav på tillstånd för lasrar som tillhör Klass 3B och 4 (lasrar starkare än 5 mW) eftersom de kan ge bestående ögonskador om de hanteras felaktigt⁴⁰. Tillstånd krävs därför då användningen avser underhållning (exempelvis lasershower och på nattklubbar), konst och reklam, eller för lasrar som används på ett sådant sätt att MTE (max tillåten exponering) överskrider på allmän plats eller i luftrummet. Vidare krävs tillstånd för innehav av laserpekare och andra bärbara och batteridrivna laserprodukter i klass 3B och 4

- på allmän plats,
- inom skolområde,
- eller i fordon på allmän plats.

Ansökan om tillstånd skickas till SSM. Ett lasertillstånd kostar 4 200 kr/år. För laserpekare är kostnaden 500 kr under högst 3 år.

Den som bryter mot SSM:s föreskrifter om lasrar, SSMFS 2008:14, antingen genom uppsåt eller oaktsamhet, döms till böter eller fängelse i högst två år (Strålskyddslagen 36 § 2). Undantag görs för ringa fall och om ansvar i stället kan ådömas enligt brottsbalken (38 §). Den som laserbelyser allmänheten, ordningsmakten, fordon et cetera kan åtalas, förutom för innehav av laser på allmän plats, för

- grov misshandel eller försök därtill
- misshandel eller framkallande av fara för annan
- våld mot tjänsteman
- luftfartssabotage.

Vidare i SSMFS 2008:14 (3 §) framgår att lasrar ska vara utformade, klassificerade och märkta enligt lasersäkerhetsstandarden SS-EN 60825-1⁴¹ (en annan men likvärdig säkerhet accepteras också). Många lasrar köps eller importeras från Asien och dessa är oftast felmärkta eller omärkta (se kapitel 1) och följer därför inte svensk lag. SSM utreder därför möjligheten till importrestriktioner. Även försäljningsrestriktioner undersöks. I dag beslagtas laserpekare på misstanke. De undersöks (styrkan mäts) och därefter beslutas om påföljd. Laserbestrålning är ett problem som berör flera myndigheters ansvarsområden (Strålsäkerhetsmyndigheten, Transportstyrelsen, Polisen, Arbetsmiljöverket med flera). Det finns en efterfrågan från berörda myndigheter om en starkare lagstiftning som reglerar exempelvis innehav, brukande, handel, tillstånd vid köp och dylikt. Planer finns därför på en skärpning av lagen.

Lagstiftningen i många andra länder är hårdare än den svenska men det har inte lett till någon minskning av antalet fall utan de fortsätter att öka. Exempelvis har Australien importförbud på lasrar starkare än 1 mW, vilka dessutom är vapenklassade. Straff på två års fängelse har utdömts då en person riktat en laser mot en polishelikopter. I Kanada kan ett femårigt fängelsestraff utdömas eller böter på 100 000 dollar vid exempelvis belysning av flygfarkoster. I USA har sjuåriga straff utdömts, men man vill utöka till 20 år. I England är lasrar starkare än 1 mW vapenklassade. Vapenklassning verkar dock inte vara

⁴⁰ (a) Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om lasrar, SSMFS 2008:14 (2009).

(b) Martin Lindgren, Strålsäkerhetsmyndigheten, Promemoria 2010-03-19.

⁴¹ Svensk Standard SS-EN 60825-1, "Laser – Säkerhet – Del 1: Klassificering av utrustning, fordringar och användarinstruktioner" (2007).

aktuell i Sverige även om det, enligt SSM, finns planer på ny lagstiftning. Trots många tillbud i Sverige och ett antal gripna har ännu ingen tilldömts något straff⁴².

Vissa bestämmelser gäller inte laserutrustning ”som levereras till myndigheter inom totalförsvaret för användning i krig eller under krigsliknande förhållanden”.

3.2 Tekniska laserskydd

De tekniska skydden mot laser kan delas in i två huvudgrupper:

- Statiska skydd.
- Dynamiska skydd.

Statiska skydd anpassar sig inte till det infallande laserljuset, utan har en fast skyddsfunktion. Statiska skydd tillverkas idag kommersiellt och finns i form av exempelvis skyddsglasögon. Detta är den vanligaste typer av skydd i dag och de behandlas i de följande avsnitten (och i bilaga C). Dynamiska skydd förändrar sina egenskaper beroende på laserljusets karaktär och ger ett mer allsidigt skydd. Utvecklingen av sådana skydd pågår på olika håll i världen och vi hänvisar till Bilaga D — Dynamiska skydd för en presentation av dem.

3.2.1 Allmänt om statiska laserskydd

Statiska skydd är vanligen våglängdsfilter, vilka dämpar ljusstyrkan i smala eller breda våglängdsband. Men även system som inte låter omgivningens ljus passera hela vägen fram till observatörens öga, utan presenterar bilden på en skärm eller liknande kan räknas hit.

Våglängdsfilter dämpar en mindre eller större del av ljusspektret (såväl synligt som ultraviolett eller infrarött). De är därför praktiska att använda när laserns våglängd är känd på förhand. För en enskild laservåglängd räcker det att dämpa ut ett smalt våglängdsintervall och omgivningen ser i stort sett ut som vanligt när man tittar genom filtret. Vill man klara flera våglängder samtidigt måste filtret ha ett bredare dämpningsområde och omgivningen ser färgad ut. Själva färgningen kan man vänja sig vid, men ett problem är att ytor som i vanliga fall kontrasterar mot varandra kan bli omöjliga att skilja åt och uppfattningen om omgivningen blir därför felaktig.

Det finns många olika varianter av våglängdsfilter; här följer en förenklad översikt:

- 1) Färgfilter

Dessa arbetar genom att absorbera vissa våglängder, oftast i bredare våglängdsintervall eller ”hela färger”. De upplevs som färgade, eftersom endast de våglängder som inte absorberas av filtret kan passera. Beroende på vilka våglängder som absorberas kan färgfiltren delas in i olika typer:

 - a) Kortpassfilter

I dessa kan ljusvåglängder upp till en viss våglängd passera, medan (praktiskt taget) alla längre våglängder absorberas. Dessa filter ser ofta blå eller gröna ut.
 - b) Långpassfilter

Här är förhållandet det omvända jämfört med kortpassfilter: långa våglängder kan passera, medan våglängder under en viss längd absorberas. Dessa filter ser ofta orangea eller röda ut.
 - c) Bandpassfilter

Ett begränsat intervall med våglängder inom det synliga spektret absorberas medan både kortare och längre våglängder kan passera.

⁴² Författarna känner inte till något fall där straff utdömts till förövare.

- 2) Gråfilter
Dessa filter kan vara antingen absorberande eller reflekterande. De dämpar alla våglängder lika mycket och ser då gråa ut eftersom balansen mellan olika färger inte ändras.
- 3) Interferensfilter
Denna sorts filter är uppbyggda av ett antal mycket tunna skikt som reflekterar ljuset mellan sig på ljusets väg genom filtret. Ljuset interfererar (överlagras) med sig självt i processen och vissa våglängder kommer att släckas ut på väg in genom filtret och i stället reflekteras ut igen. Interferensfilter kan anpassas till ett mycket smalt våglängdsintervall för att hindra en specifik laservåglängd. Interferensfilter används i mindre utsträckning eftersom de är reflekterande (reflekterat ljus kan skada någon annan) och dessutom är de vinkelkänsliga (se 3.2.3).
- 4) Dikroiska filter
Ett slags kombination av färg- och interferensfilter.

Ett fast filter kan monteras på olika sätt, ofta i ett par glasögon. Ett liknande arrangemang är i form av goggles, som har fördelen att de är avskärmade mot sidorna och kan bäras utanpå vanliga glasögon. (Se Figur 3-1.) Nästa steg är en skärm eller ett visir (i en hjälm) som skyddar mot laser. Fördelen med en sådan är att sikten blir bättre åt alla håll. Filter kan i vissa fall göras i så stort format att de fungerar som fönster, eller i form av en film som fästs på ett vanligt fönster. Detta kan komma till nytta på fordon, till exempel en flygplanscockpit, där piloterna slipper bära skydden på huvudet. För fler exempel på laserskyddsglasögon och en lista med optikföretag som tillverkar filter, glasögon eller skärmar hänvisar vi till Bilaga C — Kommersiella statistiska skydd.



Figur 3-1. Exempel på laserskyddsglasögon och -goggles. Dessa skyddar mot blått och grönt ljus och ser därmed orange-röda ut.

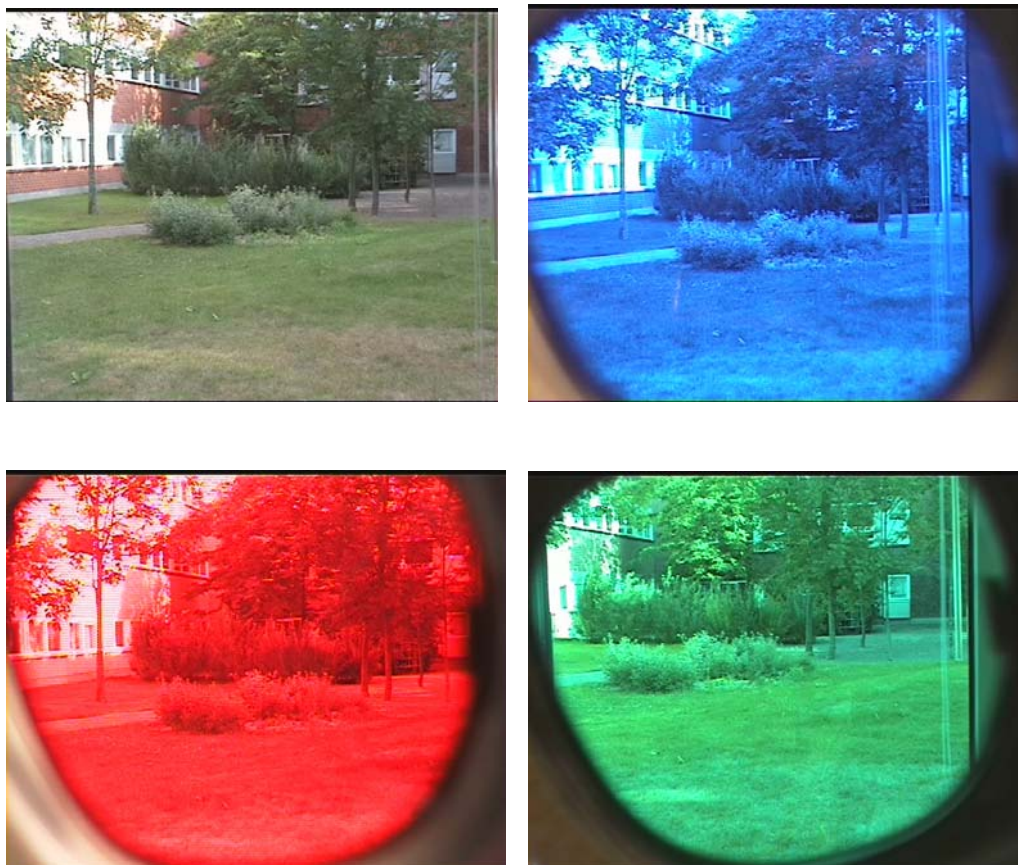
För att beskriva hur mycket ett filter dämpar används begreppet optisk densitet, OD, som säger hur många tiopotenser ljuset dämpas. Till exempel betyder OD 1 en dämpning 10 gånger, OD 2 en dämpning 100 gånger, OD 3 motsvarar 1 000 gånger och så vidare. Se Bilaga B — Parametrar för våglängdsfilter för en närmare beskrivning av OD. En näraliggande fråga är hur bra man ser genom filtret. Detta anges med ljustransmissionen VLT, som förklaras i samma bilaga.

Ett annat sätt att skydda sig mot laserljus är indirekt observation. Indirekt observation innebär att man har ett hjälpsystem som visar en bild av omgivningen, exempelvis en kamera som visar en bild på en skärm. Systemen kan också vara huvudburna, såsom goggles (bildförstärkare) som används i mörker. Dessa system har fördelen att de ger ett mycket bra skadeskydd för observatörens ögon, eftersom ljuset från omgivningen aldrig kommer in i ögat. En kamera eller andra sensorer kan dock ta skada av stark strålning eller bländas

och observatören kommer i båda fallen att hindras i sitt arbete. Ett lämpligt laserskydd behövs således fortfarande; inte för ögat, men för kameran eller sensorn.

3.2.2 Laserskyddsfiltrens inverkan på synen

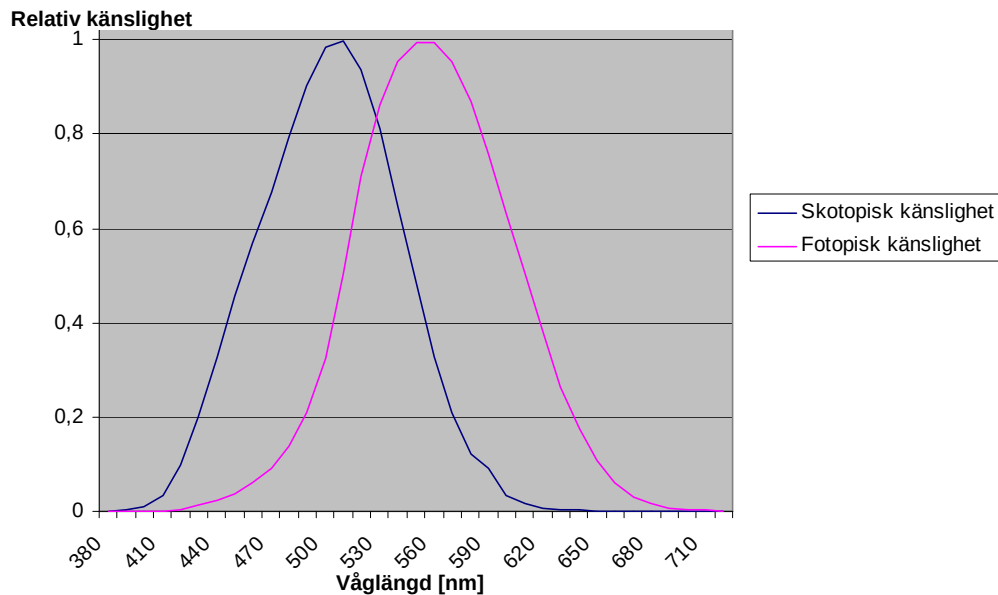
Laserskydden dämpar ofta breda våglängdsintervall för att ge en god skyddsförmåga och det får konsekvensen att glasen är färgade. Figur 3-2. Samma vy sedd genom tre olika typer av laserskyddsglasögon (bilden högst upp till vänster är tagen utan laserskydd framför kameran). Färgningen gör att färgbalansen försämras. (Bieffekter av detta diskuteras i nästa avsnitt, 3.2.3.)



Figur 3-2. Samma vy sedd genom tre olika typer av laserskyddsglasögon (bilden högst upp till vänster är tagen utan laserskydd framför kameran). Färgningen gör att färgbalansen försämras.

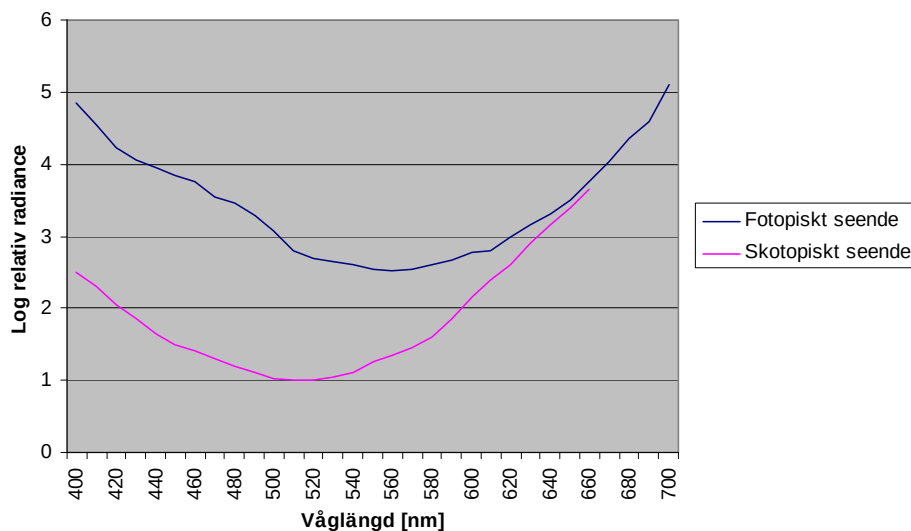
För att kunna diskutera skyddens inverkan på synen måste vi också beskriva ögats känslighet under olika ljusförhållanden. Under dagsljusförhållanden uppfattar ögat ljus med de synceller som kallas *tappar* i hela det synliga våglängdsområdet. Vårt färgseende fungerar och ögats känslighetskurva för olika våglängder kallas *fotopisk* (se Figur 3-3). Den största känsligheten är i gul-grönt (555 nm). Vid gränsen för det synliga våglängdsområdet vid 400 nm (violet) respektive vid 700 nm (mörkrött) är ögats känslighet endast 0,3 % av vad den är i gulgrönt.

När en människa har vistats i absolut mörker i 30 – 45 minuter anses ögat ha ställt om sig till mörkerseende. Under mörkerförhållanden är det de synceller som kallas *stavar* som är aktiva. Ögats spektrala känslighetskurva i mörker kallas *skotopisk* (se Figur 3-3) och har sitt maximum i blågrönt (510 nm).



Figur 3-3. Relativ känslighet för stavar (skotopiskt seende – i mörker) respektive tappar (fotopiskt seende – i dagsljus)⁴³

Figur 3-4 beskriver skillnaden mellan fotopiskt och skotopiskt seende på ett annat sätt genom att ange den lägsta radian vid vilken en yta kan ses. I det röda spektralområdet (våglängder > 600 nm) är stavarna knappast känsligare än tapparna. Det skotopiska seendet fungerar över den undre tröskelkurvan i Figur 3-4 men förlorar i betydelse när scenbelysningen ökar över tapparnas tröskelkurva och färgseendet sätter in. Under skotopiska förhållanden har vi alltså inget färgseende men känsligheten är upp till 300 gånger högre än under fotopiska förhållanden.



Figur 3-4. Tröskelvärden (radians) för att tappar (fotopiskt seende) respektive stavar (skotopiskt seende) ska kunna uppfatta ett ljussken.⁴⁴

I belysningsnivåer något ljusare än absolut mörker kan naturligtvis ögats spektrala känslighet variera mellan de ovan beskrivna ytterligheterna eftersom både tappar och stavar

⁴³ C. Graham m. fl., "Vision and Visual Perception", John Wiley & Sons, 1966, sidan 10.

⁴⁴ C. Graham m. fl., "Vision and Visual Perception", John Wiley & Sons, 1966, sidan 72.

används. I dessa belysningsnivåer sägs ögat ha mesopisk känslighet. Det mesopiska området brukar definieras som 0,001 till 3 candela per m².

Vi kan nu diskutera mera ingående viken inverkan färgfilter kan få på synen. För åskådlighetens skull tar vi upp två teoretiska typfall:

1. Laserhotet är enbart i det röda våglängdsområdet.
2. Laserhotet är enbart i det blåa och gröna våglängdsområdet.

Som skydd mot hot nummer ett sätter vi på oss glasögon med filter som helt tar bort det röda området (våglängder > 555 nm). Under dagsljus får vi dock fortfarande igenom 50 % av det synliga ljuset och även om omvärlden ser besvärande grön ut kan vi fortfarande se tämligen bra. När det mörknar ökar ögats känslighet i de områden som filtren släpper igenom. I fullständigt mörker ser vi alltså nästan lika bra som utan filterglasögon.

Som skydd mot hot nummer två sätter vi på oss glasögon med filter som tar bort hela det blåa och gröna våglängdsområdet (våglängden < 555 nm). Under dagsljus får vi fortfarande igenom 50 % av det synliga ljuset och även om omvärlden ser besvärande röd ut kan vi fortfarande se tämligen bra. När det mörknar ökar ögats känslighet främst i de områden som dämpas av filterglasögonen. Dessa glasögon blir alltså mycket handikappande i mörker jämfört med att gå utan glasögon.

När dagsljuset ersätts av mörker får det fler konsekvenser för synen. Förutom att färgkänsligheten förskjuts mot blått så avtar den också i styrka och ersätts av grå nyanser vid låga ljusnivåer. Synskärpan avtar. Ljusblänk uppfattas lättare i periferin och inte mitt i synfältet. Viktigt är också att pupillen vidgar sig för att öka ljusinflödet och därmed ökar risken för skada från laserstrålning (se kapitel 2.2.3).

3.2.3 Skyddens begränsningar och bieffekter

Färgfilter är det bästa valet i dag för att skydda sig mot laserljus, men de har några allmänna svagheter:

- Skydden absorberar oftast i breda våglängdsintervall och är därmed "färgade". Färgupplevelsen kan man vänja sig vid, men detaljer i omgivningen kan försvinna på grund av att vissa färger flyter ihop (se exempel i Figur 3-2).
- Skyddsfiltren kan blekna med tiden varvid skyddsförmågan försämras. Mätningar på skyddsglasögon⁴⁵ visar att vissa glasögon fortfarande erbjuder fullt skydd efter 30 år, medan andra har försämrats redan efter fem år. I ett fall hade glasögonens skyddsförmåga försämrats med hela OD 10.
- Eftersom de absorberar vissa ljusvåglängder kan materialet, om strålen lyser på samma punkt, hettas upp och förstöras.

Styrkan hos interferensfilter är skarpa kanter mellan våglängder som får passera eller inte passera och de kan användas för att filtrera bort enskilda laservåglängder. Det finns dock en del nackdelar när de ska användas som laserskydd:

- De våglängder som filtret skyddar mot kommer att reflekteras bort från filtret och vi får en ny stråle som kan vara farlig för omgivningen.
- Om laserstrålen faller in snett är det inte säkert att filtret ger skydd, eftersom interferenseffekten är starkt beroende på infallsvinkeln och därmed vilka våglängder som hindras passera. Om man konstruerar filtret för att skydda även mot snett infallande strålar måste det göras spektralt bredare och det begränsar transmissionen (svårare att se igenom).

⁴⁵ Robert Lindberg och Per Olof Hedekvist, "Utvärdering av åldrandet hos laserskyddsglasögon", rapport PX00624, SP – Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2010.

- Det material som man bygger upp interferensskiktet på måste vara styvt, eftersom skiktet är sprött, och det måste också tåla de höga temperaturerna när skiktet läggs på.
- Temperaturändringar kan förskjuta våglängdsområdet som filtren skyddar mot.
- Interferensfilter är dyrare än färgfilter.

Utöver de rent tekniska begränsningarna hos statiska (och dynamiska skydd) så medför de en del oönskade bieffekter. Den ”färgade” bild som många skydd ger upphov till medför förlust av information i omgivningen, eftersom föremål med liknande färg kan bli omöjliga att skilja åt. (Se Figur 3-2 för ett exempel.) Ofta vänjer man sig vid att se omgivningen i en ny färg och tänker inte på den efter ett tag, men det finns också exempel på där personer som burit färgade skyddsglasögon blivit illamående. Ett särskilt problem för fordonsförare är att vissa tecken och signaler i trafiken kan bli svåra att uppfatta. Likaså kan det bli problematiskt att korrekt uppfatta instrumenteringen i fordon och på andra platser.

Ett laserskydd som bärs på huvudet kan begränsa rörelsefriheten och vara tröttande i längden. Skydden kan orsaka svettning i ansiktet och det finns risk för imbildning om de är alltför täta. Flertalet skydd har ett begränsat synfält och hindrar seendet åt sidan.

Indirekta skydd med en kamera eller dylikt som visar omgivningen på en skärm har nackdelarna att kameran är skadekänslig och att skärmen med sin begränsade upplösning varken kan visa alla detaljer eller återge ögats stora naturliga synfält.

3.3 Övning, utbildning och beredskap

Fastän skjutvapen varit kända i hundratals år finns det inga enkla och praktiskt användbara skydd som helt eliminerar risken för skottskador. Som framgått av beskrivningen ovan är det i dag inte heller praktiskt möjligt att med tekniska skydd nå fullständig säkerhet mot verkan av laserbelysning.

Precis som det finns lämpliga och mindre lämpliga beteenden vid beskjutningsrisk så finns det också lämpliga och mindre lämpliga beteenden vid risk för belysning med farlig eller störande laser. Utbildning och övning i detta avseende ger dessutom en psykologisk beredskap hos individer och organisationer vilket minskar risken för överraskning och panik om en belysning inträffar.

3.3.1 Övning och utbildning

Den viktigaste faktorn för att klara att agera under laserhot är dock att ha övat. Både med att känna på laserbländning så man känner igen symptomen och vet att man har metoder att lindra konsekvenserna. Övning att agera under laserbelysning kan göras på ett ögonsäkert sätt under mörker eftersom bländande exponeringsnivåer då ligger långt under MTE-värdet.

Även om man läst rapporter om vilka metoder man kan använda mot laserbelysning så reagerar man inte alltid rationellt om man inte har övat på ett antal enkla (taktiska) åtgärder för att få kontroll över situationen vid laserbelysning. Här följer ett antal rubriker som bör ingå i utbildning och övning för personal som kan bli utsatt för laserbelysning.

Sannolik verkan

Utbildning om vilken verkan laserbelysning kan ha och vilken verkan som är mest sannolik gör att de som belyses kan agera rationellt.

Det är i dag mycket ovanligt att handhållna lasrar på tiotals meters avstånd ger ögonskador. Men med tanke på de låga priserna på starka handhållna lasrar bör man agera med stor försiktighet. Exempelvis har lasrar med styrkor ≥ 100 mW ett säkerhetsavstånd på mer än 64 meter (se bilaga A).

Improviserade/taktiska skydd

Utbildning om enkla, improviserade skyddsåtgärder kan göra att även oväntade laserexponeringar kan klaras av utan orimliga konsekvenser.

Vi har i tidigare kapitel sett att handhållna laserpekare inte säkert förmår skada ögon i alla lägen. En betydelsefull faktor är om gärningsmannen förmår hålla laserstrålen konstant riktad mot ögat. Detta kan man naturligtvis försvåra genom att röra på huvudet så att den konstanta belysningen blir omöjlig att nå.

Att kisa, avskärma staka ljuskällor med handen eller liknande ger drastiska reduktioner av ögats exponering och minskar skaderisken betydligt.

Indirekt seende med TV-kameror eller bildförstärkare kan försämra möjligheterna att se intressanta företeelser i riskområdet men sådana åtgärder eliminerar i stort sett ögonskaderisken.

Ingen av dessa åtgärder ger dock någon större förbättring mot de bländningseffekter som gör det svårt att se. I tidigare kapitel har vi emellertid sett att det krävs mycket högre laserexponeringar för att blända i dagsljus än vad som krävs i mörker. Ett tämligen effektivt motmedel mot laserbländning är därför att ordna stark konventionell belysning av den scen man vill bevaka. Då minskar risken att observatören bländas och samtidigt minskar risken att observatören skräms av helt ofarliga laserpekare eftersom de inte ser så starka ut jämfört med bakgrunden. Denna åtgärd minskar också risken att laserljuset ska skada ögonen.

Psykologiska faktorer/taktik

De speciella psykologiska förutsättningar som är förknippade med kriminell användning av laser bör också diskuteras under utbildningen och lämpliga strategier att bemöta laserbelysning tas fram.

Ett problem som laseranvändaren har är att avgöra om belysningen får effekt. Genom att undvika att bekräfta laserbelysningens inverkan kan man öka osäkerheten hos laseranvändaren och på så sätt minska benägenheten att använda laser. Förare som belyses ska alltså undvika att panikbromsa och istället försöka hitta ett körsätt och en körväg som skapar osäkerhet hos laserbrukaren.

Motverkan mot förövare som bländande strålkastare, vattenkanoner, gummikulor eller konventionell beskjutning kan om det är möjligt att använda också minska benägenheten att använda laser.

3.3.2 Beredskap

Ordet beredskap kan tolkas som psykologisk beredskap; att ha kunskap och drivkraft nog att ta sig an och klara av en situation där laserexponering ingår. Sådan beredskap får man bäst av utbildning och övning.

En annan tolkning av beredskap är att ha utrustning och personal till hands som är till hjälp i en sådan situation. Personalförsörjningen är åter beroende av utbildning och övning medan lämplig utrustning behöver diskuteras ur fler aspekter.

Att diskutera vilket det akuta behovet är och att därefter lägga upp en strategi för hur utrustningen ska anskaffas och förnyas under de närmaste åren är ofta en god idé. Det är inte ovanligt att snabbt uppdykande problem får till följd att ett antal anskaffningar av utrustning snabbt görs. Ofta visar det sig att en hel del av dessa anskaffningar var mindre välbetänkta. Utvecklingen av lasertekniken gör att ett massivt inköp av laserskyddsglasögon idag riskerar att vara föråldrat inom kort tid.

Det är ofta fördelaktigt att förnya utrustning stegvis så att det alltid finns moderna skydd att tillgå. Gärningsmännen blir mer osäkra om exempelvis någon del av ordningsmakten ständigt har de modernaste skydden.

Ett sätt att ha beredskap är att utarbeta handledningar och minneslistor över vad som bör göras vid laserbelysning. Civila myndigheter som FAA har utarbetat en sådan lista som också används av flygbolagen. Listan citeras exempelvis i Scandinavian Airlines (SAS) Flight Safety Magazine första nummer 2010. Denna lista kan ge inspiration till en liknande lista för Försvarsmaktens behov. Här kommer en inofficiell svensk översättning:

1. Som alltid gäller prioriteringsordningen: flyg, navigera, kommunicera.
2. Den belysta besättningsmedlemmen ska omedelbart varna den övriga besättningen och be dem uppmärksamma om de har drabbats av laserrelaterade effekter.
3. Försök skärma av ögonen från ljuskällan genom att använda handen eller annat föremål, så att ögonen om möjligt inte ser rakt mot lasern.
4. Undvik alla impulser att gnugga ögonen.
5. Besättningsmedlemmar som inte blivit belysta bör omedelbart ta eller behålla kontrollen över flygplanet.
6. När synen återvänder ska instrumenten i cockpit avläsas så att lägesbilden blir tydlig.
7. Överväg att avbryta/göra om en eventuellt påbörjad anflygning för landning.
8. Rapportera omedelbart incidenten till flygledningen inklusive (om möjligt) riktning till lasern och dess position, strålens färg och exponeringstidens längd (om det var ljusblixtar eller stadigvarande ljussken).
9. Tänd upp maximal cockpitbelysning så att bländeffekten av ytterligare laserbelysningar minimeras. Genom att ögonen anpassar sig till dagsljusförhållanden minskar deras känslighet mot laserbländning.
10. Koppla in autopiloten.
11. Kontakta flygtrafikledningen vid behov av anvisningar om lämpliga medicinska nödåtgärder för drabbade i besättningen.
12. Undersök ögonen vid närmaste ögonklinik omedelbart efter landning så att eventuella ögonskador kan konstateras och behandlas.
13. Rapportera incidenten och följ upp med flygtrafikledningen huruvida en polisanmälan gjorts av dem.

För rapportering kan en exempelblankett från FAA ses i Bilaga E — Exempelblankett för systematisk rapportering.

4 Slutsatser

Billiga, små, handhållna och relativt starka laserpekare har under de senaste åren fått stor spridning bland civilbefolkningen/allmänheten. De kommersiellt tillgängliga laserpekarna kan förutom att blända/störa ögon på kilometeravstånd även skada ögon med synreducing eller permanent synförlust som följd, dock på betydligt kortare avstånd. För en kommersiell 100 mW laser kan maximalt tillåten exponering, riskavståndet för skada, exempelvis överskridas om den belysta personen finns närmare än 64 meter från lasern. Med tanke på de låga priserna på starka handhållna laserpekare bör man vid belysning agera med stor försiktighet.

Tillgängligheten till allt starkare små, handhållna laserpekare har gjort att antalet incidenter i världen ökat dramatiskt. I Sverige har vi idag nästan en rapporterad incident per dag. Bland de mest drabbade är flyget (piloter) och polisen. Flygplan blir belysta under start och landning, det vill säga under den del av flygningen som är mest känslig för oförutsedda händelser, vilket kan leda till allvarliga konsekvenser. Plan har tvingats avbryta landningen och till och med omdirigerats till andra flygplatser. De flesta attackerna är medvetna och konsekvenser av laserbelysningen om båda piloterna tappar synen under en kritisk del av landningen/starten kan bli ödesdigra. Förövarna är allt från ungdomar (okynne) till kriminella och autonoma grupper (terroristliknade/inspirerade grupper). Under 2010 rapporterades om de första konstaterade ögonskadorna i Sverige. Efter ett ökande antal arbetsskadeanmälningar från bland annat polisen har Arbetsmiljöverket ställt krav på skyddsutrustning för vissa grupper och lagstiftningen har skärpts. Sedan 2009 är lasrar starkare än 5 mW förbjudna på allmän plats och den som genom uppsåt eller oaksamhet utsätter andra för fara genom laserbelysning kan dömas för grov misshandel eller försök därtill; misshandel eller framkallande av fara för annan; våld mot tjänsteman; eller luftfartssabotage. Importen av lasrar fortsätter dock och polisen beslagtar 2 – 3 lasrar per dag och trenden är att styrkan på lasrarna ökar, samtidigt som priserna sjunker, och nya lasertyper dyker upp. Effekten av hårdare lagstiftning, och till och med vapenklassning i andra länder, verkar dock ha liten påverkan och antalet incidenter fortsätter, precis som i Sverige, att öka. Bländning och ögonskador med kommersiella handhållna lasrar utgör därför ett reellt hot mot många viktiga samhällsfunktioner samt mot enskilda individer och försvarets personal.

De grupper som är drabbade har behov av ögonskydd, som kan ge rätt skydd och tillåter personen att utföra sin uppgift. Kommersiella skydd finns i form av glasögon och i viss mån visir och skärmar som kan blockera laservåglängden och skydda mot bländning och skada. Dessa skydd ger dock ett handikapp eftersom de är starkt färgade och den distinkta färgen gör att information från omgivningen kan gå förlorad (man ser inte vissa färger). Ju fler laservåglängder man vill skydda sig mot, desto större våglängdsintervall måste man blockera och desto svårare blir det att se normalt genom skyddet. Man bör därför tänka på att välja ett skydd som har hög ljustransmission (visual light transmission, VLT). VLT:n beror på inom vilket våglängdsintervall man har skyddsverkan, eftersom ögat ser olika våglängder olika bra. Den beror också på hur mycket filtret dämpar i övrigt. Vidare bör man också tänka på att skyddet kan fungera olika bra i ljus och i mörker. Dels rent allmänt för att ljusnivåerna är helt annorlunda, men också för att ögats känslighetskurva för olika våglängder är annorlunda i dagsljus jämfört med skymning/mörker. Ögats pupill öppnar sig dessutom mer i mörker och ögats ljuskänslighet ökar därför. Andra typer av tekniska skydd är kamera och bildskärm, goggles med bildförstärkare eller liknande. Dessa har dock sina nackdelar och måste dessutom skyddas på samma sätt som ögat.

Anskaffning av skyddsglasögon och andra tekniska skydd bör planläggas så att delar av beståndet årligen ses över. Eftersom hotet förändras, nya lasertyper dyker upp, bör det alltid någonstans i organisationen finnas moderna skydd inriktade mot de aktuella laserhoten. Förutom att ha en god beredskap är utbildning och övning en viktig förutsättning för att lyckas minimera hotverkan.

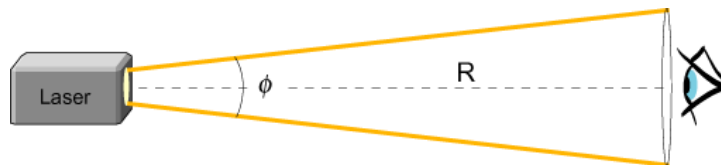
Bilaga A — Riskavstånd

Att räkna ut riskavståndet till en viss laser är inte någon komplicerad procedur. För att göra beräkningen behöver man dock veta tre saker:

1. Laserns specifikation.
2. Ett värde på MTE (maximal tillåten exponering) för aktuella våglängder, ljusemitterande ytor och pulskaraktärer. Dessa värden kan hämtas ur Arbetsmiljöverkets föreskrift AFS 2009:7.
3. Uppgifter om vilken optik som används framför lasern och framför ögat (exempelvis kikare eller skyddsfiltre mot laser).

Med tillgång till dessa värden kan man använda riskavståndsekvationen för att beräkna riskavståndet:

$$R_{risk} = \frac{2G}{\phi} \sqrt{\frac{P_s \cdot \eta_s}{\pi \cdot MTE}} - \frac{D}{\phi}$$



Figur A-1. I denna figur åskådliggörs avståndet mellan lasern och det belysta ögat samt laserstrålens divergensvinkel.

P_s	Laserns uteffekt [W]
R	Avstånd till lasern [m]
D	Diametern på laserns utapertur [m]
η_s	Transmission för eventuell optik mellan laser och öga
ϕ	Laserlobens hela divergensvinkel [radianer]
G	Förstoringen hos eventuell optik framför ögat
MTE	Maximal tillåten exponering [W/m^2]

I yrkesmässig verksamhet gäller det sedan att se till att ingen kan utsättas för laserbelysningen innanför riskavståndsgrenen.

Att ta fram ett värde på MTE (Maximum Permissible Exposure [MPE] som det heter på engelska) kan dock vara en besvärlig uppgift om man inte är van att slå i Arbetsmiljöverkets föreskrift AFS 2009:7. Ibland anges MTE-värdet i J/m^2 och då måste också laserns uteffekt bytas mot den pulsenergi som lasern levererar.

Om man inte alls känner till utgångsvärdena – exempelvis laserns specifikation – får man försöka uppskatta och gissa utgångsvärden för ekvationen. Riskavstånd som beräknas på detta sätt har naturligtvis begränsat värde men ibland är det den enda möjlighet som står till buds för att uppskatta på vilka avstånd man rimligen utan risk kan betrakta ett potentiellt laserhot.

Som vägledande exempel väljer vi fyra laserpekare som avger en synlig våglängd med olika uteffekter: 1, 10, 100 respektive 1000 mW.

Divergensen är en betydelsefull parameter eftersom den har stor inverkan på vilken exponeringsnivå ögat utsätts för på stort avstånd från lasern. En liten divergens gör riskavståndet större men försvårar inriktning och försämrar träffsäkerheten. En rad faktorer gör det

svårt att åstadkomma små divergenser – bland annat krävs en stor utgångsdiameter för att nå mycket liten divergens. Vi antar att strålarna har en utgångsdiameter på 7 mm (den kan vara större och den kan vara mindre i ett verkligt fall) och att divergensen för laserstrålarna ansätts till en milliradian⁴⁶ (mrad). Stråldiametern har då vuxit till 107 mm på 100 m avstånd. Det betyder att på kortare avstånd än så kan endast ett öga belysas åt gången. Den smala strålen kan göra det svårt för belysaren att oavbrutet laserbelysa en ögonpupill ett stycke bort. Som grundförutsättning anger vi också att personalen fått instruktioner att inte stirra mot starka ljuskällor. Vi antar då, som brukligt är, att avvärjningsreaktionerna hinner utlösas på 0,25 s. Detta betyder att exponeringstiden (t) maximalt blir 0,25 s.

Ur Arbetsmiljöverkets föreskrift AFS 2009:7 fås att

$$MTE = 18 t^{0,75} C_E [J/m^2]$$

där $C_E = 1$ för de små infallsvinkelområden det här är fråga om. Vilket betyder att

$$MTE = 6,4 J/m^2$$

Riskavståndsekvationen

$$R_{risk} = \frac{2G}{\phi} \sqrt{\frac{P_s \cdot \eta_s}{\pi \cdot MTE}} - \frac{D}{\phi}$$

ger då den schematiska Tabell A-1:

Tabell A-1. Riskavståndet till kontinuerligt lysande eller lågpulsade lasrar. Divergens 1 mrad⁴⁶, utaperturdiameter 7 mm, synlig våglängd.

Laserns uteffekt [W] (övriga data: se text)	Riskavstånd [m]
0,001	~ 0
0,01	16
0,1	64
1	217

Om någon försöker stirra mot strålen och trotsa det obehag den vållar gäller inte tabellen. Då ökar riskavstånden/riskområdet.

Om någon använder kikare ökar riskavståndet/riskområdet med kikarens förstöringsgrad. (en vanlig handhållen prismakikare har inte sällan en förstoring på 7 gånger).

Om gärningsmannen inte klarar den svåra uppgiften att med den smala strålen sikta och konstant belysa ögonpupillen under 0,25 s minskar riskavstånden/riskområdet.

Dessa riskavstånd innehåller säkerhetsmarginaler men det går naturligtvis inte att garantera att ingen skadas om man belyses på halva riskavståndet.

Som jämförelse kan vi beräkna riskavståndet till en pulsad grön laser med samma strålkarakteristika i övrigt men 1 J i pulsenergi och 5 ns i pulslängd. (exempel på bärbar militär laser).

Ur Arbetsmiljöverkets föreskrift AFS 2009:7 får vi då att

$$MTE = 5 \cdot 10^{-3} C_E [J/m^2]$$

vilket ger ett riskavstånd på 16 km!

⁴⁶ Divergensen en milliradian betyder att strålens diameter ökar med en meter per tillryggelagd kilometer.

Bilaga B — Parametrar för våglängdsfilter

Begreppet optisk densitet, OD, används för att ange hur mycket ett filter dämpar ljus med en viss våglängd. För att bestämma OD mäter man dels energin som faller in mot filtret, E_{in} , dels den energi som passerar, E_{ut} . Sedan används formeln

$$OD = \log_{10} \frac{E_{in}}{E_{ut}}$$

som ger ett positivt värde på dämpningsförmågan. Skalan är logaritmisk vilket innebär att om dämpningen ökar 10 gånger så ökar OD med 1 enhet.

Ett exempel kan vara en laser som lyser med effekten 100 mW mot ett filter och där 0,01 mW passerar igenom. Tiologaritmen för 100/0,01 är 5 och filtret har OD 5. OD-värdet har ingen enhet, men skulle kunna anges i bel, B, som i sin tur motsvarar tio decibel, dB. För filtret i exemplet har vi alltså dämpningen

$$OD\ 5 = 10^5 \text{ gånger} = 100\ 000 \text{ gånger} = 5\ B = 50\ dB.$$

OD måste beräknas för varje enskild våglängd, men ofta dämpar filtren ganska jämnt över ett större intervall (exempelvis hela det blå området) och då anges ett medelvärde för hela detta intervall.

Ett annat begrepp är ett filters ljustransmission VLT (från engelskans visible light transmission). Denna tar hänsyn både till ljustransmissionen vid olika våglängder (relaterat till filtrets optiska densitet) och att ögat har olika känslighet för ljus av olika våglängd. Dessa båda faktorer vägs samman för att ge filtret ett VLT-värde på mellan 0 och 1, där 0 motsvarar helt stängt för alla våglängder, det vill säga helt svart eller 0 % transmission och 1 motsvarar helt öppet för alla våglängder, det vill säga helt transparent eller 100 % transmission.

För att beräkna ett filters VLT måste vi känna filtrets transmissionskurva $T(\lambda)$ och ögats känslighetskurva $K(\lambda)$. Båda beror på våglängden λ och har värden från 0 till 1 (0 % till 100 %). Filtrets VLT är då

$$VLT = \frac{\int T(\lambda) \cdot K(\lambda) \cdot d\lambda}{\int T(\lambda) \cdot d\lambda}$$

där integralerna beräknas över det synliga spektret 380 – 780 nm och resultatet blir ett nytt värde mellan 0 och 1 (0 % till 100 %).

Något att beakta är att ett skydd som har ett högt VLT-värde på dagen kan ha ett betydligt lägre värde vid skymning och mörker. Det beror på att ögats känslighetskurva $K(\lambda)$ ser olika ut i dagsljus respektive mörker. I dagsljus ser man grön-gula färger bäst, men i mörker är det i stället blå-gröna färger som är starkast.

Ett bra skyddsfiler ska båda ha högt OD mot laserns våglängd och ett högt VLT-värde för att omgivningen ska ses så bra som möjligt, men det kan vara svårt att få båda höga samtidigt.

Bilaga C — Kommersiella statiska skydd

De statiska skydd som finns till försäljning i dagsläget kan grovt delas in i tre grupper. Den första är *laserskyddsglasögon*, vilket kanske är det mest efterfrågade skyddet. Den andra är *laserskyddsfönster*, som kan tillverkas i större storlekar och till exempel täcka fönsterna i ett fordon. Även visir till hjälmar kan räknas in i denna grupp. Slutligen har vi *optiska filter* som typiskt är små plattor eller rundlar, 2 – 5 cm i sida. Vanligtvis monteras dessa plattor i optiska system som kikare och liknande. Möjligheterna att specialanpassa dessa filter till olika våglängder och våglängdsband är dock större än för de förstnämnda grupperna.

Här följer en kort presentation av några företags produkter, som är tänkbara som statiska laserskydd. Därpå listas ett större antal företag med kontaktuppgifter.

Preventor är ett svenskt företag som marknadsför laserskyddsglasögon. Dessa är ett militärt laserskydd som anpassats till polisens behov att möta laser från handhållna lasrar. Glas och bågar är testade för att uppfylla vissa ballistiska krav. Glasen använder färgfilter som dämpar i ett brett intervall och därmed skyddar mot ett antal vanliga lasrar. Preventor vänder sig med sina laserskydd i första hand till polis, militär och piloter som kräver höga VLT-värden för att klara sina uppgifter.

PROTECT-Laserschutz GmbH säljer laserskyddsglasögon med olika former, både enklare sorter, med skyddande glas fram och täta kåpor vid sidorna, och sådana som liknar skidglasögon och som man kan bära utanpå sina vanliga glasögon. Själva skyddsglasen kan vara gjorda av glas, av glas belagda med en dielektrisk film eller av syntetmaterial. Några glassorter blockerar infraröd strålning, andra ultraviolett. En sort blockerar 532 nm och nedåt, det vill säga grönt och blått ljus, medan längre våglängder, det vill säga rött, kan passera. Glasen ser orangeaktiga ut. Andra dämpar längre våglängder i det orangea och röda området och har därför en grönaktig nyans. Åter andra släpper igenom just bara oranget ljus och inget annat. Det finns med andra ord ganska stora valmöjligheter när det gäller vilka våglängder som ska blockeras, men eftersom de använder färgfilter (se kapitel 3.2 Tekniska laserskydd) så har de alla gemensamt att inte bara en enda våglängd blockeras, utan ett helt intervall som är relativt brett. Företaget har även laserskyddsfönster i sitt sortiment, fast med mindre valmöjligheter. Liksom för glasögonen används glas eller syntetmaterial och vanligtvis dämpas ett brett intervall, till exempel UV-blått-grönt (inklusive 532 nm) eller orange-rött-IR. Standardstorlekar är 100×200 mm och 210×297 mm (A4-storlek) och för dessa fönster finns ramar för montering att köpa till. Även andra storlekar kan tillverkas. Vidare har företaget ett sortiment med laserskyddsfilter, samma som i skyddsglasögonen eller enligt beställarens önskemål. Slutligen säljer de ett antal specialprodukter såsom filmer som ger (svagare) skydd mot bländning, visir anpassade för svetsning och vissa lasrar, och styrbara LCD-bländare.

LaserVision säljer laserskyddsglasögon, laserskyddsfönster och annan laserskyddsutrustning. De har ett stort sortiment skyddsglasögon i olika former och även insatsglas för korrektion av individuella synfel samt upp- och nedfällbara dämpningsfilter.

Tabell C-1 listar ett antal intressanta laserskyddsglasögon från ett antal olika företag. OD-tal listas också för intressanta våglängder och skyddens färg.

Tabell C-1. Exempel på laserskyddsglasögon från ett par olika företag.

Företag	Beteckning	VLT (%)	OD vid 445 nm	OD vid 532 nm	OD vid 589 nm	OD vid 650 nm	Färg på glaset
Preventor		40	7	7	~ 0	~ 0	orange-bruna
PROTECT Laserschutz		35	6	6	0	0	orange
PROTECT Laserschutz	0170	14	0	0	2	5	blå-gröna
LaserVision	T81	35	1	6	2	0	gröna
LaserVision		20	0	4	4	0	violett-rosa

3M Svenska AB

Bollstanäsvägen 3
 191 89 Sollentuna
 08-92 21 00 (växel)
 08-92 22 50 (kundservice)
 08-754 55 37 (fax)

BFi OPTiLAS AB

P.O. Box 1335
 751 43 Uppsala
 018-56 58 30
 018-69 66 66 (fax)
 info.se@bfioptilas.com
 www.bfioptilas.se

BFi OPTiLAS GmbH

Assar Gabrielsson Strasse 1
 D – 63128 Dietzenbach
 +49 (0)6074 - 4098 0
 +49 (0)6074 - 4098 110 (fax)
 ipe.de@bfioptilas.com
 www.bfioptilas.de

CVI Melles Griot – Nordics

Melles Griot AB
 Kungsgatan 54
 753 21 Uppsala
 018-12 04 00 (växel)
 018-12 08 00 (fax)
 info.nordic@cvimellesgriot.com
 www.cvimellesgriot.com

Edmund Optics Ltd.

Unit 1
 Opus Avenue, Nether Poppleton
 York, YO26 6BL
 Storbritannien
 +44 (0)1904 788600
 +44 (0)1904 788610 (fax)
 www.edmundoptics.com

LASERVISION GmbH & Co. KG

Siemensstraße 6
 D-907 66 Fürth
 Tyskland
 +49 (0)911-9736 8100
 +49 (0)911-9736 8199 (fax)
 info@lv.com
 www.uvex-laservision.de
 (Hemsida på tyska och engelska.)
 Svenska distributörer:
 BFi OPTiLAS (www.bfioptilas.se)
 Azpect Photonics (www.azpect.com)

Lasermet Limited

Lasermet House
137 Hankinson Road
Bournemouth
Dorset
BH9 1HR
Storbritannien
+44 (0)1202 770 740
+44 (0)1202 770 730 (fax)
office@lasermet.com
www.lasermet.com

Newport

1791 Deere Avenue
Irvine, CA 92606
+1 949-863-3144
www.newport.com
Svensk distributör:
Azpect Photonics
(www.azpect.com)

Optonyx AB

Enhagsslingan 23
187 40 Täby
08-55 11 14 10
08-55 11 14 15 (fax)
info@optonyx.com

Preventor AB

E. A. Rosengrens gata 9–11
421 31 Västra Frölunda
031-704 88 50 (växel)
031-704 88 45 (produkter)
031-704 88 46 (ekonomi)
www.antiriot.se
(Hemsida på svenska)

PROTECT-Laserschutz GmbH

Mühlhofer Hauptstraße 7
D-904 53 Nürnberg
Tyskland
+49 (0)911-96 44 7-30
+49 (0)911-96 44 7-31 (fax)
info@protect-laserschutz.de
www.protect-laserschutz.de
(Hemsida på tyska och engelska)

Schott

Hattenbergstrasse 10
551 22 Mainz
Tyskland
+49 (0)6131-66-0
+49 (0)6131-66-2000 (fax)
www.schott.com

Sperian

Strandbadsvägen 15
252 29 Helsingborg
042-88 100 (växel)
042-88 200 (kundtjänst)
042-73 968 (fax)
infonordic@sperianprotection.com
www.sperianprotection.se

Thorlabs Sweden AB

Box 14194
Mölnadalsvägen 3
400 20 Göteborg
031-733 30 00
031-703 40 45 (fax)
scandinavia@thorlabs.com
www.thorlabs.de
(Hemsida på engelska.)

Bilaga D — Dynamiska skydd

De statiska skydden kan sammanfattningsvis i praktiken skydda mot strålning vid en eller ett par förutsägbara våglängdsområden. De kan alltså inte skydda mot alla upptänkliga laserhot och samtidigt ge möjlighet att betrakta omgivningen. Tekniska hjälpmedel som i framtiden skulle kunna användas för att ge mer allsidiga skydd mot bländning och skada måste kunna förändra sina egenskaper beroende på vilken exponering de utsätts för. Det är sådana föränderliga skydd som avses med rubrikens ”dynamiska” skydd. Sådana skydd finns dock ännu inte på marknaden.

För att kunna beskriva skyddens fördelar och begränsningar behöver vi indela laserstrålningen i ett antal klasser:

Pulslängden/exponeringen kan delas in i två klasser (se kapitel 2.1):

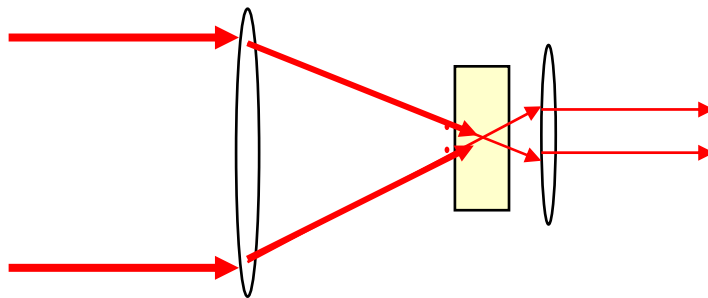
- Kort (så kort att inte en sensor + slutare hinner skydda mot bländning/skada).
- Lång/kontinuerlig (en sensor + slutare hinner skydda mot bländning/skada).

Den laserstrålning som kräver dynamiska skydd kan, gällande spektral karaktär, delas in i två klasser:

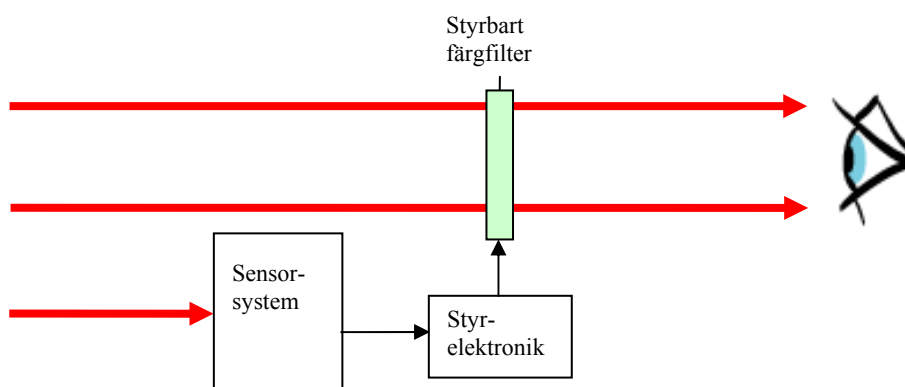
1. En eller två våglängdsområden. (Mot ett en eller kanske två förutsägbara våglängdsområden kan dock statiska skydd användas.)
2. Flera samtidiga våglängdsområden.

Potentiellt användbara dynamiska skydd väljer vi att dela in i grupper:

- Självaktiverande, begränsande material: kan skydda mot skada från kort puls (se Figur D-1).
- Sensorstyrd elektrooptik kan ge skydd mot lång exponering:
 - Färgfilter: kan skydda mot en eller två oförutsägbara våglängder (se Figur D-2).
 - Synfältsbegränsare: kan skydda mot bredare hotpektrum men tillåter inte observation av bländlasern (se Figur D-3).



Figur D-1. I ett skydd uppbyggt med självaktiverande, begränsande material kommer ljuspulser med skadligt hög intensitet att dämpas medan annat ljus passerar relativt opåverkat. Figuren visar mycket schematisk hur materialet (gulaktigt på denna bild) måste placeras nära ett fokalkplan. Det kan därför endast användas i optiska system och inte i enkla skyddsglasögon.



Figur D-2. Ett färgfiltersystem kan styras så att verkan av oförutsägbara laservåglängder elimineras. Överst en illustration av vad ett styrbart färgfiltersystem kan göra för att eliminera bländverkan av en röd laser – Genom att ta bort den röda delen av spektrum kan en bild av scenen fortfarande betraktas. Underst ser vi att en realisering av detta skydd kräver sensorer och elektronik.



Figur D-3. I figuren illustreras med ett fotomontage hur ett synfältsbegränsande skydd skulle kunna eliminera bländning från en godtycklig bländkälla på bekostnad av att ett område runt bländkällan blir omöjligt att observera. (Det finns ingen "gärningsman" i den vänstra bilden utan lasern sitter på ett stativ.) En realisering av denna typ av skydd kräver både styrelektronik och att elektrooptiska komponenter placeras nära ett fokalplan i ett optiskt system.

Det finns inga allsidiga dynamiska skydd på marknaden ännu men utvecklingsarbetet är intensivt på många håll i världen.

Bilaga E — Exempelblankett för systematisk rapportering av incidenter

Ett exempel på en blankett från Federal Aviation Administration i USA som visar systematisk rapportering av laserincidenter mot flygplan.

01/11/2005

AC 70-2

LASER BEAM EXPOSURE QUESTIONNAIRE

FAX TO WASHINGTON OPERATIONS CONTROL CENTER(WOCC) at (202) 267-5289 ATTN: DEN

PILOT NAME _____
COMPANY _____

PHONE NUMBER _____
FLIGHT NUMBER _____

1. Date and time (UTC)? _____
2. Position of event (lat/long and/or FRD)? _____
3. Altitude? _____
4. What was the visibility? _____
5. What were the atmospheric conditions? (Circle those which apply) – Clear, overcast, rainy, foggy, hazy, sunny.
6. What was the color(s) of the light? _____
7. Did the color(s) change during the exposure? _____
8. Did you attempt an evasive maneuver? _____
 If so, did the beam follow you as you tried to move away? _____
9. Can you estimate how far away the light source was from your location? _____
10. What was the position of the light relative to the aircraft? _____
11. Was the source moving? _____
12. Was the light coming directly from its source or did it appear to be reflected off other surfaces? _____
13. Were there multiple sources of light? _____
14. How long was the exposure? _____
15. Did the light seem to track your path or was there incidental contact? _____
16. What tasks were you performing when the exposure occurred? _____
 Did the light prevent or hamper you from doing those tasks, or was the light more of an annoyance? _____
17. What were the visual effects you experienced (after-image, blind spot, flash-blindness, glare*)? _____
18. Did you report the incident by radio to ATC? _____

Any other pertinent information: _____

This questionnaire may be filled out by the competent authority during interviews with aircrews exposed to unauthorized laser illumination. This information will be used to aid in subsequent investigation by ATC, law enforcement and other governmental agencies to safeguard the safety and efficiency of aviation operations in the NAS.

*Examples of common visual effects:

After-image. An image that remains in the visual field after an exposure to a bright light.

Blind spot. A temporary or permanent loss of vision of part of the visual field.

Flash-blindness. The inability to see (either temporarily or permanently) caused by bright light entering the eye and persisting after the illumination has ceased.

Glare. A temporary disruption in vision caused by the presence of a bright light (such as an oncoming car's headlights) within an individual's field of vision. Glare lasts only as long as the bright light is actually present within the individual's field of vision.