

NR 2002:5

# Ultraviolet strålning och hälsa – ett kunskapsunderlag

*Per Nylén,<sup>1</sup> Ulf Bergqvist,<sup>2</sup> Torkel Fischer,<sup>1</sup> Anders Glansholm,<sup>3</sup>  
Johan Hansson,<sup>4</sup> Jouni Surakka,<sup>1</sup> Per Söderberg<sup>5</sup> och Ulf Wester<sup>3</sup>*

1. Arbetslivsinstitutet
2. Linköpings universitet
3. Statens strålskyddsinstitut
4. Karolinska sjukhuset
5. S:t Eriks ögonsjukhus

ARBETE OCH HÄLSA | VETENSKAPLIG SKRIFTSERIE

ISBN 91-7045-638-0 ISSN 0346-7821 <http://www.niwl.se/>



## **Arbete och Hälsa**

Arbete och Hälsa är en av Arbetslivsinstitutets vetenskapliga skriftserier. Serien innehåller arbeten av såväl institutets egna medarbetare som andra forskare inom och utom landet. I Arbete och Hälsa publiceras vetenskapliga originalarbeten, doktorsavhandlingar, kriteriedokument och litteraturöversikter.

Arbete och Hälsa har en bred målgrupp och ser gärna artiklar inom skilda områden. Språket är i första hand engelska, men även svenska manus är välkomna.

Instruktioner och mall för utformning av manus finns att hämta på Arbetslivsinstitutets hemsida <http://www.niwl.se/>

Där finns också sammanfattningar på svenska och engelska samt rapporter i fulltext tillgängliga från och med 1997 års utgivning.

### **ARBETE OCH HÄLSA**

---

Redaktör: Staffan Marklund  
Redaktion: Mikael Bergenheim, Anders Kjellberg, Birgitta Meding, Bo Melin, Gunnar Rosén och Ewa Wigaeus Tornqvist

© Arbetslivsinstitutet & författare 2002  
Arbetslivsinstitutet,  
112 79 Stockholm

ISBN 91-7045-638-0  
ISSN 0346-7821  
<http://www.niwl.se/>  
Tryckt hos Elanders Gotab, Stockholm

## Dokumentets bakgrund

Tidigare Arbetarskyddsstyrelsen, nuvarande Arbetsmiljöverket, ställde 1998 till Arbetslivsinstitutets kriteriegrupp för fysikaliska hälsorisker en begäran om sammanställning av tillgängliga forskningsresultat vad gäller sambandet mellan yrkesexponering för UV-ljus och ohälsa. Följande kunskapsunderlag är i vissa delar en uppdatering av Bilaga 3 i det kriteriedokument (Arbete och Hälsa 1993:30) som skrevs av Anders Glansholm vid Statens strålskyddsinstitut 1992. Den expertgrupp som nu sammanfattat kunskapsläget har bestått av Strålskyddsinspektör Ulf Wester vid Statens strålskyddsinstitut, Prof Per Söderberg vid S:t Eriks Ögonsjukhus, Doc Johan Hansson vid Radiumhemmet, Karolinska Sjukhuset, Dr Ulf Bergqvist vid Institutionen för Arbetsvetenskap, Linköpings Universitet (avliden före den slutliga versionens färdigställande) samt av Prof Torkel Fischer, Dr Jouni Surakka och Dr Per Nylén (ordf) vid Arbetslivsinstitutet.

## Förkortningar

ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage
DIN	Deutsches Institut für Normung
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
IRPA	International Radiation Protection Association
NRPB	National Radiological Protection Board (UK)
SMHI	Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut
SSI	Statens strålskyddsinstitut
UV	Ultraviolett strålning
UVA	Ultraviolett strålning, våglängdsområde 400-315 nm
UVB	Ultraviolett strålning, våglängdsområde 315-280 nm
UVC	Ultraviolett strålning, våglängdsområde 280-100 nm

## Definitioner

EL	Exposure Limit(s)
Erytemdos	Den UV-dos som ger knappt synlig hudrodnad
Maximal exponeringstid, MPET	Den maximala exponeringstid en person får utsättas för dagligen enligt ICNIRP och SSI FS 1990:1 (MPET = "Maximal Permissible Exposure Time")
MED	Minsta erytemdos (Minimal Erythemat Dose). Vilken UV-dos som ger "1 MED" måste specificeras för varje fall. Trots detta används begreppet "MED" vanligen för erytemeffektiva UV-doser 200-250 J m <sup>-2</sup> .
Standard erytemdos SED	Biologisk (erytemeffektiv) radiometrisk storhet ekvivalent med 100 J m <sup>-2</sup> UV-strålning enl CIE:s referensaktionsspektrum för huderytem.

# Innehåll

Dokumentets bakgrund	
Förkortningar	
Definitioner	
Fysikalisk bakgrund	1
Skattning av risk för skador av ultraviolett strålning	3
Biologiska effekter	5
Hud	5
Effekter på celler	5
Akuta effekter	5
Kroniska effekter	8
Öga	11
Exponering	11
Ögonskador	11
Aktionsspektra	12
Immunologiska effekter	13
Djurstudier	13
Studier på människa	14
Mekanismerna bakom UV-strålningens immunhämmande effekt	15
Biologiska konsekvenser	16
Skyddande effekter av solskyddskrämer	16
Evolutionära aspekter	17
Vitamin D	17
Större internationella översikter av UV-inducerade hälsoeffekter	17
Mätteknik	18
Bakgrund	18
Spektralmätningar – Spektroradiometrar	20
Persondosimetri – Dosimetrar	23
Funktionsprinciper	24
Källor till ultraviolett strålning	27
Solen och UV-index	28
Historiska mätningar av UV i solljuset	31
Yrkesexponering för UV-strålning från artificiella strålkällor	32
Svetsning	33
Fotoprocesser och maskiner	33
Materialavsugning	34
Belysning	34
Sedeldetektorer	35

Insektsfällor	35
Bildskärmar	35
Övrigt – Företagssolarier	36
Hälsoeffekter av UV-strålning i samband med yrkesarbete	38
UV-exponering vid utomhusarbete	38
Artificiella UV-källor	39
Svetsning	39
Lysrör	39
Personal vid medicinska ljusbehandlingar	39
Kemikalier	40
Bildskärmar	40
Odefinierad yrkesexponering	40
Standarder	41
Erytem	41
Allmänt strålskydd	41
Andra fotobiologiska aktionskurvor	42
Tabeller och formler	43
Sammanfattning	46
Summary	47
Referenser	48

## Fysikalisk bakgrund

Ultraviolett strålning förkortas ofta något inkorrekt UV. En allt oftare och mer korrekt akronym är UVS och dess engelskspråkiga motsvarighet UVR. I nedanstående kunskapsöversikt har dock "UV" behållits då översikten till stor del bygger på litteratur där denna äldre förkortning använts.

UV kan beskrivas som en sammansättning av en elektrisk och en magnetisk vågrörelse som rör sig med ljushastigheten (elektromagnetisk strålning). Avståndet mellan två på varandra följande vågtoppar utgör strålningens våglängd. Det vi kallar UV ligger mellan 1 och 400 nm. Det ultravioletta spektrat närmast synligt ljus brukar i sin tur indelas i tre undergrupper (Tabell 1), UVA, UVB, UVC och extrem UV (CIE, 1987).

**Tabell 1.** Klassifikation av ultraviolett strålning (UV).

Benämning	Våglängdsområde (nm)		
UVA	315	-	400
UVB	280	-	315
UVC	100	-	280
Extrem UV	1	-	100

En praktisk undre gräns för UVC finns vid ca 180 nm. UVC-strålning under 180 nm absorberas kraftigt i luft av atmosfärtryck - men även i kvartsglas som vanligen används som UV-transmitterande optiskt material i UV-mätsystem och UVC-lampor. UV-strålning under 200 nm benämns även "vacuum-UV" (Koller, 1952).

Termerna UVA, UVB och UVC introducerades på 30-talet av den internationella ljusstandardiseringsorganisationen CIE. Under de senaste decennierna har en del fotobiologisk och fotodermatologisk litteratur tillämpat en gränsvåglängd 320 nm som skiljelinje mellan UVB och UVA. Likaså förekommer 290 nm som gräns mellan UVC och UVB, men CIE har tillsvidare för avsikt att bibehålla den tidigare vedertagna indelningen (CIE, 1999).

Senare tids forskning har även påvisat skillnader i fotobiologisk verkan av långvågig och kortvågig UVA-strålning. Som en konsekvens förekommer i litteraturen en ytterligare uppdelning vid ca 340 nm av UVA i UV-A1 (långvågig UVA) och UV-A2 (kortvågig UVA), (Wiegleb-Edström, 2001). En sådan uppdelning av UVA är dock inte standardiserad (CIE, 1999).

Ett sätt att beskriva elektromagnetisk strålning annat än som vågrörelse är att betrakta strålningen som en ström av partiklar. Dessa kallas fotoner. Varje fotonens rörelse representerar en viss mängd energi. Det finns ett enkelt samband mellan fotonenergin ( $Q_q$ ) och den våglängd ( $\lambda$ ) som strålningen har (Ekv. 1).

$$\text{Ekv. 1} \quad Q_e = h \frac{c}{\lambda}$$

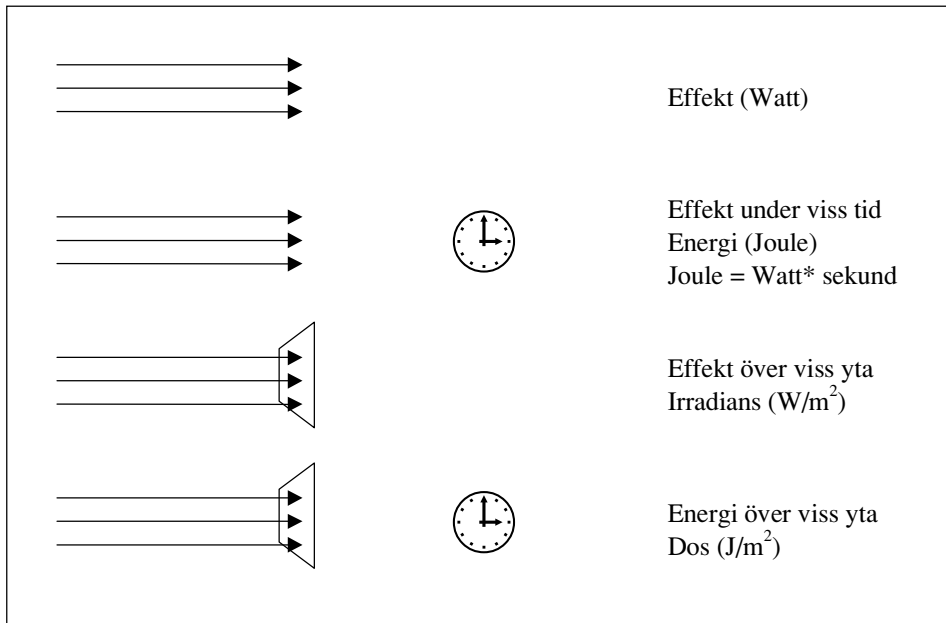
Här är  $c$  ljushastigheten och  $h$  kallas Planck's konstant - en naturkonstant vars värde bestämdes av Max Planck år 1900. Eftersom  $h c$  är konstant, ser man att fotonenergin ökar med minskad våglängd.

Fotonströmmen utgör en transport av energi. Den mängd energi som per tidsenhet transporteras av ett strålnippe,  $\Phi_e$ , utgör strålnippets effekt. Effekt mäts i enheten watt (W).

Om ett strålnippe med effekten  $\Phi_e$  watt faller jämnt fördelat mot en yta som är  $A \text{ m}^2$  stor, kommer varje ytenhet av ytan att befinna sig i irradiansen  $E_e$  ( $\text{W m}^{-2}$ ), (Ekv. 2).

$$\text{Ekv. 2} \quad E_e = \frac{\Phi_e}{A}$$

En yta som utsätts för irradiansen,  $E_e$ , under en bestämd tid ( $t$  sekunder) erhåller dosen,  $H_e$  ( $\text{J m}^{-2}$ ), (Ekv. 3). Enheten utläses Joule per kvadratmeter. Relationen mellan effekt, irradians och dos illustreras i Figur 1.



**Figur 1.** Illustration av begreppen effekt, energi, irradians och dos.



## Skattning av risk för skador av ultraviolettt strålning

Enbart den fysikaliska dosen säger föga om vilken biologisk verkan man kan förvänta sig efter en UV exponering. Med dos avses då exponerad dos,  $d$  v s den UV-exponering personen i fråga utsatts för. Om absorberad dos avses anges detta särskilt. Det är också av intresse att fastställa vilken eller vilka våglängder av UV som biologisk vävnad har exponerats för, eftersom skadan i hög grad beror av våglängden. Den dos som ger upphov till en definierad skada vid en viss våglängd kallas tröskeldos. Tröskeldosen plottad som funktion av våglängd kallas aktionspektrum. Om dosen vid den våglängd som ger störst biologisk effekt sätts till 1,0 och doser som ger biologisk effekt vid övriga våglängder anges som fraktion av 1 och slutligen dosen plottas som funktion av våglängd erhålles en risk- eller viktningskurva.

Under antagande att den biologiska effekten av olika spektralkomponenter kan adderas görs en sammanvägning av den biologiska effekten av olika spektrala komponenter som ingår i exponeringen. Detta är praktiskt men antagandet saknar ofta experimentell grund.

Riskkurvans vikt för olika våglängder brukar betecknas  $S_\lambda$ . Dessa värden är mått på vilken betydelse man skall tillmäta bidragen av strålning från olika våglängdsområden. Om den irradians man skall värdera är given som spektral irradians ( $E_{e_\lambda}$ ) bildar man inom varje smalt spektralband produkterna  $E_{e_\lambda} S_\lambda d_\lambda$  där  $d_\lambda$  är bredden på spektralbanden. Därmed erhålles biologiskt effektiv irradians för varje spektralband. De individuella biologiskt effektiva irradianserna summeras sedan till en total biologiskt effektiv irradians,  $E_{e_{biol. eff.}}$  (Ekv. 3).

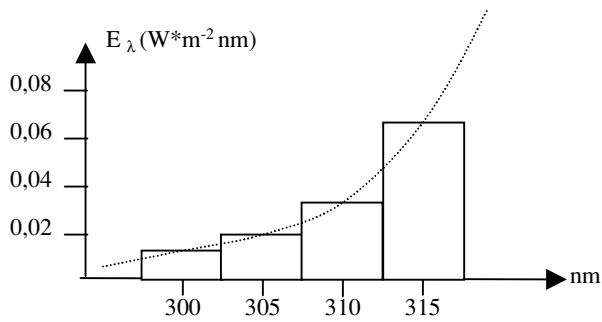
$$\text{Ekv. 3} \quad E_{e_{biol. eff.}} = E_{e_1} S_1 d_1 + E_{e_2} S_2 d_2 \dots E_{e_n} S_n d_n$$

Den maximala exponeringstiden,  $t_{limit}$  (s), beräknas som kvoten mellan det hygieniska gränsvärdet för biologiskt effektiv dos,  $H_{e_{limit}}$  ( $J \cdot m^{-2}$ ), EL (exposure limit) och den totala biologiskt effektiva irradiansen (Ekv. 4).

$$\text{Ekv. 4} \quad t_{limit} = \frac{H_{e_{limit}}}{E_{e_{biol. eff.}}}$$

### *Exempel*

För att förenkla behandlas här bara en begränsad del av spektrum. Antag att en spektralmätning ger en kurva som i Figur 2.



**Figur 2.** Exempel på spektral fördelning och vägning.

För att göra beräkningarna hanterliga approximeras den kontinuerliga kurvan med en stegfunktion, som i det här fallet har stegbredden,  $d_\lambda$ , 5 nm. Vi kan upprätta följande tabell där  $E_{e_\lambda}$  erhålls ur Tabell 2 och  $S_\lambda$  hämtas ur Tabell 11 med allmänna strålskyddsvärden i det avslutande delen av denna rapport.

**Tabell 2.** Exempel på beräkning av biologiskt effektiv irradians.

Våglängd $\lambda$ (nm)	Spektral irradians $E_{e_\lambda}$ ( $\text{W m}^{-2} \text{nm}^{-1}$ )	Vikt $S_\lambda$	Spektral upplösning $d_\lambda$ (nm)	Irradiansbidrag $E_{e_\lambda} S_\lambda d_\lambda$ ( $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ )
300	0.007	0.3	5	0.0105
305	0.013	0.06	5	0.0039
310	0.03	0.015	5	0.00225
315	0.07	0.003	5	0.00105
Summa (Biologiskt effektiv irradians, $E_{e_{\text{biol. eff.}}}$ )				0.0177

Gränsvärdet för biologiskt effektiv dos,  $H_{e_{\text{lim. it}}}$ , är  $30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ . Den längsta exponeringstid för vilken vi inte förväntar oss några skadeverkningar,  $t_{\text{lim. it}}$  kan då beräknas enligt Ekv. 4 till  $t = 30/0,0177 = 1695$  sekunder, d v s. 28 minuter.

Det betraktade exemplet ligger till nivåer och våglängder inte fjärran från den kortvågiga UV-änden av solstrålningen i Mellansverige mitt på dagen vid midsommartid under vackert väder.

## Biologiska effekter

### Hud

UV har flera olika skadeeffekter på huden (Tabell 3) som beror på intensitet, exponeringstid och våglängdsområde (UVA eller/och UVB).

UV kan skada arvsanlagen i hudens celler, samt orsaka brännskador, hudcancer och påverka den immuna motståndskraften. Effekter av UV beror på våglängdsintervall. UV-källor för humant bruk (t ex sol och solarium) innehåller våglängder både från UVA- och UVB-områdena.

**Tabell 3.** Sammanfattning av skadliga effekter för olika UV våglängdsområden (15). Markeringar betyder inga (-), okända (?), svaga (+), måttliga (++) och starka (+++) (Surakka, 2000).

Effekter av UV strålning på huden					
Våglängds- Område	Rodnad	Blåsor	Bindvävsskada	Carcinogen	Immunologiska effekter
UVA	(+)	-	+++	(+)	+
UVB	++	+++	+	+++	++
UVC	+++	++	-	++	?

Huden består av tre olika lager: överhud (med hornlager), läderhud och underhud. Överhuden har tre olika celltyper, hornceller, pigment celler och Langerhans celler vilka har immunfunktion.

#### *Effekter på celler*

UV-strålning kan orsaka skador i den genetiska informationen i cellens DNA-molekyler som är nödvändig för cellens funktion. Det uppstår sk dimerer när två närliggande basiska aminosyror i samma DNA sträng binds samman.

En cell med DNA-skada kan gå tre öden till mötes: 1) reparation som lyckas och cellen blir frisk, 2) reparation som misslyckas och cellen dör, eller 3) reparationen blir felaktig, cellen överlever med fel egenskaper och kan bli en cancercell. Särskilt efter kraftig UV-exponering av stora kroppsytor blir reparationsförmågan mättad och detta ökar sannolikheten för felreparationer (Ahmed et al., 1978; Ahmed et al., 1979).

#### *Akuta effekter*

*Erytem.* Erytem (hudrodnad) uppkommer när huden utsätts för UV-strålning. Rodnaden uppkommer därför att de fina blodkärlen i läderhuden vidgas. Hudrodnaden blir synlig när blodvolymen i läderhuden har ökat med 35-40 procent. Erytemet börjar några timmar efter exponering för UVB och/eller UVA och når sitt maximum efter 12-24 timmar.

År 1927 bestämdes det första aktionspektret för erytem och pigmentering av Hausser och Vahle (Hausser et al., 1927). Detta arbete var av utomordentligt god

kvalitet. Endast små justeringar har behövt göras inom det undersökta våglängdsområdet (ungefär UVB). Efter omfattande arbeten med att bestämma aktionspektrum för erytem har värdering av dessa arbeten och förslag framlagts till ett "referensspektrum" för huderytem" (McKinlay et al., 1987a) som antagits som CIE-standard (CIE, 1998).

Den UV-dos som ger knappt synlig rodnad kallas minsta erytem dos (MED) och varierar individuellt med känslighet och hudtyp. Efter belysning med tre MED uppstår påtaglig sveda och efter omkring fem MED svullnar huden och det kan uppstå blåsor. Efter några dagar lossnar och flagnar överhuden i dessa områden.

Kortare våglängder har större fotonenergi och ger större cellskada men tränger ej lika djupt in i huden. Både UVA och UVB kan orsaka erytem, men det behövs omkring 1 000 gånger större doser av UVA än av UVB för att åstadkomma samma grad av erytem. Aktionspektrum för erytem liknar det som gäller för uppkomst av dimerer.

Beträffande erytemdos måste den UV-exponering som ger "1 MED" specificeras för varje fall. Trots detta används begreppet "MED" ofta för erytemeffektiva UV-doser som ger erytem hos normalt solkänsliga individer, d v s individer som alltid bränner sig i solen utan att kunna bli bruna eller som bränner sig och med svårighet blir bruna (hudtyp I och II). 1 MED motsvarar då ca 200-300 J m<sup>-2</sup> UV-strålning vägt enligt CIE:s referensaktionsspektrum för huderytem.

Variande definitioner och osäkerhet om vad som är "1 MED" har medfört att den internationella ljusstandardiseringsorganisationen CIE definierat en s k "Standard erytemdos" (SED) som är en biologisk (erytemeffektiv) radiometrisk storhet. En "Standard erytemdos" (1 SED) är ekvivalent med 100 J m<sup>-2</sup> UV-strålning enl CIE:s referensaktionsspektrum för huderytem (CIE, 1997; CIE, 1998).

Hudtyper för ljushyade individer anges enligt ett klassificeringssystem ("Fitzpatricks") som bygger på solkänslighet och pigmenteringsförmåga i solen (Tabell 4).

**Tabell 4.** Hudtypsklassificering enligt Fitzpatrick.

<u>Hudtyp</u>	<u>Solkänslighet</u>	<u>Pigmentering</u>
I	Alltid röd	Aldrig brun
II	Alltid röd	Ibland brun
III	Ibland röd	Alltid brun
IV	Aldrig röd	Alltid brun

Det finns ytterligare två hudtyper (V och VI) som avser individer med naturligt brun eller mörkare hudfärg t ex infödda i Indien och Afrika (Fitzpatrick, 1988).

I engelskt språkbruk används ibland begreppen: "melanocompromised" (hudtyp I-II), "melanocompetent" (III-IV) och "melanoprotected" (V-VI).

*Solbrunhet och hornlagerförtjockning.* Hudens naturliga solskydd beror på hornlagrets tjocklek, pigmentering, samt hudens halt av (d- och l-) urokansyra, som är ett naturligt förekommande solskydd i huden. Solbrunhet uppkommer genom omfördelning och formförändring av pigmentkorn i horncellerna samt genom nybildning av pigment. Melaninpigmentet bildas av speciella celler, melanocyter, som finns i basalcellslagret och överförs till keratinocyterna. UV-strålning stimulerar melanocyterna till nybildning av pigment.

Pigmenteringen uppstår dels omedelbart, dels med fördröjd verkan. Den omedelbara pigmenteringen börjar under UV-bestrålningen och är maximal direkt efter bestrålningen. Vid låga UV-doser försvinner pigmenteringen efter några minuter, men finns kvar flera dagar efter högre exponeringar. Denna pigmentering induceras av UVA och synlig strålning. Man har inte påvisat någon skyddande effekt mot erytem av denna pigmentering.

Fördröjd pigmentering orsakas av såväl UVA som UVB, börjar ca tre dygn efter UV-exponering och kan kvarstå flera veckor. Ljushyade personer måste belysas både med UVA och UVB för att fördröjd pigmentering skall uppstå, men personer med mörkare hudtyp kan pigmentera med hjälp av enbart UVA (t ex i solarium). Fördröjd pigmentering ger ett visst skydd mot UV-strålning.

Redan på 1800-talet upptäcktes att någon komponent i solstrålningen kunde åstadkomma förändringar i huden som inte berodde på värmeutveckling (Finsen, 1900; Urbach, 1987). På 1920-talet påvisades att hornlagret blev tjockare efter UV-exponering och att denna förtjockning medförde ett visst skydd mot UV-skador (Miescher, 1930; With, 1920). Förtjockningen av hornlagret ger med tiden betydligt högre solskydd än den fördröjda pigmenteringen. Ett tjockt hornlager absorberar kraftigt UV-strålning med kort våglängd.

*Ljusöverkänslighet.* En liten andel av befolkningen har hud som är abnormt känslig för UV. Detta kan bero på avsaknad av pigment eller annan sjukdom. Exempel på sjukdomar med ökad UV-överkänslighet är polymorft ljusutslag, fotoallergiskt eksem, porfyri och xeroderma pigmentosum.

Ljusöverkänslighet kan också bero på att huden blivit UV-känslig av mediciner eller ämnen som kommit i kontakt med huden.

På 1910-talet fann man att vissa kemiska ämnen gjorde huden känsligare för UV-strålning (Lewin, 1913). Hud som kommit i kontakt med stenkoltjära blev röd och kliande i solsken. Senare har liknande synergistiska mekanismer beskrivits för många andra ämnen t ex bergamottolja som förekommer i parfymer, en rad mediciner samt saften av jättebjörnlokan, selleri och fikon som innehåller psoralener. Det finns ett hundratal olika mediciner som ökar hudens UV-känslighet.

### *Kroniska effekter*

Utomhusarbetare får med tiden ett väderbitet utseende, "sjömanshud". Detta beror på att långvarig och upprepade UV-exponering skadar huden. Skador i överhuden gör den torr, skrovlig och ojämn. Pigmentcellerna skadas, pigmenteringen blir ojämn och det kan uppstå fräknar, större bruna fläckar (lentigines) och åldersvårter. På starkt UV-exponerade hudpartier uppstår skador i läderhudens bindväv (elastos) som gör att huden blir grov och rynkig.

Samband mellan utomhusarbete och "sjömanshud" och hudcancer diskuterades första gången redan i slutet av 1800-talet och sattes senare i samband med sol-exponering (Hyde, 1906; Unna, 1894).

Det finns tre olika sorters hudcancer, varav två i allmänhet är lätta att bota om sjukdomen upptäcks i tid.

Den lindrigaste formen kallas basalcancer och sprider sig ytterst sällan. Årligen upptäcks ungefär 80 fall per 100 000 individer. Dessa fall rapporteras fr.o.m. 2002-01-01 till cancerregistret<sup>1</sup>.

Skivepitelcancer i huden är en något allvarligare cancerform av vilken ca 2 500 nya fall rapporteras årligen. I ett tidigt skede visar sig skivepitelcancer som en skrovlighet eller ett ytligt sår och kan då botas med enbart salvbehandling. Har den växt in i läderhuden måste den opereras. I några procent av fallen sprider sig denna cancerform och kan då vara dödlig.

Skivepitelcancer är "icke melanomrelaterad hudcancer" (huvudsakligen skivepitelcancer) omfattade 2 762 fall år 1999 och var enligt Socialstyrelsens statistik ca 32 fall per 100 000 individer för män och ca 15 fall för kvinnor. Detta noterades som en av de snabbast ökande tumörerna för såväl män som kvinnor med en genomsnittlig årlig ökning av 3,9 respektive 4,2 procent under den senaste tioårsperioden (Socialstyrelsen, 1999).

Den farligaste formen av hudtumör är det maligna melanomet. Antalet fall har ökat starkt under senare hälften av 1900-talet i västvärlden. I Skandinavien är incidensen hög jämfört med andra europeiska länder. Årligen upptäcktes ungefär 12 fall per 100 000 individer 1987-1993. Under 1997 rapporterades 1 703 fall i Sverige. Antalet fall har fördubblats varje tioårsperiod under senare hälften av 1900-talet. Ungefär 1/4 av de upptäckta fallen leder till döden. Den årliga ökningstakten i Sverige under de senaste 20 åren för malignt melanom är 3,4 procent för män och 2,3 procent för kvinnor. Motsvarande siffror för övrig hudcancer är 4,0 och 4,3 procent för respektive kön 1997 (Socialstyrelsen, 1999).

En extern expertgrupp rapporterade i ett underlag åt Socialstyrelsen i mars 2001 att ökningstakten för malignt melanom hade avtagit. År 1999 var incidensen för

---

<sup>1</sup> Cancerregistret vid Epidemiologiskt Centrum (EpC) hos Socialstyrelsen ger statistiskt underlag för en rikstäckande redovisning i Sverige av cancersjuklighetens utveckling och utbredning i befolkningen. Registret används också för epidemiologisk forskning. EpC sammanställer årligen Sveriges cancerstatistik (med jämförelser bakåt i tiden) fram till två år innan rapporteringsåret. Dvs, t ex i juni år 2001 rapporterades cancerincidenser för år 1999 (Socialstyrelsen, 2001a; SoS-EpC., 2001).

kvinnor drygt 15 fall, men för män nästan 18 fall per 100 000 individer. Vidare noterades att malignt melanom är ovanligt i barn och ungdomsåren, men att sjukdomen kan uppträda under puberteten och att den sedan kan förekomma i alla åldrar. En fördubbling av antalet ungdomsmelanom (före 20 års ålder) hade dock noterats i Sverige under perioden 1973-1992. Medianåldern vid diagnos var 55 år och lika för båda könen. Den genomsnittliga årliga incidensökningen var 1960-1984 5-6 procent men hade därefter minskat och var 1979-1998 3,1 procent för män och 3,2 procent för kvinnor (Socialstyrelsen, 2001b).

Malignt melanom är ofta lokaliserat till bål och extremiteter. Det finns undersökningar som talar för att melanom kan uppstå lång tid efter enstaka kraftiga UV-exponeringar men sambandet är fortfarande något osäkert. Undersökningarna (Holman et al., 1984) ger stöd för antagandet, att kraftig UV-exponering före puberteten, ger förhöjd risk att senare i livet få malignt melanom. En yttlig variant av malignt melanom som uppträder i ansiktet eller på händerna hos gamla människor kallas lentigo maligna och är klart associerad till långvarig exponering för solstrålning. Denna melanomform är mindre elakartad än övriga typer.

Det finns en ärftlig disposition för vissa typer av maligna melanom. Personer som har rikligt med stora födelsemärken s k dysplastiska naevi, löper en större risk att få sådana melanom.

De UV-inducerade melanomen är ett viktigt strålskyddsproblem. I Sverige fanns från slutet av 1980-talet till 2002 en samarbetsgrupp mellan myndigheter, organisationer och experter där Statens strålskyddsinstitut, Socialstyrelsen, Karolinska Sjukhusets och Stockholms Läns Landstings Cancerpreventiva enhet, Cancerfonden, Arbetsmiljöverket, m.fl. ingick (AFSS), med uppgift att bl.a. bedriva folkupplysningskampanjer för att åstadkomma attitydförändringar i umgänget med solstrålning (SSI-Socialstyrelsen, 1990). AFSS ersätts för närvarande av "SSIs vetenskapliga råd för UV-frågor".

Prevention av malignt melanom var 1994 föremål för en svensk konsensuskonferens för hudläkare, onkologer och andra berörda experter och som organiserades av Medicinska Forskningsrådet (MFR) och SPRI (SPRI-MFR, 1994; SPRI-MFR, 1994a). Konferensens slutsats var att rekommendera både primär och sekundär prevention vid malignt hudmelanom och att tillämpa screening av högriskindivider (t ex sådana med "dysplastiska naevi"). Primär prevention innebär förebyggande hälsoupplysning som syftar till att undvika orsakerna till sjukdomen bl.a. genom förändrade solvanor etc. Sekundär prevention innebär olika strategier för att tidigt upptäcka och i förebyggande syfte behandla misstänkta symptom på sjukdomen eller dess förstadier.

Prevention av malignt melanom har också varit föremål för en europeisk konsensuskonferens med världsledande expertis som utmynnade i olika typer av rekommendationer om experimentell biologisk forskning, epidemiologi, primärprevention (där bl a behovet av UV-monitering och UV-index konstaterades), sekundärprevention, public relations och om solarier (EUROSKIN, 2001).

Aktionsspektrum för UV-cancerinduktion är svårt att fastställa hos människa, men överensstämmer troligen väl med aktionspektrum för erytem (CIE,

2000a; Urbach, 1987). Denna slutsats stöds av att solinducerad DNA-skada har ungefär samma aktionsspektrum. De minsta spektrala erytemdoserna för människor överensstämmer även väl med aktionsspektrum för akuta effekter på hårlösa möss. Ett aktionsspektrum för hudcancer hos människa "SCUP-h" (Squamous cell Carcinoma Utrecht-Philadelphia- human) har räknats fram och baserats på data om hudcancer hos möss "SCUP-m" (m=mice) modifierat med transmissions-egenskaperna hos mänsklig hud. Hudcancerkurvan för mushud (SCUP-m) är i sin tur ett aktionsspektrum som beräknats bäst överensstämma med utfallet av hudcancer hos grupper av möss vilka bestrålats med sinsemellan spektralt olika UV-strålkällor (de Gruijl et al., 1993; de Gruijl et al., 1994). Ljusstandardiseringsorganisationen CIE:s fotobiologiska avdelning TC6 har definierat och rekommenderar ett aktionsspektrum för "icke-melanom relaterad hudcancer" (Fig. 13; (CIE, 2000a)) som överensstämmer med den sk "SCUP-h kurvan" mellan 280-340 nm och vid 254 nm men ej i UVA-området. Relativ spektral effektivitet för hudcancerinduktion har maximum "1,0" i UVB-området och faller brant mellan 300 nm och 340 nm till ca en faktor  $10^{-3}$  -  $10^{-4}$  i UVA för bägge kurvorna. Men SCUP-h kurvan har ett tydligt och brett sekundärmaximum mellan 360-390 nm med en topp vid ca 380 nm som skulle kunna ha betydelse för riskvärdering av starka UVA-strålkällor med <2 procent UVB. Den UVA-toppen har i CIE:s hudcancerkurva ersatts med en konstant spektral riskfaktor (0,0004) från 340-400 nm. Skälet är de osäkerheter och svårigheter som är förknippade med att bestämma en spektral struktur för hudcancerinduktion i UVA-området (CIE, 2000a). CIE:s hudcancerkurva kan användas för relativ riskvärdering av UV-strålkällor, men saknar f n definierade tröskeldoser. Inom IEC i samband med solariestandardisering har CIE:s hudcancerkurva föreslagits att ersätta CIE-IEC:s referensspektrum för huderytem (CIE, 1998) vid kategorisering av olika solarier. Därvid kan dock hittills tillämpade rekommendationer beträffande maximala erytemårsdoser komma att överföras till "hudcancerårsdoser" - vilka dock ej bör uppfattas som tröskeldoser för hudcancer. För praktiskt strålskyddsbruk i övrigt tillämpas t.v. tröskeldoser för akuta effekter för antingen såväl hud som ögon (ICNIRP, 1989; ICNIRP, 1996; IEC, 1999; IRPA/INIRC, 1985; IRPA/INIRC, 1991; Sliney, 1972; SSI, 1990) eller för enbart hud (CIE, 1998).

Flera förslag har gjorts att formulera kriterier och skadetrösklar (Diffey, 1982; Mackenzie, 1983). Man har även kommit överens om tröskeldoser för praktiskt strålskyddsbruk (CIE, 1998; Sliney, 1972).

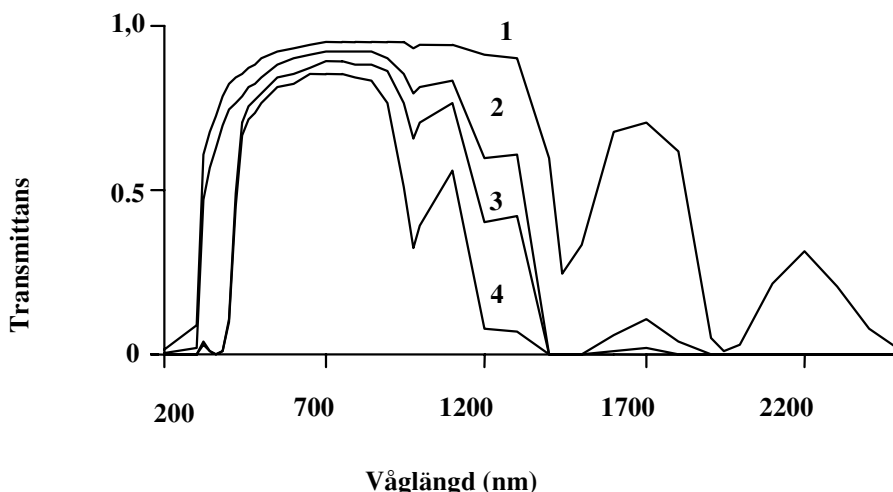


## Öga

### Exponering

Till ögat hör även ögonlocken som täcks av hud. I ögonlockshuden kan UV orsaka de problem som berörts under ovanstående beskrivning av effekter av UV i huden. Ögonbollen ligger väl avskärmat i ögonhålan (Rosenthal et al., 1985). UV från solen träffar ögat i mycket hög grad som indirekt spridd strålning. Det har dock påpekats att solstrålning som träffar hornhinnan uppifrån eller från sidan kan koncentreras i ögats optik så att höga intensiteter kan uppnås (Coroneo, 1990; Coroneo et al., 1991).

Den UV som träffar ögat attenueras olika i olika delar av ögat beroende av våglängden (Fig. 3), (Boettner et al., 1962). Attenueringen består av spridning och absorption. Absorption är en förutsättning för att någon biologisk effekt skall vara möjlig.



**Figur 3.** Spektral transmittans genom ögats medier fram till 1) hornhinnans bakre yta, 2) främre linsyta, 3) genom linsen och 4) genom glaskroppen. Efter Boettner & Wolter, 1962.

Man ser att praktiskt taget all strålning med kortare våglängd än 290 nm attenueras i hornhinnan. Strålning i våglängdsområdet 300-370 nm attenueras i stort sett helt i ögats lins. Det finns ett litet fönster omkring 320 nm som släpper igenom några procent till näthinnan (Maher, 1978). Transmittans av UV och blått ljus genom ögats lins reduceras kraftigt med ökad ålder (Lerman et al., 1976). Ögat släpper igenom 80-90 procent av långvågigt synligt ljus.

### Ögonskador

Vid exponering av ögat för hög dos UV uppkommer fotokeratit. Syndromet är väl känt från överexponering av ögat i solljus i nyfallen snö, snöblindhet, och överexponering av ögat i ljus från elsvets, svetsblänk. Några timmar efter överexpo-

nering upplevs en torrhetkänsla i ögonen som övergår i gruskänsla och så småningom intensiv värk och ljuskänslighet. Besvären försvinner normalt helt inom 1-2 dygn. Vid närmare undersökning ses att UV förändrar tårfilmen och avdödar hornhinnans yttersta cellskikt, epitelet, som svullnar och faller bort för att sedan ersättas med nya celler (Pitts, 1969). Ljus och elektronmikroskopiska undersökningar har även påvisat skador på hornhinnans mellersta och innersta skikt av höga doser UV (Cullen et al., 1984). I bindehinnan ses även en dilatation av blodkärl och svullnad i bindväven under epitelet samt en inflammatorisk reaktion (Cullen et al., 1990).

Kronisk lågdosexponering för UV har visats vara associerat till förändringar i hornhinnans innersta cellager, endotelet (Good et al., 1988; Karai et al., 1984). Dessutom har epidemiologiska studier visat att långtidsexponering för UV från solen är associerat till fettinlagringar i hornhinnan som kallas klimatisk droppkeratopati (Biettie et al., 1955; Taylor et al., 1989). Kronisk exponering för UV har också visat sig vara associerat till bindvävs- och fettinlagring i bindehinnan, pingueculum och bindvävsinväxt från bindehinnan in i hornhinnan, pterygium (Taylor et al., 1989).

En hög dos av UV ger upphov till katarakt (Söderberg, 1988; Söderberg, 1990; Widmark, 1891) genom att störa cellmembranens elektrolytbalans (Söderberg, 1991) och glykolysen (Löfgren et al., 2001) i linscellerna. Ett stort antal epidemiologiska studier har visat att grå starr är associerat till stor exponering för UV från solen (Bergmanson et al., 1995; Cruickshanks et al., 1992; Taylor et al., 1988; West et al., 1998).

Det är känt att linsens färg gulnar med ökad ålder (Grover et al., 1972; Lerman, 1980; Weale, 1988). Detta antas bero på oxidation av proteiner (Pirie, 1968). Denna åldersförändring har den positiva effekten att den åldrande näthinnan skyddas mot blått ljus samt UV i gränsområdet till det synliga ljuset. Gulfärgningen i sig innebär inget dramatiskt synhandikapp så länge linsen i övrigt är klar och inte sprider diffust. Näthinnan träffas av information med annat spektral-innehåll men processen är långsam och hjärnan hinner med att ställa om sig.

### *Aktionsspektra*

Tröskeldos har bestämts för UV-inducerad fotokeratit med en binär dos-responsmodell. Med denna modell har aktionsspektrum för UV-inducerad konjunktivit hos människa (Cullen & Perera, 1990), fotokeratit hos kaniner (Cogan et al., 1946; Pitts, 1969), primater (Pitts, 1970) och människa (Pitts, 1973) och katarakt hos kanin (Pitts et al., 1977) bestämts. För UV-inducerad katarakt har dock visats att dos-effekt funktionen för akut UV-inducerad katarakt är kontinuerlig (Michael, 2000; Michael et al., 1998). Aktionsspektrum för akut UV-katarakt hos råttor (Merriam et al., 2000) som bestämts med en kontinuerlig dos-effektmodell har visat ett liknande aktionsspektrum. Maximal känslighet för konjunktivit och keratit är för undersökta species 270 nm och för katarakt för undersökta species 300 nm. För att skada skall uppstå i linsen vid 300 nm krävs c:a 10 ggr högre dos

än för att skada skall uppstå i hornhinna och bindehinna men skadan i hornhinnan är reversibel.

### **Immunologiska effekter**

Under de senaste decennierna har betydande insikter beträffande UV-strålnings effekter på immunsystemet gjorts. I initiala undersökningar studerades huvudsakligen effekterna av UVB-strålning medan senare studier även undersökt effekter av UVA och simulerad solljusbestrålning. Iakttagelser att UV-strålning har en hämmande effekt på immunsystemet har gjorts såväl i djurexperiment som i studier på människor. Betydelsen av dessa effekter för mänsklig hälsa, till exempel utveckling av hudtumörer och motståndskraft mot infektioner, är dock ännu bristfälligt klarlagda.

#### *Djurstudier*

I undersökningar på djur har såväl lokala effekter inom det UV-bestrålade hudområdet som generella effekter på immunsystemet dokumenterats.

*Lokala effekter.* UV-strålning reducerar fördröjda överkänslighetsreaktioner inklusive kontaktallergi. I denna typ av försök appliceras ett allergen (allergi-framkallande ämne) på huden, vilket tas upp och modifieras av hudens antigenpresenterande celler, huvudsakligen de så kallade Langerhanska cellerna. Dessa celler förflyttar sig därefter genom lymfbanorna till dränerande regionala lymfkörtlar där de kommer i kontakt med vita blodkroppar av en viss typ, så kallade T-hjälparceller, för vilka de presenterar det modifierande antigenet. Dessa T-celler förökar sig därefter genom delning och utmognar, varefter de cirkulerar runt i kroppen i blodbanan. När de kommer till hud som utsatts för exponering av allergenet avger de kemiska substanser, så kallade cytokiner, vilka leder till en lokal reaktion med svullnad rodnad och klåda. Det har visats att UV-strålning kan inhibera denna typ av reaktioner, vilka kallas Th1-reaktioner. UV-strålning leder både till minskningar i antalet och förändringar i utseendet hos de Langerhanska cellerna i huden. Undersökningar av de antigenpresenterande celler som migrerat till dränerande lymfkörtlar har visat att de har en nedsatt antigenpresenterande förmåga och saknar kapacitet att stimulera T-hjälparceller och därmed utlösa en Th1-reaktion. I stället aktiveras T-supressorceller, i en så kallad Th2-reaktion, vilket leder till nedsatt immunsvaret mot antigenet.

*Systemeffekter.* I djurförsök har visats att UV-strålning även har generella effekter på immunsystemet. Sålunda kan UV-bestrålning leda till inhibition av immunreaktioner utlösta av applikation av antigen på hud som ej UV-bestrålats. Liksom vid den lokala immunsuppressionen induceras så kallade T-supressorceller i stället för T-hjälparceller. För att påvisa systemeffekterna krävs större doser UV än för lokala effekter. Det har demonstrerats att systemeffekten förmedlas av faktorer som cirkulerar i blodbanan. Sålunda kunde man i laboratorieexperiment visa att UV-bestrålning av hornbildande överhudsceller (keratinocyter) utlöser produktion

av substanser som orsakar immunsuppression när de injiceras i möss. Bland de substanser som kan ha dylika effekter finns interleukin-10 och TNF-alfa (se nedan).

### *Studier på människa*

Kunskapen om de immunsupprimerande effekterna av UV-strålning på människor har relativt nyligen sammanfattats (Duthie et al., 1999). Det föreligger en individuell variabilitet i känslighet för immunsuppression efter UVB-bestrålning. I en studie uppvisade 40 procent av friska försökspersoner en nedsatt kontaktallergi mot antigenet DNCB efter UVB-bestrålning. Bland patienter med hudtumörer var denna andel 92 procent vilket talar för att en ökad känslighet för immunsuppressiva effekter av UV-strålning kan utgöra en riskfaktor för utveckling av hudtumörer (Yoshikawa et al., 1990). Hittills okända genetiska faktorer är sannolikt av stor betydelse för den individuella variationen. Pigmenteringsgraden förefaller mindre betydelsefull för denna variation eftersom det inte finns någon korrelation mellan hudtyp (ett mått på hudens känslighet för UV-inducerad rodnad) och känsligheten för UV-inducerad immunsuppression. Andelen svarta individer med immunsuppression efter UVB hos liknar den i vit befolkning. Den immunhämmande effekten av UVB-bestrålning är dosberoende och efter höga doser kan immunsuppression iakttagas hos 95 procent av alla individer. Effekten på immunsystemet är även våglängdsberoende. I en studie sågs ingen immunsuppression hos 14 individer efter UVA-bestrålning. Däremot kan bestrålning med simulerat solljus i höga men biologiskt relevanta doser orsaka lokal immunsuppression hos 100 procent och generell immunsuppression hos 83 procent av försökspersonerna. Studier av Langerhanska celler i human hud har visat att långvarig UVB-bestrålning under lång tids nedsatte cellernas antigenpresenterande förmåga. Mekanismen bakom detta är okänd och det finns idag inga belägg för att denna effekt medieras av cytokiner eller andra vattenlösliga molekyler, vilket är fallet i djursystem (se nedan).

En studie från Australien har visat att solljusexponering under en timme dagligen i 12 dagar under våren i Sydney reducerade mängden cirkulerande T-lymfocyter i blodet hos friska kontrollpersoner. Solbestrålningen ledde även till en omfördelning mellan subklasser av T-lymfocyter, så att CD4+ hjälparceller minskade i antal och CD8+ supressor celler ökade. Det har även visats hos friska försökspersoner att semesterresor till länder med soligt klimat leder till immunologiska förändringar, bland annat en minskad kvot mellan CD4+/CD8+ T-celler och minskning av IgG i serum (Falkenbach et al., 1997). Bestrålning kan dessutom minska antalet cirkulerande sk naturliga mördarceller (NK-celler) och även minska deras aktivitet. Dessa NK-celler har sannolikt betydelse för både immunförsvaret mot infektioner och tumörceller. Minskningen av aktiviteten hos NK-celler tycks sammanhänga med bildning av fria syreradikaler. Upprepade exponeringar i solarium för låga UV-doser kan leda till nedsatt funktion och antal av NK-celler.

### *Mekanismerna bakom UV-strålningens immunhämmande effekt*

De biologiska effekterna av UV-strålning förutsätter att strålningens energi leder till förändringar i mål-molekyler i huden. Spektrum för UV-strålningens immunologiska effekter överensstämmer med absorptionspektrum i DNA, vilket talar för att UV-skador i cellernas DNA utlöser de immunsupprimerande effekterna. Denna hypotes stöds även av experiment där man visat att introduktion i huden (med hjälp av s k liposomer) av ett enzym (bakteriofag T4 endonukleas V) som reparerar den vanligaste typen av UV skador i DNA (s k pyrimidindimerer) motverkar de immunhämmande effekterna av UV-strålning. Det är dock möjligt att skador av UV-strålning även på andra cellkomponenter, t ex cellmembraner (lipidperoxidering) kan bidra till immunsuppression.

UV-bestrålning leder till frisättning i huden av signalsubstanser, s k cytokiner, t ex TNF-alfa, interleukin-1, interleukin-6, interleukin-10 med flera, vilka kan orsaka immunsuppression. Förutom dessa cytokiner har på senare år även frisättning av neuropeptiden proopiomelanocortin (POMC), vilken är ett förstadium till bl. a. det melanocytstimulerande hormonet alfa-MSH, iakttagits efter UV-bestrålning av hud. Detta kan leda till inaktivering av antigenpresenterande celler och immunsuppression, vilket åtminstone till en del beror på att alfa-MSH aktiverar den immunhämmande cytokinen interleukin-10. Även andra neuropeptider, sannolikt frisatta från hudnerver, som t ex substans P och calcitonin gen-relaterad peptid har på senare år implicerats i UV-inducerad immunhämning (Scholzen et al., 1999; Streilein et al., 1999).

I de hornbildande cellerna (keratinocyter) i överhuden finns stora mängder av *trans*-urocansyra, vilken bidrar till UV-absorptionen i huden. Vid absorption av UV-strålning omvandlas *trans*-urocansyra till stereoisomeren *cis*-urocansyra, vilken har immunsupprimerande effekter, bl.a. genom att hämma s k naturliga mördarceller (NK-celler), en typ av lymfocyter som deltar i Th1-reaktioner. I human hud har det visats att bildning av *cis*-urocansyra stimuleras av både UVA och UVB, och att ökade nivåer av *cis*-urocansyra kvarstår under flera veckor efter bestrålning. En möjlig koppling mellan UV-medierad induktion av *cis*-urocansyra och uppkomst av hudtumörer har iakttagits då man kunnat visa att personer som behandlats för basaliom respektive melanom uppvisade högre nivåer av *cis*-urocansyra efter UV-bestrålning än friska kontrollpersoner.

Effekter av UV-strålning av olika våglängd skiljer sig åt. UVA aktiverar ett flertal gener, t. ex. hemoxygenas, metalloproteaser och den apoptosfrämjande molekylen Fas-ligand, i hudceller genom bildning av reaktiva syreradikaler. Det har nyligen visats att denna genaktivering medieras av transkriptionsfaktorn AP-2. Betydelsen av bildning av syreradikaler har visats genom djurexperiment där lokal behandling med antioxidanter förhindrat UV-inducerad systemisk immunsuppression (Steenvoorden et al., 1999).

Sannolikt medieras den nedsatta reaktionen mot olika antigen efter UV-bestrålning av olika substanser.

Nya data visar att T-supressorceller efter UV-bestrålning kan inducera apoptos (en form av programmerad celldöd) i antigenpresenterande celler genom att akti-

vera det så kallade Fas/Fas-ligand systemet (Beissert et al., 1999; Hill et al., 1999). Denna apoptos kan motverkas av cytokinen interleukin-12, vilken kan bidra till att återställa immunreaktioner som hämmats av UV-strålning.

#### *Biologiska konsekvenser*

De immunhämmande effekterna av UV-strålning kan tänkas ha negativa hälsoeffekter genom att nedsätta motståndskraften för infektioner samt eventuellt främja tumöruppkomst.

Avseende effekten av UV-strålning för infektionskänslighet har det kunnat beläggas att UV-strålning kan inverka negativt på virusinfektioner. UV-strålning kan aktivera herpes simplex-infektioner. Det har även visats att individer med uttalad oral herpes simplex oftare är känsliga för UV-inducerad immunhämning. Försök har gjorts att beräkna effekten av solljusbestrålning för skyddet mot andra infektioner (Garssen et al., 1996), men dylika data tillåter ännu inga säkra konklusioner. Det har visats att UV-strålning kan aktivera HIV *in vitro* (Stern et al., 1998). Detta har lett till diskussion huruvida medicinsk användning av psoralen i kombination med UVA-bestrålning (PUVA) kan orsaka aktivering av virus hos HIV-infekterade individer (Zmudzka et al., 1996). Ytterligare forskning behövs för att klarlägga sambandet mellan känslighet för virusinfektioner och UV-strålning.

Beträffande uppkomst av tumörer kan en UV-inducerad immunsuppression verka såväl genom att främja uppkomsten av virusorsakade tumörer, som genom att nedsätta kroppens immunförsvar mot tumörer orsakade av andra agens. En möjlig virusfaktor av betydelse för uppkomst av hudtumörer är humant papillomvirus (HPV), vilket kan identifieras i skivepitelcancer i huden. Det är möjligt att UV-strålning kan reducera immunreaktionen mot HPV och därmed bidra till utvecklingen av hudtumörer. Immunsupprimerade njurtransplanterade patienter som exponerats för riklig solbestrålning visade sig ha en högre incidens av HPV betingade vårtor och hudtumörer jämfört med en matchad grupp friska kontrollpersoner, förmodligen p.g.a. ökad känslighet för UV-exponering (Boyle et al., 1984). Indirekt stöd för betydelsen av känslighet för UV-inducerad immunsuppression och uppkomst av hudtumörer gavs i den ovannämnda studien som visade att känslighet för UV-medierad immunhämning var vanligare hos patienter som behandlats för hudtumörer (Yoshikawa et al., 1990).

#### *Skyddande effekter av solskyddskrämer*

Den skyddande effekten av solskyddskrämer mot UV-inducerad immunsuppression är fortfarande otillräckligt studerad (Ullrich et al., 1999). Tidiga studier av solskyddskrämer med huvudsakligen skydd mot UVB visade ett bristfälligt skydd mot UV-strålningens immunhämmande effekter. Nyare undersökningar av solskyddskrämer med skydd mot såväl UVA som UVB och strålkällor som ger ljus motsvarande solljusets spektrum har visat att en effekt på immunhämningen kan uppnås. Den skyddande effekten på immunsystemet motsvarar ungefär solskyddsfaktorn mot UV-inducerad brännskada i huden. Solskyddskräm med kombinerat

UVA- och UVB-skydd har visats minska bildningen av *cis*-urocansyra i huden. För att uppnå en skyddande effekt är det nödvändigt att använda solskyddsmedel med fullgott skydd mot såväl UVA som UVB. Användande av solskyddsfaktorer med avsaknad av skydd mot UVA kan leda till förvärrad immunsuppression, genom att leda till en ökad exponering p g a skyddet mot solerytem.

#### *Evolutionära aspekter*

Varför har evolutionen medgett UV-inducerad immunsuppression trots de möjliga negativa konsekvenser som beskrivits ovan? Eftersom UV-strålning är mutagen och orsakar förändringar i antigener i hudceller kan immunsuppressionen ha en skyddande funktion och hindra autoimmuna reaktioner mot hudceller efter kraftig UV-bestrålning.

### **Vitamin D**

Vitamin D bildas i huden vid solexponering med UVB-strålning. Solinducerat vitamin D har betydelse för hälsan, men att skydda sig mot UV i starkt solljus är ändå alltid befogat. För att tillgodose vitamin D behovet räcker det med 10-15 minuters daglig exponering av ansikte underarmar och händer i sommarsol i norra Europa. Vitamin D lagras i fettvävnaden inför den solfattiga vintern. När vårsolen kommer fram är det inget fel att, som många människor gör, sola ansiktet en kort stund på lunchen. De fyller därigenom på vitamin D.

Produktionen av solinducerat vitamin D regleras naturligt i huden och av kroppen. När behovet är tillgodosett stängs produktionen av. Vid födointag av vitamin D och i samband med t ex kosttillskott kan man få i sig mer än som behövs. Alltför mycket vitamin D kan i extrema fall ge upphov till ”D-vitamin förgiftning”.

Bildningen av vitamin D i huden underlättas om huden inte är solbrun eller förtjockad av långvarig UVB-exponering. Ljushyade individer i nordeuropa bildar lättare vitamin D än starkt pigmenterade. Mörkhyade personer som flyttat till nordliga latituder kan utgöra en riskgrupp för D-vitaminbrist. Likaså de äldre personer som sällan vistas utomhus. De måste tillgodose sitt vitamin D-intag via födan (EUROSKIN, 2001; NRPB, 2002; SSI-CPE, 1999; WHO, 1994).

### **Större internationella översikter av UV-inducerade hälsoeffekter**

Här bör två omfattande översikter nämnas, en från WHO och en nyligen publicerad från NRPB (NRPB, 2002; WHO, 1994).

## Mätteknik

### Bakgrund

Ultraviolett strålning kan mätas radiometriskt, spektroradiometriskt och dosimetriskt (CEN, 2001).

Val av mätmetod och instrumenttyp styrs av tillämpning och ambitionsnivå (tabell 5).

**Tabell 5.** Metoder och instrumenttyper för UV-mätning.

---

Schema ambitionsnivåer

---

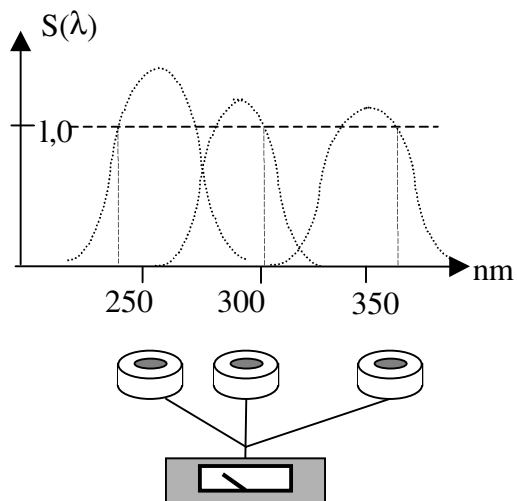
1. Relativmätning	Doseringskontroll vid lampors åldring	Enkla UV-mätinstrument, ej absolutkalibrerade
2. Absolutnivåmätning	Exponeringsbestämning t ex f patienter o personal v psoriasiskliniker från en viss strålkälla	UV-radiometrar kalibr. för resp strålkälla; fel: 15-30 %
3. "Avancerad dosimetri"	Exponeringsbestämning för vetenskapl. resultatjämförelser med strålkällor	Spektroradiometri med gemensam kalibr.grund, fel: 10-15 %
4. Persondosimetri mm	Bestämning av ackumulerad exponering Bestämning av exponering till många individer	UV-Dosimetrar Billiga UV-dosimetrar (polysulfonfilm, spordosimetrar)

---

Radiometrar mäter irradians (intensitet) inom ett avgränsat spektralt känslighetsområde. Sådana instrument är ofta avsedda och ibland t o m kalibrerade för någon specifik typ av strålkälla. En UVA-radiometer kan t ex ha en spektral känslighet som visserligen är högst i UVA-området men som med lägre relativ spektral respons innefattar angränsande delar av spektrum för UVB och för synligt ljus.

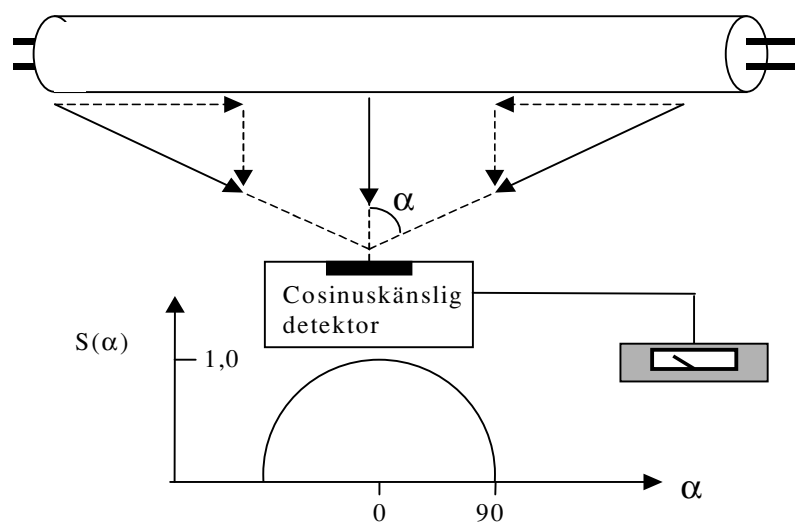
Den spektrala känsligheten för ett "idealt" UV-mätinstrument är en fyrkant-respons medan känsligheten för en reell UV-radiometer har en mer eller mindre utpräglad klockform. Det gäller att veta vilken typ av strålkälla instrumentet är kalibrerat och avsett för och att inte använda det för alltför avvikande typer av strålkällor – annars kan det ge fel utslag.





**Figur 4.** UV-radiometer med tre prober och tre spektrala responskurvor.

Radiometrar är enkla att hantera och relativt billiga (ca 5 000 – 50 000 SEK). Betydelsefullt är också om mätinstrumentet har möjlighet att mäta rätt för utbredda strålkällor, d v s med cosinus-liknande vinkelrespons för snett infallande strålning.



**Figur 5.** Radiometer under utbredd eller vidsträckt strålkälla och cosinusliknande vinkelrespons.

Cosinusliknande respons åstadkoms med ett spektralt indifferent diffusor-material (t ex sintrad kvarts, teflon) eller en integrerande sfär (Ulbrichtklot) framför ingångsoptiken.

Instrument för mätning av optisk strålning, och därmed UV, består i princip av en ingångsoptik, en strålkänslig detektor och en utläsningsenhet som vanligen

innehåller någon elektrisk förstärkare. För att medge spektrala analyser krävs också en monokromator mellan ingångsoptiken och detektorn.

Den fundamentala komponenten som bestämmer instrumentets egenskaper är detektorn. De viktigaste detektortyperna är fotokatoder, halvledardetektorer och termiska detektorer.

Fotokatoder, i sin mest sofistikerade form fotomultiplikatorer, bygger på den fotoelektriska effekten. Infallande fotoner slår ut elektroner ur ett sensormaterial. Den elektriska ström som då uppstår är proportionell mot strålningseffekten. Fotomultiplikatorer kan göras mycket känsliga. Fotokatoder är snabba och kan följa förlopp som ändrar sig i tiden, t ex blixtlampor och elektrosvetsar. Fotomultiplikatorns känslighet är våglängdsberoende.

Halvledardetektorer förändrar sina elektriska egenskaper, väsentligen sin resistans, genom intern fotoelektrisk effekt. De kan göras förhållandevis billiga och robusta och kan vara utomordentligt snabba med god känslighet. Halvledardetektorns känslighet är våglängdsberoende.

Termiska detektorer bygger på värmeutveckling i en yta eller inom en volym. Mätutslaget relateras till den värmeutveckling som uppstår i det absorberande materialet. Termiska detektorer, i synnerhet sådana där absorptionen sker i en kropp med stor volym kan tåla mycket höga effekter, vilket bl.a. gör dem lämpade att mäta stark laserstrålning. De klarar dock inte att analysera snabba pulsade förlopp. Den stora fördelen med termiska detektorer är att dessas känslighet är våglängdsberoende.

### **Spektralmätningar - spektroradiometrar**

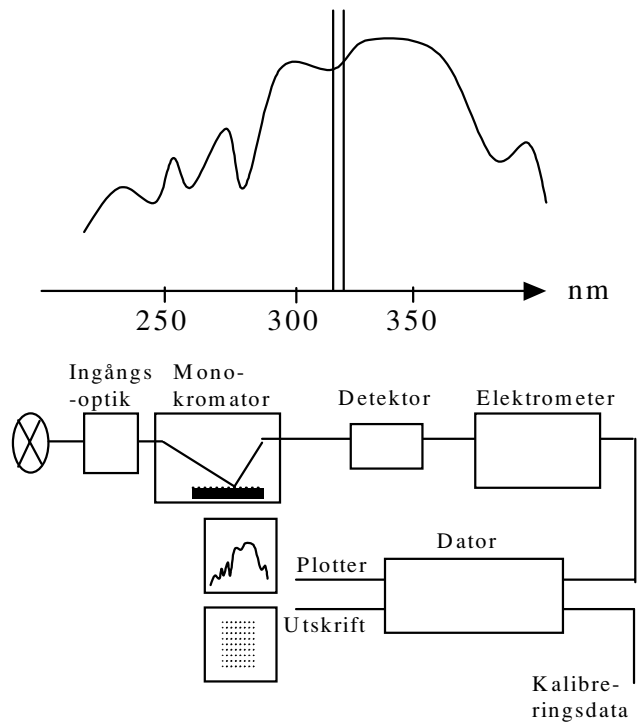
För noggrann analys av en strålkällas spektrum krävs en spektroradiometer som i många små steg mäter en liten smal del av strålkällans spektrum åt gången.

Den ska i förväg vara kalibrerad mot en noga uppmätt känd "referensstrålkälla" (ofta en kraftig halogenglödlampa som drivs med noga bestämd ström och som har "svartkroppslignande" strålningsegenskaper enligt Plancks strålningslag).

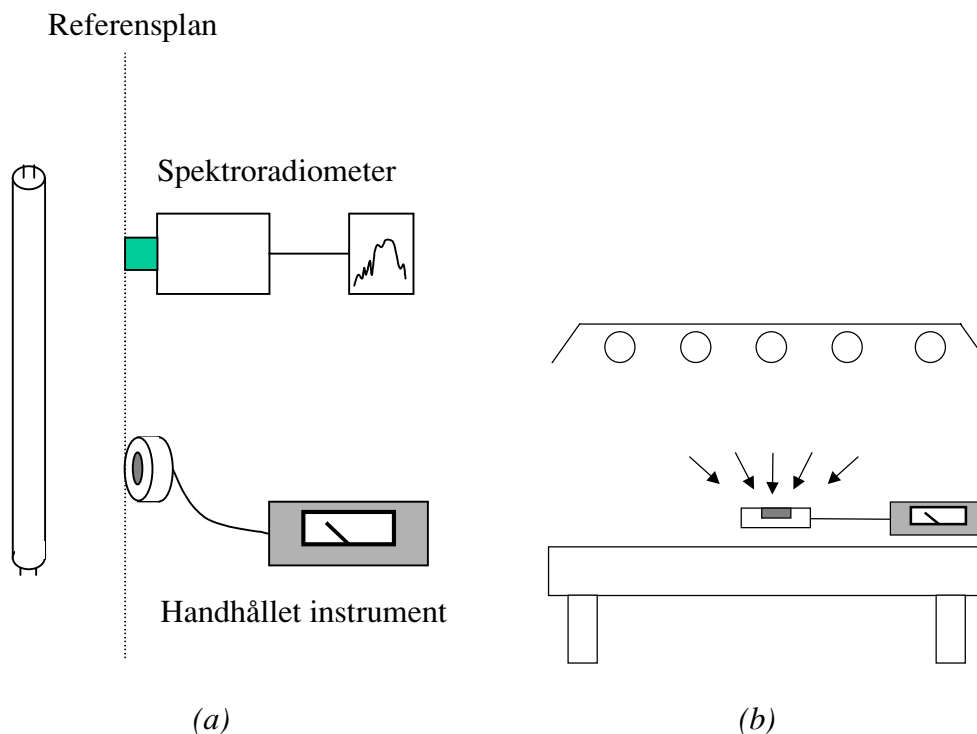
Spektroradiometrar är dyra (från 50 000 SEK) och mer komplicerade att använda än enkla handinstrument. Fördelarna med noggranna spektroradiometrar respektive enkla handinstrument kan dock i viss mån kombineras.

För att göra spektrala mätningar behöver man en monokromator mellan ingångsoptiken och detektorn. Den fundamentala komponenten är antingen ett prisma eller ett gitter. Prismat bryter upp den infallande strålningen i sina olika våglängder som efter att ha passerat prismat fortsätter i olika riktningar. Före detektorn sitter en smal spalt och genom att vrida prismat presenterar man våglängd efter våglängd mot spalten och respektive effektinnehåll mäts.

Gitter kan vara av två slag. Transmissionsgittret kan liknas vid ett fint galler - som en kam. Reflexionsgittret kan liknas vid en finrandig spegel. I båda fallen, d v s när ett strålknippe har lyst genom gallret eller reflekterats i den randiga spegeln är det uppdelat i sina olika våglängder. Principen i övrigt liknar prisma-monokromatorns.



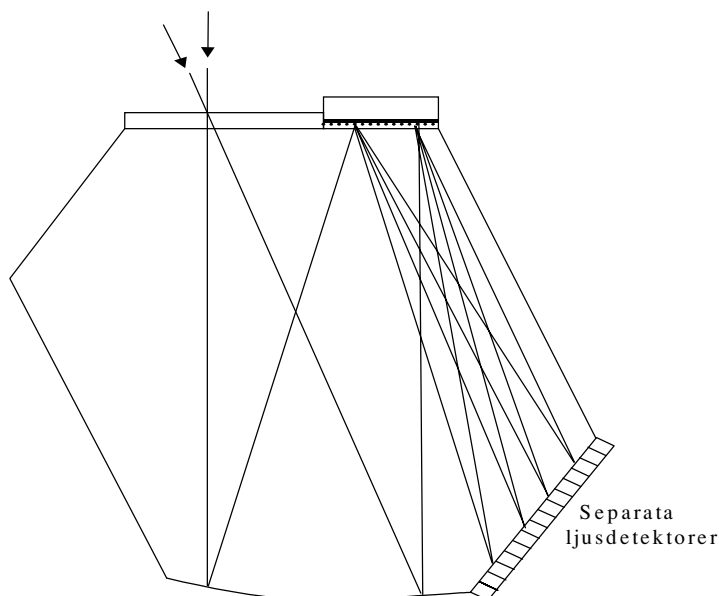
**Figur 6.** För en noggrann analys av en strålkällas spektrum krävs en spektorradiometer som i många små steg mäter en liten del av strålkällans spektrum åt gången.



**Figur 7.** a) Spektorradiometer + handinstrument framför strålkälla, t. ex solarielysrör; b) handinstrument under många sådana strålkällor, t. ex solarium.

Eftersom detektorn i en spektroradiometer bara ser ett begränsat våglängdsintervall i taget, som kan vara mycket snävt om man vill ha hög upplösning i systemet, behöver man hög känslighet hos detektorn. Vanligen används därför fotomultiplikatorer.

En spektroradiometer konstruerad enligt beskrivningen i Figur 6 behöver alltid en viss tid för att scanna igenom alla våglängder. Det krävs därför att den källa man mäter är stabil i tiden. Om så inte är fallet, t ex vid mätningar av svetsbågar som kan "tindra", eller vid mätning av spektral energi i en blix, får man söka andra lösningar. En teknik är att låta den spektraluppdelade strålningen träffa en rad av separata kiseldioder (halvledardetektorer) vars signaler samtidigt kan analyseras i ett mångkanalsystem. Dessa diodarray-spektroradiometrar är små och oftast enklare att använda än scannande spektroradiometrar. Moderna instrument har en god spektralupplösning, kan ofta användas såväl separat som anslutna till en bärbar PC och finns i prislägen från 50 000 till 150 000 SEK. Ströljusbegränsningar i konstruktionen med en enkel monokromator begränsar principiellt mätområdets dynamik hos varje mätning till ca 3-4 tiopotenser. Instrumenten bör emellertid regelbundet (ca 1 gång/år) skickas för kalibrering - vanligen hos tillverkaren. Begränsad känslighet i UVB-området gör det svårt att direkt absolutkalibrera diodarray-spektroradiometrar med spektrala irradiansnormaler (tungsten halogenlampor) som används för kalibrering av känsligare skannande dubbelmonokromator-spektroradiometrar.



**Figur 8.** Ljusgången i en diodarray-spektroradiometer.

Ett vanligt praktiskt problem vållas av ströljus. Ströljus är strålning med andra våglängder än den man för ögonblicket vill mäta och som på olika vägar smiter in till detektorn, vanligen genom reflexion i monokromatorns inre. Särskilt accentuerat är problemet när man vill mäta någon viss våglängd och samtidigt har mycket strålning av längre våglängder närvarande. Typexemplet är mätning av

den lilla UVB-andelen i solstrålningen där vi också samtidigt har mycket UVA, synlig och infraröd strålning. Ett sätt att tackla problemet är att använda en dubbelmonokromator. En sådan består av två monokromatorer i varsin kammare. I den första monokromatorn sker en grovsållning så att den våglängd man vill mäta sänds vidare till nästa kammare. Till kammare nummer två kommer förvissa även något ströljus men strålning av den våglängd man vill mäta är så starkt favoriserad att inverkan av ströljuset efter passage av ytterligare en monokromator blir mycket mindre.

Moderna spektroradiometrar är automatiserade, styrda av en dator och resultaten genererar en spektral datafil. Det går därmed förhållandevis smidigt att göra viktningar av resultaten med hänsyn till någon viss biologisk aktionskurva och allehanda gränsvärdesberäkningar.

Ett sätt att komma ifrån spektrala mätningar, som i princip är en förutsättning för riskvärderingar när de biologiska aktionskurvorna är våglängdsberoende, är att göra mätningar med instrument vars känslighet följer den aktuella aktionskurvan. Detta har praktiserats med stor framgång i fråga om fotometriska instrument - luxmätare och luminansmätare - där detektorn med hjälp av filter har ungefär samma våglängdskänslighet som ögats relativa spektrala responskurva –  $V_{\lambda}$ -kurvan. Det finns också kommersiella instrument som gör anspråk på att ha ungefär samma spektrala respons som aktionskurvan för erytem/fotokeratit. Ett enkelt mätvärde skulle därmed lätt kunna jämföras med gränsvärdet för kortvågig UV. I praktiken är det inte så enkelt. Det är tekniskt svårt att med ett filter åstadkomma en tillräckligt effektiv dämpning av längre våglängder än de man vill mäta. Att dämpa kortare våglängder är mycket lättare. Svårigheterna resulterar i att en mätning av UVC-UVB från en källa som även avger mycket UVA och synlig strålning blir missvisande. UVA-strålningen och den synliga strålningen tar sig igenom filtret till en viss del och inverkar på mätresultatet. Om man inte utformat spektralgången mycket noga är försök att med ett enkelt instrument få ett vettigt värde på UVB från solen dömt att misslyckas.

### **Persondosimetri – dosimetrar**

Anordningar som mäter tidsintegrerad UV-strålning bör egentligen mer korrekt kallas ”exposimetrar” men benämningar som ”dosimeter” och ”persondosimetri” är så utbredda och vedertagna att vi här fortsättningsvis använder de begreppen. En dosimeter ackumulerar strålning under exponeringstiden och ger ett mått på exponering. Utformning och kostnad avgörs av tillämpningen.

UV-dosimetrar kan användas för:

1. Mätning av UV-exponering i en viss miljö eller situation där UV-strålningen varierar under en tidsperiod, t ex en arbetsdag.
2. "Persondosimetri" d v s för att ta reda på vad en person utsätts för beroende på beteende el dyl. Exempelvis mätning av doser till händer, ansikte, axlar etc vid olika aktiviteter och med t ex olika skyddsutrustningar (t ex olika hattbrätten).
3. Kollektiv persondosimetri, d v s bestämning och jämförelse av genomsnittlig exponering av en eller flera grupper av individer. T ex byggnadsarbetare, vägarbetare, bönder, fiskare, kontorister på lunchrast, jordgubbsplockare ute på öppna fält, blåbärs- eller lingonplockare i skogen etc. Eller t ex personal på en klinik för behandling av psoriatiker med UV-terapi.
4. Indikering och varning. T ex som konsumentprodukter, ofta för strandbruk och avsedda att indikera UV-strålningens ungefärliga styrka eller att signalera när det är dags att dra på sig ett solskyddande klädesplagg.

### *Funktionsprinciper*

*Elektroniska dosimetrar.* Elektroniska dosimetrar för mätning av ultraviolett strålningsexponering är i princip radiometrar där detektorns utsignal integreras över tiden. De bör ha såväl för mätändamålet lämplig spektral respons – t ex motsvarande hudens spektrala känslighet – och ingångsoptik med lämplig vinkelkänslighet, s k "cosinusrespons".

Avancerade modeller, vetenskapligt användbara och med datalogger kan följa strålningens tidsvariation och avläses t ex efter uppkoppling till en dator. Exempel på användning är projekt att studera variationer i dos relaterade till olika aktiviteter.

*Fördelar:* Resultat direkt tillgängliga, kan kalibreras och jämföras med spektrometrar och är därmed relativt noggranna.

*Nackdelar:* Pris (10-40 000 Kr), begränsade till enstaka tillämpningar eller undersökningar.

Konsumentmodeller för indikering och varning t. ex inbyggda i armbandsur kostar från ca 300 Kr.

*Biotekniska dosimetrar.* Biologiskt material kan utnyttjas för UV-dosimetri. En kommersiellt tillgänglig bioteknisk UV-dosimeter är baserad på DNA-skador hos en UV-känslig film av torkade bakteriesporer från *Bacillus subtilis* (Quintern et al., 1992). Bakteriesporfilmen med sin spektrala respons och ett optiskt filter-system ger dosimeterns resulterande spektrala respons som kan utformas att t ex motsvara erytemkänslighet hos mänsklig hud (s k CIE-vägd spektral respons) eller DNA-materials spektrala respons (Quintern et al., 1997). Dosimetern är utformad som en platt metallcylinder 3 cm i diameter och ca 1 cm hög. Ingångsoptik med cosinusliknande vinkelrespons åstadkoms med diffusormaterial av teflon. Vid mätning av UV-dos exponeras endast en central del av sporfilmen. Andra delar utnyttjas för bl a individuell kalibrering av dosimetern. Avläsning sker genom att bakteriesporerna inkuberas i ett tillväxsubstrat och deras proteinproduktion mäts

densitometriskt. Proteinproduktionen är omvänt proportionell mot UV-dosen eftersom sporernas DNA skadats i relation till exponeringen för UV-strålning inom ett linjärt dos-responsområde som bestämts av dosimeterns optiska egenskaper och filtertransmission.

Dosimetern är av engångstyp. Kalibrering och avläsning av dosimetern sker av tillverkarföretaget dit den måste återsändas efter användning och exponering. Hållbarheten före och efter exponering är begränsad till ca 3 månader. Dosimetrar marknadsförs för användning inom flera olika dosområden, med olika spektral respons och i olika miljöer, t ex för undervattensbruk. Styckekostnaden är ca 250 Kr.

Biotekniska dosimetrar kan användas för mätning av UV-exponering från solens UV-strålning och från artificiella UV-källor, i en viss miljö eller för persondosimetri (Furusawa et al., 1998; Holtschmidt et al., 1999). Exponerings- och avläsningspraktiska begränsningar samt kostnader gör dem mindre lämpade för massanvändning.

*Fördelar:* Måttligt pris, enkel användning

*Nackdelar:* Engångsbruk, hållbarhetsbegränsningar, kan ej avläsas direkt eller överhuvudtaget av användaren - som måste förlita sig på tillverkarföretaget.

En alternativ variant av bioteknisk UVB-dosimeter baserad på vitamin D-syntes har rapporterats i litteraturen (Galkin et al., 1999).

*Polysulfonfilm.* Filmdosimetrar med en polysulfon polymer har använts för dosimetriska applikationer och för persondosimetri sedan mer än 20 år (Davis et al., 1976).

Filmen är vanligen monterad ungefär som en diabild i en liten pappram och kan t ex bäras fäst på en krage. Tekniken baseras på att polysulfonfilmens UV-absorption ökar efter exponering för UVB-strålning (CIE, 1992; Diffey, 1989). Absorptionen, mätt med en spektrofotometer vid 330 nm före och efter exponering, ger ett mått på erytemdosen som filmdosimetern exponerats för.

Tekniken har använts för mätning av UV-exponering och för persondosimetri i en rad olika sammanhang, bl a UV-exponering av arbetare i en industri (Diffey et al., 1986). För bedömning av UV-exponering gentemot en given typ av UV-källa och spektralfördelning måste kalibrering gentemot en annan UV-mätare (kalibrerad spektroradiometer) ske.

Filmdosimetrar är lämpade för persondosimetri och kollektiv persondosimetri.

Pris: 10-15 Kr /st.

*Fördelar:* Lågt pris, lätt att bära, kan utvärderas i eget laboratorium (med spektrofotometer) och kan kalibreras spektroradiometriskt mot en viss strålkälletyp.

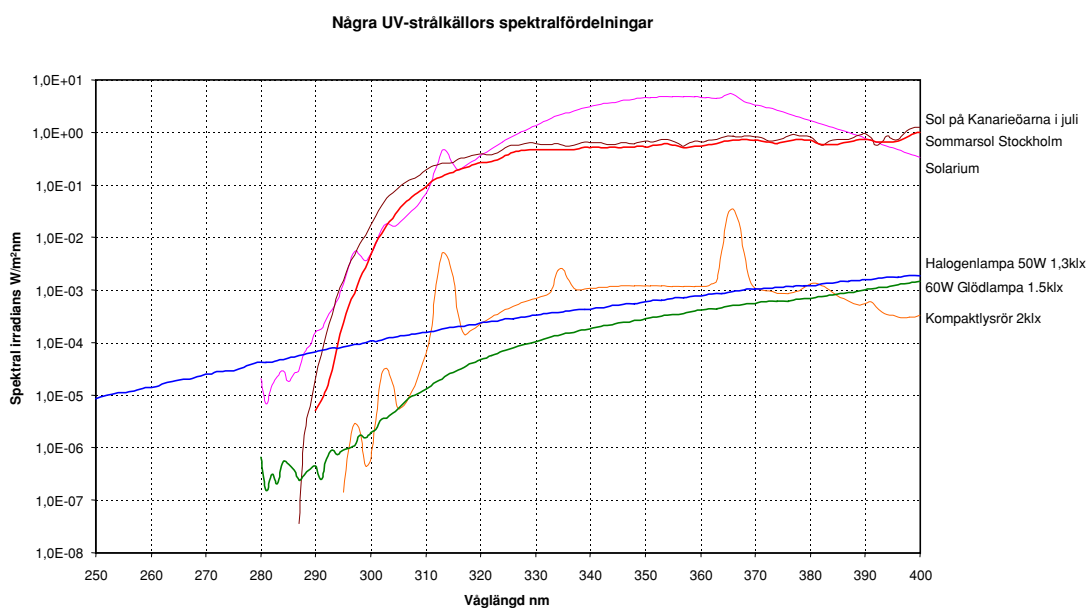
*Nackdelar:* Spektral känslighet som inte stämmer med t ex hudens eller aktionspektrum för riskanalys av UV-strålning. Ej tillräckligt billigt eller praktiskt för stora massundersökningar.

*Färgindikatorer.* En rad olika typer av remsor och märken som ändrar färg efter viss UV-exponering marknadsförs. De är avsedda som konsumentprodukter och för indikering av överexponering från solens UV-strålning t ex på stranden och är relativt billiga. De är svåra att kalibrera och ibland även att avläsa vid tillämpningar där absolut bestämning av exponering är önskvärd.

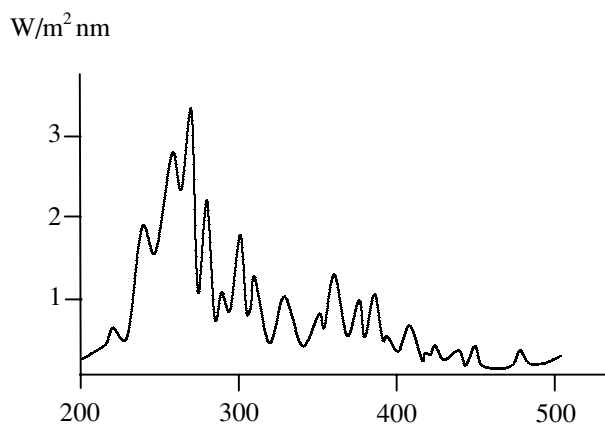


## Källor till ultraviolett strålning

Nedan visas spektral irradians från ett urval av UV-källor. I efterföljande text och i tabellerna 7-10 finns fler exempel och uträknat även de maximala tider som rekommenderas enligt den allmänna strålskyddsgränsen given av ACGIH, ICNIRP och SSI (FS1990:1).



**Figur 9.** Några UV-källors spektralfördelning.



**Figur 10.** Elektrosvets MAG, olegerad  $ArO_2$ , 250 ampère, avstånd 0,5 meter. Maximal exponeringstid 0,5 sekunder (Eriksen, 1986). Fler svetspektrum finns t ex av Sutter (Sutter et al., 1972) och i en översiktlig sammanställning av Sliney & Wolbarsht (Sliney et al., 1980).

Bakteriedödande lysrör som ofta används i bakteriologiska laboratorier och som introduceras alltmer i operationssalar har en huvudlinje vid 254 nm. Vilka exponeringsvärden som uppstår beror naturligtvis på avstånd, antal rör och prestanda hos eventuella reflektorer. För att skapa ozon krävs dock strålning med kortare våglängder än 242 nm.

Lysrör av UVA-typ används ofta som sollampor. Eftersom sollampor oftast innehåller en ramp med rör som har stor yta blir avståndsberoendet litet på små avstånd. Maximal exponeringstid för enkla hemsolarier är normalt ca 1 timme (Wester, 1981b). Den uträknade tiden är gjord enligt den tidigare vägningskurvan upp till 315 nm. För en extrem UVA-källa som denna blir tiden väsentligt kortare om man väger upp till 400 nm.

Medicinska behandlingar för t ex psoriasis utförs med lysrör som avger både UVA och UVB. Maximal exponeringstid (MPET) är vanligen runt 5 sek (Wester, 1981b). Verkliga behandlingstider kan variera från 10-15 sek som förstagångsbehandling till slutligen ca 1,5 – 3 minuter.

MPET för en vanlig halogenlampa utan skyddsglas är ca fyra timmar. Det finns halogenlampor med glasreflektorer som absorberar ultraviolett och därmed ger mer ljus i förhållande till den ultravioletta strålningen. En typisk maximal exponeringstid för en sådan lampa vid 1000 lux är 20 timmar. Med ett filter av vanligt glas framför lampan elimineras UV-exponeringen helt (Wester, 1991).

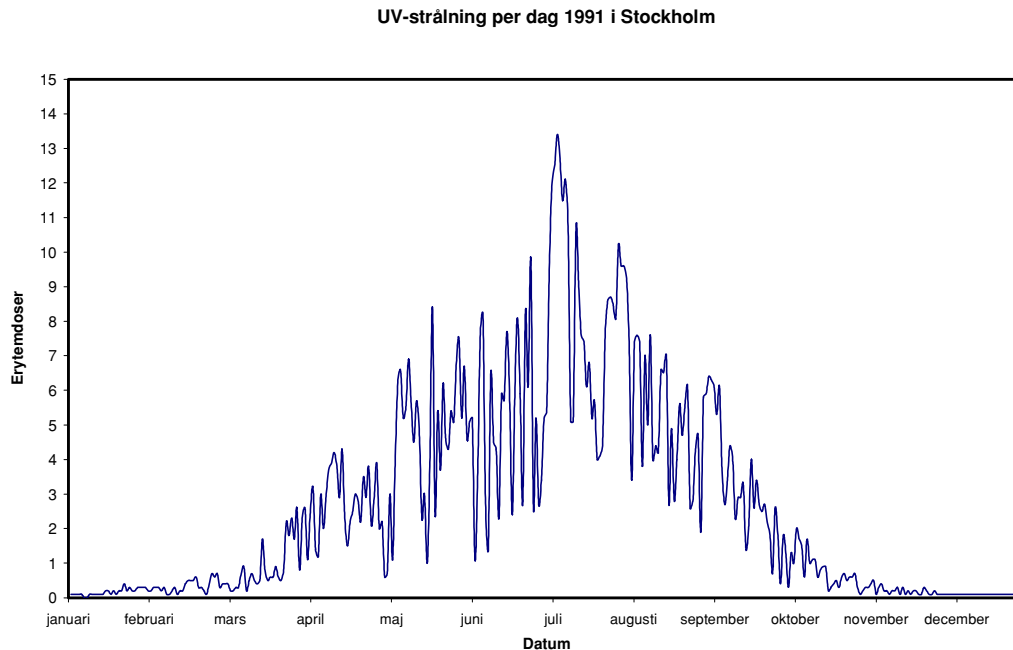
Strålskyddsinstitutet har gjort bedömningen att realistiska exponeringssituationer inte medför sådana risker att det finns anledning att utfärda förbud. Institutet har dock gått ut med en officiell rekommendation att inte använda nakna halogenlampor som arbetsbelysning, där man kanske blir exponerad hela arbetsdagen. Eftersom det finns alternativ teknik som har samma funktion (vanliga glödlampor) är det klokt att ta bort en onödigt strålkälla. Liknande bedömningar har gjorts på andra håll, t ex NRPB (McKinley et al., 1989).

## **Solen och UV-index**

Solen ger förutom ljus och värme ultraviolett strålning. Ozonskiktet i stratosfären samt klimat och väderförhållanden begränsar den UV-strålning som når jordytan. Ozonskiktet påverkar huvudsakligen kortvågig energirik UVB-strålning. Variationer i ozonskiktet och vädret medför att mängden UV-strålning som når jordytan ändras från dag till dag. Dygns och årstidsförändringar påverkar dock UV-instrålningen mest (Fig. 11).

Ozonskiktet påverkas sedan flera år av mänskliga utsläpp av ozonnedbrytande kemikalier (AMBIO, 1990). En koppling till växthuseffekten finns också. Normalt varierar ozonskiktets tjocklek mycket under senvintern och våren t ex i samband med väderomslag. Stora variationer allt senare på våren och in på försommaren kan medföra skillnader från en solig dag till en annan när det gäller hur mycket ultraviolett strålning ozonskiktet släpper igenom. Aktuell information om ozonskiktet finns på SMHI:s hemsidor ([www.smhi.se](http://www.smhi.se)).

Under 1980-talet hade forskare upptäckt en säsongsmässig men progressiv extrem uttunning av ozonskiktet över Antarktis på södra halvklotet till följd av ozonnedbrytande kemikalier i atmosfären. Orsaksmekanismerna till det antarktiska "ozonhålet" studerades intensivt av atmosfärfysiker, -kemister och meteorologer. I början av 1990-talet noterades även på norra halvklotet dramatiska episoder med uttunnningar av ozonskiktet - även i Sverige.



**Figur 11.** Antal erytemdoser (MED) per dag under årets månader i Stockholm år 1991, (Wester, 1993). SSI har under några år kontinuerligt mätt UV vid sidan av ett nät av fem mätstationer som tillkom bl a genom SSI men som sköttes av SMHI i Norrköping 1990-1996. Mera soldata finns i rapporter av Josefsson (Josefsson, 1986; Josefsson, 1996; Josefsson, 1997). En allmän översikt, "Interaktiva solråd" om solstrålningen mot jorden, ozonlagret mm, finns på SSI:s hemsidor ([www.ssi.se](http://www.ssi.se)). En översikt, ges av Diffey (Diffey, 1991). I Stockholm har SSI mätt UV-strålning i solljuset sedan 1989. Dagsaktuella värden för UV-index finns på SSI:s hemsidor.

De globala hälso- och miljöeffekter som skulle kunna inträffa till följd av ökad UV-instrålning i samband med en långsiktig uttunning av ozonskiktet har studerats och beräknats av en expertpanel vid FN:s miljöorganisation United Nations Environment Programme (UNEP) och har återkommande sammanfattats sedan 1989 i rapporter från UNEP "Report on Environmental Effects of Ozone Depletion" (AMBIO, 1995).

På 2 400 meters höjd över havet på Kanarieöarna på försommaren mitt på dagen är MPET ca 10 min (Wester, 1987). I Stockholm vid midsommartid är motsvarande exponeringstid ca 25 minuter.

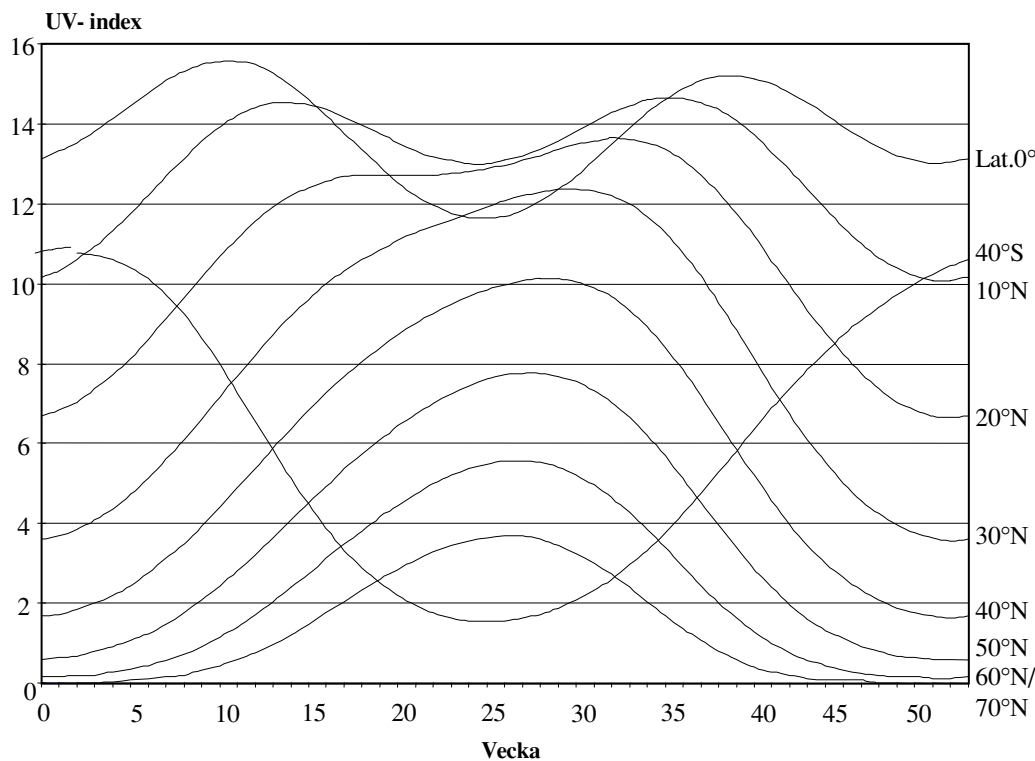
Ett mått på solstrålningens styrka som sedan 1993 publiceras gemensamt av SSI och SMHI är *UV-index*. UV-index är ett led i en långsiktig kampanj för att

förebygga solskador och hudcancer, särskilt malignt melanom. Det svenska UV-indexet är framtaget av SMHI på uppdrag av SSI, och sedan 1995 internationellt harmoniserat enligt rekommendationer från bl a WHO (World Health Organization), WMO (World Meteorological Organization), UNEP (United Nations Environmental Protection) och ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection; (ICNIRP, 1995).

UV-index är meteorologiskt grundade prognoser en dag i förväg för styrkan av solens erytemeffektiva UV-strålning när den är som intensivast under dagen. Vanligen inträffar detta när solen står som högst d v s mitt på dagen. Lågt UV-index innebär låg UV-strålning och därmed mindre risk för skador.

UV-index är ett siffermätt för solens hudskadande verkan (erytemeffektivitet) och definieras som  $40 \times E_{\text{eff}}$ , där  $E_{\text{eff}}$  är biologiskt effektiv UV-strålning (se sid 3) vägd enligt CIE:s referensaktionsspektrum för huderytem (CIE, 2000b; ICNIRP, 1995).

Vid klar himmel är UV-index i Sverige 4-7 och under den mörka årstiden (nov-feb) vanligen under 2. På sommaren vid Medelhavet är UV-indexet högt, mellan 7-10, och vid ekvatorn kan mycket höga UV-index, >10, förekomma året runt. UV-index ger svar på hur solstrålningens styrka påverkas, främst av tid på dagen och året, plats på jordklotet (Fig. 12) molnighet och ozonskiktets tjocklek.



**Figur 12.** Typiska säsongsmässiga och latitudinella UV-indexvärden för horisontella ytor och normala ozonnivåer för respektive latitud och årstid (Wester et al., 1997).

Tabell 6 anger ungefärlig säker tid i solen för personer som har känslig hud men som kan bli bruna (hudtyp II).

**Tabell 6.** Säker tid i solen gällande personer med känslig hud men som kan bli bruna.

UV-index	0 – 2*	2 – 4*	4 – 7*	7 – 10	10 +
Styrka	Minimal	Låg	Måttlig	Hög	Extrem
Soltid	Hela dagen*	1-2 tim*	30-60 min*	15 – 30 min	5 – 15 min

\* Med snötäckt mark och mot solen gäller ungefär dubbla UV-index och hälften av den angivna soltiden.

Informationen om UV-index finns tillgänglig för media och allmänhet på SMHI:s hemsidor ([www.smhi.se](http://www.smhi.se)) under ”prognoser”, under ”Klimat & Miljö” eller via länk från SSI:s hemsida [www.ssi.se](http://www.ssi.se). Där finns rikstäckande prognoser i tabellform och lokala prognoser med illustrativa grafer för olika regioner i Sverige. Det finns även uppgifter för resenärer till områden vid Alperna, Medelhavet och Kanarieöarna. Mer information och tips om solskydd och solstrålning, t ex i samband med resor, finns att hämta från SSI:s hemsidor och ”Interaktiva solråd”. Solråden är en informationssatsning i samarbete mellan SSI, Cancerpreventiva enheten vid Karolinska sjukhuset, Arbetsmiljöverket, Cancerfonden och Folkhälsoinstitutet.

### Historiska mätningar av UV i solljuset

Det förekom redan vid 1900-talets början ett internationellt samarbete med att mäta och jämföra UVB-strålning i solljuset. UV-strålningens beroende av latitud, höjd över havet och variation på grund av atmosfäriska förhållanden studerades. Fotoelektriska kadmiumceller med filter och elektrometrar användes på 1920-talet för att mäta UV-strålningen i solljuset på flera platser i Europa - i synnerhet vid olika högt belägna kurorter i Schweiz. En fotoelektrisk cell med kadmium eller kaliumkatod laddades upp till en referensspänning och sedan mättes urladdningsförloppet med en galvanisk elektrometer när cellen exponerades för solens UV-strålning genom ett för cellen och spektralområdet valt optiskt filter. Internationella jämförelsekalibreringar utfördes vid ett centrum i Davos i Schweiz och mätningarna redovisades i sk ”Davos-enheter” (Wester, 1996). Mätningar företogs även i Assuan i Egypten och i Bandoeng i Indien. I Sverige mättes UV i solljuset 1926-27 på fem platser (bl a Abisko) i en studie av en forskare vid dåvarande SMHI och med finansiellt stöd av Sv. Antropologiska och Geografiska sällskapet (Aurén, 1929). I Finland gjordes också mätningar som var omfattande och väl dokumenterade (Lunelund, 1944; Lunelund et al., 1929).

## Yrkesexponering för UV-strålning från artificiella strålkällor

Utomhus är sol- och dagsljus en dominerande källa till exponering från ultraviolett strålning (Kivisäkk, 1987). Krav på ögonskydd specificeras i en serie av standarder (SS-EN-165, 1995; SS-EN-166, 2001; SS-EN-167, 2001; SS-EN-169, 1992; SS-EN-170, 1992; SS-EN-172, 2001; SS-EN-175, 1997; SS-EN-379, 1998; STG, 2000).

Artificiella UV-källor används i många olika applikationer och det finns ett flertal yrken där det kan uppkomma skador till följd av UV-strålning. Trots detta är den befintliga litteraturen begränsad. Yrkesmässig UV exponering förekommer vid:

- 1) *svetsning* från svetsljusbågar (innebär olika tekniker; Tabell 7),
- 2) *fotoprocesser* som innehåller fotokemiska komponenter och förutsätter bruk av intensiv UV-strålning vid olika maskiner i olika industrier (t ex ytbehandling av trä, metall, plast, eller elektronik (UV-litografi); (Tabell 8),
- 3) *UV lampor* (Tabell 9) i olika laboratoriemiljöer (används för sterilisering och desinfektion av ytor), i medicinsk *fototerapi* (behandling av psoriasis och eksem), inom geologi (mineraltestning), inom handeln (sedelkontroll) och för insektsbekämpning,
- 4) *materialavsyning* (Tabell 9) i metallindustrin – för att detektera sprickbildning och i matindustrin för att kontrollera kontaminering av bakterier (WHO, 1994),
- 5) *andra UV-applikationer* (Tabell 10), vilket omfattar *solarium* – en viktig, men ofta glömd UV-källa för UV-exponering inom sk ”friskvård” på arbetsplatser. Dessutom förekommer användning av UV-laser (som har emissionslinjer i UV-området) inom forskning och industri. UVB-lampor används vid plantfysiologiska undersökningar av hur förändringar av ozonskiktet påverkar grödor och olika växter. På diskotek används UVA-lampor för fluorescenseffekter.

Till yrkesmässig UV exponering kan även räknas allmän belysning från t ex lysrör, men enligt litteraturen orsakar det ingen hälsorisk (James et al., 1987; McKinlay et al., 1987b; Paulsson, 1979).

Några exempel på UV exponering för artificiella UV-källor för olika yrkesgrupper och olika arbetsmiljöer har sammanställts i tabell 5-8. Störst risk för att skada hud eller ögon förekommer vid exponering för UV-emission från svetsljusbågar, från olika kraftiga UV-lampor och UV-processer. I tabeller har beräknats acceptabel exponeringstid mot hygieniska riktvärdet ( $30 \text{ J m}^{-2}$  inom 24h). Om avstånd mellan UV-källa och mätpunkt saknas avses arbetsområdet. Tabellerna nedan kompletteras i vissa fall med ytterligare förklarande text.

I många fall vid yrkesmässig exponering finns inte bindande gränsvärden men väl olika rekommendationer för antingen enbart UV-strålning (SSI, 1990) och

ibland även för annan optisk strålning som kan medföra t ex risk för s k ”blåljusskada” eller ”näthinnebrännskada”(IEC, 1999).

### *Svetsning*

Svetsljusbågar ger på nära håll höga UV-exponeringar som kan ge upphov till akuta hud- och ögonskador om inte lämplig skyddsutrustning används. Det finns en omfattande litteratur om UV-exponering vid olika sorters svetsning (Glansholm, 1996; Hurup, 1996; Okuno et al., 2001; Östberg et al., 1976). Tabell 7 ger några exempel.

**Tabell 7.** Svetsning, operatör.

UV-källa eller aktivitet	Exponeringstid
	MPET*
Plasmaljubåge (avstånd 1,0 m)	1 s
Reflekterad plasmaljus (1,0 m)	1 min
MAG svetsning (0,6-2 m)	1,5 s-5 min
MIG svetsning, tändning (1,0 m)	0,1 –0,3 s
TIG svetsning (1,0 m)	0,3-10s
Al svetsning (operatörsavstånd)	0,2-10 s
Lasersvetsning (0,5 m)	0,4 s - >8 h

\* MPET= Högsta tillåtna exponeringstid för att inte överskrida hygieniska riktvärdet, (s k ACGIH tid).

### *Fotoprocesser och maskiner*

Maskiner med starka UV-källor för processbearbetning (Tabell 8) är ofta kapslade men kan ha såväl inspektionsfönster som ljusläckor från hål och springor (Surakka et al., 1997). Maskiner skall märkas och kategoriseras med avseende på sina ev strålningsegenskaper (EN, 2000).

**Tabell 8.** Fotoprocesser och maskiner.

UV-källa eller mätpunkt	Exponeringstid
UV-lackering (träindustri), lampeffekt 60 kW, runt UV-ugnar:	<b>MPET</b>
Ingång och utgång	2 s-4 min
Springor och hål (avstånd 0,1 m)	2 s-10 min
Arbetsområdet (0,5-0,8 m)	1 min-11 h
Under oskyddad UV-ugn (0,5 m)	2 s
Maskiner, CD spincoater (Operatör)	1 h
Tryckeri, fotokopiator, 8 kW (1 m)	45 min- >24 h

### Materialavsyning

Vid materialavsyning med UVA-strålning används ofta gasurladdningslampor av högtryckstyp med metallhalogentillsatser för att lättare kunna detektera t ex sprickbildning i gods efter att det behandlats med fluorescerande ämnen. Lamporna har som regel filter för UVC- och UVB. Om sådan materialavsyning ska fungera även vid normala belysningsnivåer, krävs effektstarka UV-lampor som i styrka väl kan motsvara t ex solarier. Utan avskärmningar eller skyddsutrustningar kan sådana lampor inom några timmar medföra exponeringar som överskrider hygieniska riktvärdet  $30 \text{ J m}^{-2}$ . Ofta kan en bättre filtrering av onödig UVB-strålning sänka exponeringsnivåerna utan att funktionen äventyras (Tabell 9).

**Tabell 9.** UV-lampor inom industri, kvalitetskontroll, forskning och vård.

UV-källa eller aktivitet	Exponeringstid
	<b>MPET</b>
UV-lampa för kvalitetskontroll (avstånd 0,4-0,5 m)*	12 min-5 h
UV-handstrålkastare för läcksökning (0,4 m)	6 min
UV från tandläkarlampor (0,01-0,05 m)**	3-5 h
UV-boxar	8 s-5 min
Desinficerande UV-lampa vid dragskåp, olika former och situationer	28 s-1,4 h
Bakteriedödande lysrör 15W (0,01 m)	2-3 s
Lysrör för medicinska behandling (ytan på röret)	5 s
Fototerapi lampa, ej innesluten (1 m)	< 2 min
Hudklinik, UVA-rum (personalarbetsplats)	>24 h
Hudklinik, UVB-rum (personalarbetsplats)	>24 h
Hg-lampa med trasig ytterkolv 400 W,(0,5 m)***	<10 s

\*(Östberg et al., 1976)

\*\* (Glansholm, 1985)

\*\*\* (SSI, 1986)

### Belysning

UV-exponering från allmänbelysning ger sällan akuta skadeeffekter utom vid skador på skyddsglas i armatur eller ljuskälla (SSI, 1986), eller i sällsynta fall vid extrem ljusöverkänslighet (exempel "erytropoetisk" porfyri). Olika typer av belysningar kan dock ge olika mycket UV-strålning och årsdoser från allmänbelysning varierar från mindre än enstaka MED (eller SED) upp till tiotals MED (flera tiotals SED).

Årsexponering vid en belysningsnivå av ca 1 000 lux (stark kontorsbelysning) och ca 200 arbetsdagar om 8 timmar kan beräknas baserat på olika mätdata. Glödlampsbelysning ger minst UV-strålning (mindre än 1 MED). UV-strålning från lysrörsbelysning kan variera avsevärt men har ofta mätbara nivåer som kan ge ca 2-20 MED/år (4-40 SED). En svensk studie vid SSI av UV från belysningslysror (Paulsson 1979) visade på en mycket stor spridning av ACGIH-beräknade TLV-tider (MPET). Alla lysrör låg över eller väl över 8h vid 1 000 lux (med ett



enstaka undantag på 6h), (Paulsson, 1979). Risker för sena skador (hudcancer) från UV i allmänbelysning med lysrör har uteslutits (CIE, 1993; ICNIRP, 1990).

Halogenglödlampor kan ge högre exponeringar än lysrör, men det beror i hög grad av belysningens utförande. Halogenglödlampor kännetecknas av att de har en relativt hög glödtrådstemperatur som ger ett gott ljusutbyte, men som också ger relativt mer kortvågig UV-strålning och dessutom kräver att lampkolven utförts i kvartsglas. Det är mer värmetåligt än de glaskvaliteter som normalt används för vanliga glödlampor, men har i motsats till dem hög transmission för såväl UVA- som UVB- och UVC-strålning. Direkt ljus från halogenglödlampor utan extra filterglas och i armaturer med metallreflektor kan vid 1 000 lux ge upp till ca 80 MED/arbetsår. Halogenlampor i s k ”dichroisk” glasreflektor och med frontglas ger bara enstaka MED/arbetsår. Moderna halogenglödlampor för belysningsändamål tillverkas ofta med UV-blockerande filterbeläggningar för att reducera UV-emission.

#### *Sedeldetektorer*

I dagligvaruhandel används ofta s k sedeldetektorer med UVA-strålning för att t ex kassapersonal ska kunna kontrollera sedlars äkthet. Vid normala installationsavstånd och användningsförhållanden medför sådana apparater ingen ökad UV-exponering utom möjligen för händer och fingrar. Dock torde knappast det hygieniska riktvärdet  $30 \text{ J m}^{-2}$  överskridas. Ofta kan utrustningarna enkelt förses med extra skyddsfiler av en UV-absorberande glasklar plastskiva – om de inte redan är så konstruerade.

#### *Insektsfällor*

Insektsfällor med UVA-strålning som ”lock-ljus” förekommer i många arbetsmiljöer, t ex djurstallar eller kaféer. Hygieniska riktvärdet  $30 \text{ J m}^{-2}$  kan överskridas tätt intill, men ej på några meters avstånd. Placeringen av insektsfällor med UV-lampor bör normalt vara sådan att människor eller djur ej konstant vistas nära dem. För insektsfällor med UV-lampor finns i Europa en teknisk säkerhetsstandard ”Särskilda fordringar på insektsbekämpare” (SS-EN-60335-2-59, 2001) där riskbedömning ska göras enligt vägningskurvan från ICNIRP och som även tillämpas i Statens strålskyddsinstitutets allmänna råd om hygieniska riktvärden för ultraviolett strålning (SSI, 1990).

#### *Bildskärmar*

Bildskärmar har i många år varit en källa till oro inom arbetslivet, men någon UV-strålning av betydelse avger de inte (Tabell 10). SSI har mätt UV-strålning från bildskärmar. Enbart långvågig UVA kan registreras - mindre än från en vanlig glödlampa. Slutsatsen var: ”De uppmätta resultaten ligger väl under de hygieniska riktvärdena”, (Paulsson et al., 1984).

**Tabell 10.** Övriga UV-källor och belysning (kontorsarbetare, etc).

Mätpunkt eller UV-källa	Exponeringstid
	MPET*
Bordslampa, halogen (12V, 50W) <sup>#</sup>	>24 h
Bordslampa, halogen (12V, 50W) <sup>##</sup>	4 h
Sollampor och solarier	2-3 min
Spotlampa, halogen 20-50 W (avstånd 1,0 m)	20 h
Inomhusbelysning, lysrör	ca 8h - >>24 h
Bilfabrik, stark lysrörsbelysning (kvalitetskontroll av nymålade bilar)	>24 h
Insektlampa 2*20W (0,5-1 m)	8-24 h
Sedelkontrolllampa 4-10W (0,08-0,5 m)	2 h - >>24 h
Glödlampa, 60W (vid 1000 lux)	>>24 h
Bildskärmar	>>24 h

<sup>#</sup> Lampa integrerad med glasreflektor och frontglas

<sup>##</sup> Ofiltrerad, i metallreflektor

### Övrigt - Företagssolarier

Var tionde solbrännskada inträffar i ett solarium enligt en studie i storstadsregionen Stockholm (Boldeman et al., 2001). Omräknat till hela Sverige innebär det att uppskattningsvis 300 000 människor bränner sig i solarier varje år.

Solarier på företag är antagligen en förbisedd form av ”yrkesexponering” som kanske är mer omfattande än annan yrkesmässig artificiell UV-exponering och minst lika omfattande som all övrig solarieexponering. Det finns i landet ca 8 000-9 000 helkroppssolarier på svenska företag att användas för ”friskvårdsändamål” av företagets personal, d v s totalt lika många som finns öppet tillgängliga för allmänheten i gym, simhallar, hotell etc (> 5 000) och i professionella solstudios (3 500) - enligt uppgifter från Sv Solarieförening. Sammanlagt finns och används kommersiellt ca 16-18 000 helkroppssolarier i Sverige (”företagssolarier” + ”offentliga solarier”). Därutöver uppskattar man att det finns ca 50 000 privata solarier och sollampor i hem etc - men de används troligen inte lika mycket.

Vid användning av ett solarium överskrider alltid hygieniska riktvärden för ultraviolett strålning – ofta redan inom ett par minuter. Solariet är ju avsett att ge en påverkan på huden, d v s att göra den brun. I Sverige finns bestämmelser om solarier och gränsvärden för UV-strålning från solarier (SSI, 1998).

Det säljs i landet nästan en halv miljon solarielysrör i fullängdsutförande om året. Lysrörsfabrikanterna rekommenderar att rören byts efter ca 500-800 timmar, men de har en teknisk livslängd som är flera tusen timmar. Med typiska solarier och 12+12 rör i varje motsvarar förbrukningen av solarierör ca 10 halvtimmar i solarium för 25 procent av hela svenska folket (Wester, 2000b; Wester et al., 1999). OBS att ca hälften av den UV-exponeringen sker i svenska företag.

Med hänsyn till att större kroppsytta exponeras i ett solarium än vid nästan varje annan UV-exponering på arbetsplatser domineras antagligen arbetstagares

UV-exponering av "företagssolarier". Olycksfall och brännskador har även dokumenterats i samband med felaktiga solarier på företag. Solarier på företagen omfattas ej av ordinarie arbetarskyddsrutiner eller några andra säkerhetsinspektioner eller -rutiner.

## Hälsoeffekter av UV-strålning i samband med yrkesarbete

Litteraturen inom detta område är begränsad och få review artiklar från det senaste deceniet inkluderande yrkesmässig exponering har påträffats (Elwood et al., 1997; Gallagher et al., 1994; IARC, 1992; WHO, 1994). De epidemiologiska studier som publicerats har skiftande kvalitet och flera resultat i studier som fått stor uppmärksamhet i vetenskaplig press och massmedia har senare kommit att förkastas på grund av metodologiska felaktigheter som, då de rättats till, kraftigt reducerat eller helt uttraderat rapporterade överfrekvenser av t ex hudcancer i olika former. Nedanstående sammanställning gör inte anspråk på att vara en fullständig genomgång av litteraturen men tar upp studier av hälsoeffekter från ett flertal relevanta yrkeskategorier.

### UV-exponering vid utomhusarbete

Icke-melanom hudcancer är vanligast hos utomhusarbetare med hög solexponering som lantbrukare och sjömän (Urbach et al., 1974). Den relativa risken för att drabbas av malignt melanom till följd av yrkesmässig UV-exponering via solstrålning i väl utförda studier överstiger ej 2,0 (Krickler et al., 1994).

Författarna uppger att studier som rapporterat högre riskestimat inte justerat för bl a ålder och ärftliga faktorer och att resultaten därför är missvisande. I en metastudie (Elwood & Jopson, 1997) befanns risken för hudmelanom efter hög yrkesexponering för UV-strålning vara sänkt (OR 0,86) medan intermittent exponering medförde en förhöjd risk (OR 1,71). Dessa förhållanden gäller i stort även för basalcellscancer medan risken att drabbas av skivepitelcancer ökar vid ökande exponering.

Vid överförandet av resultat rapporterade i internationella studier till svenska förhållanden är det av stor vikt att justera för de skillnader i risk som finns mellan personer med olika hudtyper (Kelly et al., 2000).

Piloter har ibland påstått vara utsatta för förhöjd yrkesmässig exponering för UV-strålning och en onormalt hög frekvens malignt melanom. I en meta-analys (Ballard et al., 2000) påvisades en något förhöjd risk för melanom vilken dock får antas bero på icke yrkesmässig UV-exponering då UV-nivåerna under flygning påvisats vara negligerbara (Diffey et al., 1990).

Beträffande malignt melanom noteras i en rapport (Pollan et al., 1999) hos Socialstyrelsen två yrkesgrupper (fyrvaktare-slusskötare och militärer) där yrkesexponering snarare än fritidsexponering skulle kunna spela roll för ökad incidens. I övrigt bekräftar rapporten tidigare studier. I motsats till de flesta andra tumörer är malignt melanom-incidens vanligare bland personer med hög "socio-ekonomisk" status och att intermittent exponering av ljus hy för starkt solljus tycks vara en betydelsefull riskfaktor, medan ingen ökad risk kan noteras för yrken medförande utomhusarbete. Möjligen kan detta delvis förklaras genom en "självslektering" av tåliga individer till sådana yrken (NRPB, 2002).

Vad gäller skivepitelcancer noteras att det är oväntat och slående att även ett antal inomhus yrken med s k hög socio-ekonomisk status löper ökad risk - i likhet med utomhusyrken och vad som kunnat förväntas enligt tidigare studier.

### **Artificiella UV-källor**

#### *Svetsning*

Vid elsvetsning, men mer sällan vid gassvetsning, kan höga nivåer av UV-strålning uppkomma vilket inducerar fotokeratit (svetsblänk) och erytem (hudrodnad) (Eriksen, 1987).

En högre frekvens kroniska hornhinneförändringar har rapporterats bland japanska svetsare (Karai et al., 1984). En ökad andel skador i de främre delarna av ögongloben har dessutom konstaterats hos anställda som jobbar nära svetsarbete men som själva inte svetsar (Barth et al., 1990). Ögonexponeringen var i den studerade gruppen ca åtta gånger högre än i den svetsande gruppen.

#### *Lysrör*

Risken för uppkomst av malignt melanom på grund av lysrörsexponering rapporterades första gången 1982 (Beral et al., 1982). Risken rapporterades vara högre vid sådan exponering än vid utomhusarbete. De studerade melanomen observerades dock inte på delar som normalt ljusexponerades utan på bålarna, vilket förutsätter en indirekt mekanism. Den sammantagna bilden är att lysrörsljus inte utgör någon allvarlig risk för uppkomsten av melanom och att den högre frekvensen sannolikt står att finna i andra levnadsfaktorer hos lysrörsexponerade arbetstagare kopplade till direkt solexponering. Vistelse i normalt lysrörsljus under ett 50-årigt arbetsliv har beräknats öka alla typer av risker associerade med UV-strålning med maximalt 4 procent (Lytle et al., 1992). CIE har låtit studera den vetenskapliga litteraturen om lysrörsexponering och MM, men inte kunnat belägga något samband (CIE, 1993).

#### *Personal vid medicinska ljusbehandlingar*

Medicinsk personal som utför ljusbehandling har beräknats löpa en 25 procent ökad risk att drabbas av icke-melanom hudcancer under 40 år långt arbetsliv. Det bör observeras att rekommenderade exponeringsbegränsningar i Statens strålskyddsinstitutets allmänna råd om hygieniska riktvärden för ultraviolett strålning (SSI, 1990) för ljusbehandlingspersonal gäller som tvingande gränsvärden och inte enbart som rekommendationer enligt SSI:s föreskrifter om solarier (SSI, 1998).

### *Kemikalier*

I en studie av totalt 400 fall konstaterades att trots att den huvudsakliga orsaken till skivepitel- och basalcellscancer är UV-strålning från solen kan andra exponeringsfaktorer utgöra en bidragande orsak (Gallagher et al., 1996). Efter justering för ålder, hud- och hårtyp, moderns etniska ursprung samt exponering för solljus fann forskargruppen att insekticider, herbicider, fungicider, petroleumprodukter ökade risken för skivepitelcancer medan glasfiberdamm och vissa kemtvättspreparat ökade risken för basalcellcancer.

### *Bildskärmar*

Bildskärmar har rapporterats avge samma nivåer UVA-strålning som lysrör och sterillampor. Behov av att skärma av UV-strålning från bildskärmar har föreslagits (Ettler, 1993; Matusiak et al., 1994) medan Paulsson och IRPA (IRPA/INIRC, 1991; Paulsson et al., 1984) konkluderar att UV från bildskärmar är försumbar och att bildskärmsarbete rapporterats medföra lägre UV-nivåer än normalt på grund av att dagsljuset oftare skärmas av vid sådant arbete.

### *Odefinierad yrkesexponering*

Ett samband mellan yrkesmässig UV-exponering vid utomhusarbete och individer med fler än en diagnostiserad hudcancer av icke-melanomtyp har rapporterats i en spansk studie (Morales Suarez-Varela et al., 1992). Sambandet med UV-strålning under fritiden var svagare.

## Standarder

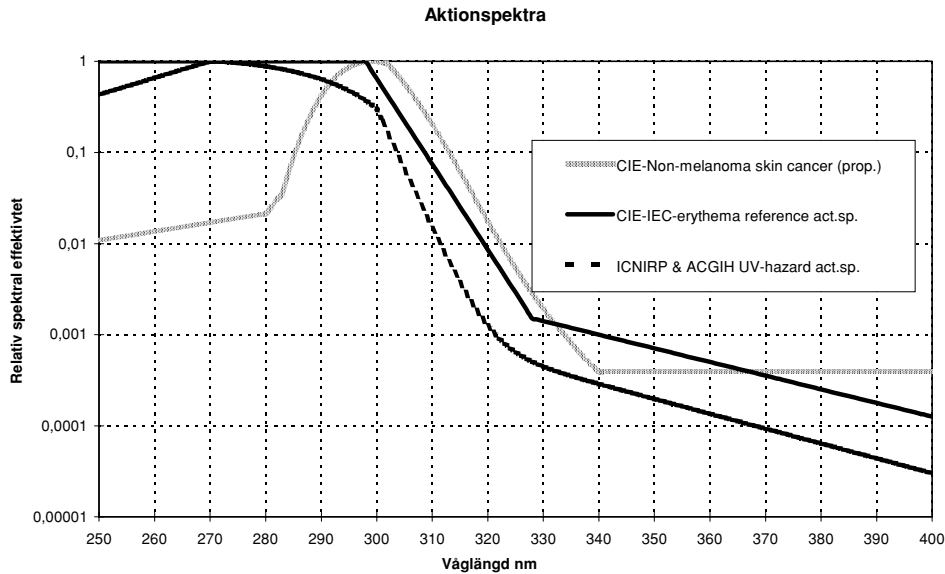
### *Erytem*

Den första strålskyddskurva som fick någon betydande spridning skapades redan 1935 genom CIE, baserad på Haussers & Vahles arbete (1927). Den avsåg akut erytem och täckte våglängdsområdet 250-320 nm. Denna kurva stod sig gott i många år även om den aldrig blev officiellt antagen av CIE. En snarlik kurva antogs så sent som 1979 i en DIN-standard (DIN, 1979).

Under senare hälften av 1980-talet hade man samlat så mycket resultat att det blev möjligt att sträcka ut kurvan till att täcka området 250-400 nm (Fig. 13). Det fanns några olika kurvor som tagits fram oberoende av varandra, men egentligen avsåg de samma sak. Vid en konferens i Amsterdam 1987 enades man om en standarderytemkurva efter förslag i ett arbete av McKinley och Diffey (McKinley & Diffey, 1987a). Denna är nu en CIE-standard (CIE, 1998). Termen standarderytem-kurva är diskutabel. Man bör snarare använda referenserytemkurva eftersom flera sträckningar är möjliga, särskilt i området kortare än 300 nm. Skillnaderna beror på vilken grad av erytem man studerar och vid vilken tid efter exponeringen man undersöker vad som hänt. Det blir således olika resultat om man studerar effekterna exempelvis omedelbart, efter 8 timmar eller efter 24 timmar (Parrish, 1982).

### *Allmänt strålskydd*

En mycket ofta använd och åberopad kurva handlar inte enbart om erytem. Det är en allmän strålskyddskurva som tar hänsyn till att även ögon kan bli exponerade. Vi har här en summakurva som tar hänsyn till båda organen (Sliney, 1972). Kurvan vann snabbt vidsträckt acceptans via ACGIH och ICNIRP. Den täckte från början våglängdsområdet 200-315 nm (ACGIH, 1988), men har utökats och omfattar nu området 180-400 nm, Fig. 13. Denna kurva ingår för närvarande i Statens strålskyddsinstitutets författningssamling i form av allmänna råd för begränsning av exponering för UV (SSI, 1990). Löftet bakom den allmänna strålskyddskurvan och dess kriterievärde ( $30 \text{ J m}^{-2}$  under en 24-timmarsperiod) är att, om kriteriedosen inte överskrids, ingen som helst observerbar akut effekt kommer att uppstå. I solljus motsvarar den ”allmänna strålskyddskurvans kriterievärde”  $30 \text{ J m}^{-2}$  en exponering med ca  $90\text{-}100 \text{ J m}^{-2}$  vägt enligt CIE:s referensaktionsspektrum för huderytem, d v s ca en ”SED” ( $1 \text{ SED} = 100 \text{ J m}^{-2}$ ). Dubbla standarderytemdosen ( $2 \text{ SED}$  d v s  $200 \text{ J m}^{-2}$ ) ger ett svagt erytem.



**Figur 13.** Några olika strålskyddskurvor: ICNIRP:s och SSI FS 1990:1; CIE:s referensaktionsspektrum för erytem och CIE:s aktionsspektrum gällande hudcancer.

#### *Andra fotobiologiska aktionskurvor*

Solens ultravioletta strålning anses vara en av huvudorsakerna till uppkomsten av hudcancer hos människan. Hudcancer förekommer mest frekvent på mest exponerade hudpartier och är även kopplad till sammanlagd solexponering under livet.

Hudcancerkurvan för mushud (SCUP-m) är i sin tur ett aktionsspektrum som beräknats bäst överensstämna med utfallet av hudcancer hos grupper av möss vilka bestrålats med sinsemellan spektralt olika UV-strålkällor.

SCUP-h kurvan, i UVA modifierad till en rätlinjig funktion i ett logdiagram (Fig. 13), är inom standardiseringsorganisationen CIE föreslagen som standard-aktionsspektrum för hudcancer av skivepitel- och basalcellstyp (ej melanom) (CIE, 2000a). Vid sidan av de vanliga aktionskurvorna finns ett antal olika aktionsspektra för en rad fenomen. Exempelvis ger en DIN-standard aktionsspektrum (DIN, 1979) för fenomen såsom fotosyntes, klorofyllsyntes, bakteriedöd, direktpigmentering, och fotokeratit.



## Tabeller och formler

I denna del ges några tabellerade gränsvärden och formler.

**Tabell 11.** Allmänna strålskyddsvärden enligt SSI FS 1990:1; ICNIRP och ACGIH.

$\lambda$	EL (J m <sup>-2</sup> )	S( $\lambda$ )	$\lambda$	EL (J m <sup>-2</sup> )	S( $\lambda$ )
180	2500	0,012	310	2000	0,015
190	1600	0,019	313 *	5000	0,0060
200	1000	0,03	315	10000	0,0030
205	590	0,051	320	29000	0,0010
210	400	0,075	325	60000	0,00050
215	320	0,095	330	73000	0,00041
220	250	0,12	335	88000	0,00034
225	200	0,15	340	110000	0,00028
230	160	0,19	345	130000	0,00024
235	130	0,24	350	150000	0,00020
240	100	0,30	355	190000	0,00016
245	83	0,36	360	230000	0,00013
250	70	0,43	365 *	270000	0,00011
254 *	60	0,50	370	320000	0,000093
255	58	0,52	375	390000	0,000077
260	46	0,65	380	470000	0,000064
265	37	0,81	385	570000	0,000053
270	30	1,00	390	680000	0,000044
275	31	0,96	395	830000	0,000036
280 *	34	0,88	400	1000000	0,000030
285	39	0,77			
290	47	0,64			
295	56	0,54			
297 *	65	0,46			
300	100	0,30			
303 *	250	0,12			
305	500	0,060			

\* Karakteristiska våglängder hos en lågtrycks-kvicksilverlampa

För en strålkälla med flera våglängder gäller:

$$E_{\text{eff}} = \Sigma (E_{\lambda} \cdot S_{\lambda} \cdot \Delta\lambda)$$

$$EL = 30 \text{ J m}^{-2}$$

$$T = \text{MPET} = EL/E_{\text{eff}} = 30/E_{\text{eff}} \text{ (sekunder)}$$

Analytiska uttryck som för allt praktiskt bruk ger  $S_{\lambda}$ -värden värden i tabell 11 med tillräcklig noggrannhet är (Wester, 1981a; Wester, 2000a):

$$220 \leq \lambda \leq 270 \quad S_{\lambda} = 0,959^{(270-\lambda)}$$

$$270 < \lambda \leq 300 \quad S_{\lambda} = 1 - 0,36 \left( \frac{\lambda - 270}{20} \right)^{1,64}$$

$$300 < \lambda \leq 400 \quad S_{\lambda} = 0,3 \cdot 0,736^{(\lambda-300)} + 10^{(2-0,0163\lambda)}$$

( $\lambda$  skall uttryckas i nm)

$S_{\lambda}$ -värdena för CIE-kurvan ges av (CIE, 1998):

$$250 \leq \lambda \leq 298 \quad S_{\text{CIE}}(\lambda) = 1,0$$

$$298 < \lambda \leq 328 \quad S_{\text{CIE}}(\lambda) = 10^{0,094(298-\lambda)}$$

$$328 < \lambda \leq 400 \quad S_{\text{CIE}}(\lambda) = 10^{0,015(140-\lambda)}$$

( $\lambda$  ska uttryckas i nm)

**Tabell 12.** Några värden från CIE-kurvan.

$\lambda$ =Våglängd (nm)	$S_{\text{CIE } \lambda}$
250-298	1,0
300	0,65
310	0,074
320	0,0086
330	0,0014
340	0,00100
350	0,00071
360	0,00050
370	0,00035
380	0,00025
390	0,00018
400	0,00013

$$E_{\text{eff}} = \Sigma (E_{\lambda} \cdot S_{\lambda} \cdot \Delta\lambda)$$

$$1 \text{ SED} = 100 \text{ J}_{\text{eff}} \text{ m}^{-2}$$

## Sammanfattning

Nylén P, Bergqvist U, Fischer T, Glansholm A, Hansson J, Surakka J, Söderberg P, och Wester U. *Ultraviolett strålning och hälsa; ett kunskapsunderlag*. Arbete och Hälsa 2002:5. Arbetslivsinstitutet, Stockholm.

Ultraviolett strålning (UV) indelas vanligen i UVA, UVB och UVC. Den dos som ger upphov till en definierad skada kallas tröskeldos. Tröskeldosen plottad som funktion av våglängd benämns aktionsspektrum. Lämplig längsta expositionstid kan beräknas på basis av aktionsspektrum genom att addera de viktade doskomponenterna från varje våglängdsområde i en exponering. UV orsakar skador på lipider och proteiner i cellmembran och inne i cellen samt på DNA.

UV har flera olika skadeeffekter på huden som beror på intensitet, exponeringstid och våglängdsområde (UVA eller/och UVB). UV kan skada arvsanlagen i hudens celler samt orsaka hudrodnad, brännskador, elastos (förtjockad och rynkig hy) samt godartade och elakartade former av hudcancer. En liten andel av befolkningen har hud som är abnormt känslig för UV.

Hornhinnan blockerar all UV med kortare våglängd än 290 nm. Linsen filtrerar bort merparten av all UV mellan 290-400 nm. En överdos av UV mot ögat ger akut ögonlocksrodnad och svullnad och inflammatorisk reaktion i bindehinna och hornhinna som är reversibel inom 1-2 dygn. Om dosen är mycket hög uppkommer irreversibel grå starr. Långvarig exponering av ögat för UV är associerat till förändringar i bindehinnan, hornhinnan och linsen.

Iakttagelser att UV-strålning har en hämmande effekt på immunsystemet har gjorts såväl i djurexperiment som i studier på människor. Solljusexponering reducerade bl a mängden cirkulerande T-lymfocyter och naturliga mördarceller i blodet hos friska kontrollpersoner. De immunhämmande effekterna av UV-strålning kan tänkas ha negativa hälsoeffekter genom att nedsätta motståndskraften för infektioner samt eventuellt främja tumöruppkomst. Det föreligger en individuell variabilitet i känslighet för immunsuppression efter UVB-bestrålning. Den skyddande effekten av solskyddskrämer mot UV-inducerad immunsuppression är fortfarande otillräckligt studerad.

Tidigare ansatser att erhålla en bättre kontroll av yrkesmässig exponering för UV-strålning har försvårats av bristen på praktiskt och ekonomiskt försvarbara mätinstrument. Numera finns sådana instrument för mätning av absolutnivåer samt även olika former av billiga och tillförlitliga persondosimetrar vilket kan vara ett alternativ för övervakning av UV-exponering hos utsatta yrkesgrupper.

Den i arbetslivet mest frekventa exponeringen för UV-strålning är självfallet utomhusvistelse. Vid inomhusarbete kan dock exponering för väsentligt högre nivåer av UV-strålning uppkomma vid bristande avskärmning av ljuskällan i samband med UV-härdning av akrylatlackar, elektrosvetsning och lasersvetsning. Även lysrör för medicinska UV-behandlingar och ofiltrerade halogenlampor kan medföra höga nivåer.

## Summary

Nylén P, Bergqvist U, Fischer T, Glansholm A, Hansson J, Surakka J, Söderberg P, and Wester U. *Ultraviolet radiation and health*. Arbete och Hälsa 2002:5. National Institute for Working Life, Stockholm.

Exposure to ultraviolet radiation can cause adverse effects on skin, eyes, and the immune system. Some effects are acute - they appear after short duration of exposure to ultraviolet radiation. Such effects are erythema, increased pigmentation, photokeratitis and photoconjunctivitis. Other effects such as elastosis and certain forms of skin cancer are regarded as irreversible and appear after chronic exposure. The acute effects and the photoageing of the skin are commonly occurring, while the more serious cancer forms are less common - but their occurrences have increased in recent years. This is considered to be at least partly attributed to an increased exposure to ultraviolet radiation. Thus, there is an obvious need to limit the total exposure to ultraviolet radiation.

Internationally, ICNIRP have developed guidelines for the limitation of exposure to ultraviolet radiation. These limitations give individuals with normal sensitivity a protection against acute effects on skin and eyes, and are also thought to protect against some of the long-term effect (e.g. certain cancer forms). Several forms of malignant melanoma are, on the other hand, thought to be a result of single episodes of heavy exposure.

High levels of UV radiation can occur within Swedish industry at e.g. welding and UV curing of surface coatings. The possibilities to locally measure and control these levels at a relevant cost have improved during the last decade.

## Referenser

- ACGIH (1988) *Threshold limit values and biological exposure indices for 1988-1989*. , Cincinnati.
- Ahmed FE & Setlow RB (1978) Kinetics of DNA repair in ultraviolet irradiated and N-acetoxy-2-acetylaminofluorene-treated mammalian cells. *Biophys J*, 24.
- Ahmed FE & Setlow RB (1979) Saturation of DNA repair in mammalian cells. *Photoch.Photobiol*, 29, 983-989.
- AMBIO (1990) CFCs and Stratospheric Ozone. *AMBIO - A Journal of the Human Environment. Special Issue (Royal Swedish Academy of Sciences)*, XIX(6).
- AMBIO (1995) Environmental Effects of Ozone Depletion: 1994 Assessment. *AMBIO - A Journal of the Human Environment. Special Issue: Environmental effects of ozone depletion (Royal Swedish Academy of Sciences)*, XXIV(3).
- Aurén TE (1929) Observations concerning ultra-violet solar radiation in some places in Sweden. *Geogr. Annaler*, 11, 257-267.
- Ballard T, Lagorio S, De Angelis G & Verdecchia A (2000) Cancer incidence and mortality among flight personnel: a meta-analysis. *Aviat Space Environ Med*, 71(3), 216-24.
- Barth C, Knuschke P & Barth J (1990) [Ultraviolet exposure in the environment of welding work sites]. *Z Gesamte Hyg*, 36(12), 654-5.
- Beissert S & Schwarz T (1999) Mechanisms involved in ultraviolet light-induced immunosuppression. *J Investig Dermatol Symp Proc*, 4(1), 61-4.
- Beral V, Evans S, Shaw H & Milton G (1982) Malignant melanoma and exposure to fluorescent lighting at work. *Lancet*, 2(8293), 290-3.
- Bergmanson J & Söderberg P (1995) The significance of ultraviolet radiation for eye diseases. A review with comments on the efficacy of UV-blocking lenses. *Ophthalmic Physiol Opt.*(15), 83-91.
- Biettie G, Guerra P & Farraris de Glasspare P (1955) La dystrophie cornéenne nodulaire en ceinture des pays tropicaux à sol aride. *Bull Soc Ophthalmol Fr*(68), 101-29.
- Boettner E & Wolter J (1962) Transmission of ocular media. *Invest Ophthalmol.*(1), 776-83.
- Boldeman C, Bränström R, Dal H, Kristjansson S, Y. R, Jansson B & Ullén H (2001) Tanning Habits and Sunburn in a Swedish population age 13-50 years. *Eur. J. Cancer*, 37, 2441-2448.
- Boyle J, MacKie RM, Briggs JD, Junor BJ & Aitchison TC (1984) Cancer, warts, and sunshine in renal transplant patients. A case-control study. *Lancet*, 1(8379), 702-5.
- CEN (2001) *Incoherent optical radiation - part 1: Measurement and assessment of radiation exposures by artificial UV-sources in the workplace. Draft European standard*., prEN 14255-1, Brussels: European Committee for standardization.
- CIE (1987) *International Lighting Vocabulary*. 17.4.
- CIE (1992) *Personal dosimetry of UV radiation*. 98, Wien: CIE.
- CIE (1993) *Malignant melanoma and fluorescent lighting (reprint)*. In: *CIE Collection in Photobiology and Photochemistry*. 106/6, Wien: CIE.
- CIE (1997) *Technical report Standard Erythema Dose - a Review*. 125.
- CIE (1998) *Standard: Erythema Reference Action Spectrum and Standard Erythema dose*. *CIE S007/E-1998*. , Vienna: Commission Internationale de l'Éclairage (CIE).
- CIE (1999) *Standardization of the terms UV-A1, UV-A2 and UVB*. *CIE Collection in Photobiology and Photochemistry*. CIE TC 6-26 report: 134/1.

- CIE (2000a) *Action spectrum for photocarcinogenesis (non-melanoma skin cancers)*. 138/2 CIE TC 6-32.
- CIE (2000b) *A proposed global UV-index*. CIE TC 6-41 report 138/4.
- Cogan D & Kinsey V (1946) Action spectrum of keratitis produced by ultraviolet radiation. *Arch Ophthalmol*(35), 670-7.
- Coroneo M (1990) Albedo concentration in the anterior eye: a phenomenon that locates some solar diseases. *Ophthalmic Surg*(21), 60-6.
- Coroneo M, Muller-Stolzenburg N & Ho A (1991) Peripheral light focusing by the anterior eye and the ophthalmohelioses. *Ophthalmic Surg*.(22), 705-11.
- Cruikshanks K, Klein B & Klein R (1992) Ultraviolet light exposure and lens opacities: the Beaver Dam Eye Study. *Am J Public Health*.(82), 1658-62.
- Cullen A, Chou B, Hall M & Jany S (1984) Ultraviolet-B damages corneal endothelium. *Am J Optom Physiol Opt*.(61), 473.
- Cullen A & Perera S (1990) Human conjunctival response to ultraviolet irradiation. *Optom Vis Sci.*, Suppl:67.
- Davis A, Deane GH & Diffey BL (1976) Possible dosimeter for ultraviolet radiation. *Nature*, 261(5556), 169-70.
- de Gruijl FR, Sterenberg HJ, Forbes PD, Davies RE, Cole C, Kelfkens G, van Weelden H, Slaper H & van der Leun JC (1993) Wavelength dependence of skin cancer induction by ultraviolet irradiation of albino hairless mice. *Cancer Res*, 53(1), 53-60.
- de Gruijl FR & Van der Leun JC (1994) Estimate of the wavelength dependency of ultraviolet carcinogenesis in humans and its relevance to the risk assessment of a stratospheric ozone depletion. *Health Phys*, 67(4), 319-25.
- Diffey (1989) Ultraviolet radiation dosimetry with polysulphone film., In: Diffey ed. *Radiation Measurement in Photobiology*. Pp 135-139., London: Academic Press.
- Diffey BL (1982) The consistency of studies of ultraviolet erythema in normal human skin. *Phys Med Biol*, 27(5), 715-20.
- Diffey BL (1991) Solar ultraviolet radiation effects on biological systems. *Phys Med Biol*, 36(3), 299-328.
- Diffey BL, Larko O, Meding B, Edeland HG & Wester U (1986) Personal monitoring of exposure to ultraviolet radiation in the car manufacturing industry. *Ann Occup Hyg*, 30(2), 163-70.
- Diffey BL & Roscoe AH (1990) Exposure to solar ultraviolet radiation in flight. *Aviat Space Environ Med*, 61(11), 1032-5.
- DIN (1979) *Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik, Grössen, Formel- und Kurzzeichen für photobiologische wirksame Strahlung; Deutsche Normen*. 5031; Teil 10, Berlin.
- Duthie MS, Kimber I & Norval M (1999) The effects of ultraviolet radiation on the human immune system. *British Journal of Dermatology.*, 140(6), 995-1009.
- Elwood JM & Jopson J (1997) Melanoma and sun exposure: an overview of published studies. *Int J Cancer*, 73(2), 198-203.
- EN S-E- (2000) *Maskinsäkerhet - Bedömning och reducering av strålningsrisker förknippade med maskiner - del 1: Allmänna principer*. 12198-1, Stockholm: SIS-förlag.
- Eriksen P (1986) *Optisk stråling ved MIG og TIG svejsning*. , Köpenhamn: Arbejds miljøfondet.
- Eriksen P (1987) Occupational applications of ultraviolet radiation: Risk evaluation and protection techniques. In: Passchier WF & Bosnjakovic BMF eds. *Human Exposure to Ultraviolet Radiation. Risks and Regulations*. Pp 317-331, Amsterdam: Excerpta Medica.
- Ettler K (1993) [The adverse effects of computer video monitors on their operators]. *Sb Ved Pr Lek Fak Karlovy Univerzity Hradci Kralove Suppl*, 36(1-), 65-9.

- EUROSKIN (2001) (Greinert, R. , McKinlay, A., Breitbart, E.W.) Towards the promotion and harmonization of skin cancer prevention in Europe. Recommendations. (Euroskin: The European Society of Skin Cancer Prevention). *European Journal of Cancer Prevention*, 10, 157-162.
- Falkenbach A & Sedlmeyer A (1997) Travel to sunny countries is associated with changes in immunological parameters. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine*, 13(4), 139-42.
- Finsen N (1900) *Neue Untersuchungen über die Einwirkung des Lichtes auf die Haut. Meddelande från Finsens Medicinske Lysinstitut*. 1:8.
- Fitzpatrick TB (1988) The validity and practicality of sun-reactive skin types I through VI. *Arch Dermatol*, 124, 869-71.
- Furusawa Y, Quintern LE, Holtschmidt H, Koepke P & Saito M (1998) Determination of erythema-effective solar radiation in Japan and Germany with a spore monolayer film optimized for the detection of UVB and UVA--results of a field campaign. *Appl Microbiol Biotechnol*, 50(5), 597-603.
- Galkin ON & Terenetskaya IP (1999) 'Vitamin D' biosimeter: basic characteristics and potential applications. *J Photochem Photobiol B*, 53(1-3), 12-9.
- Gallagher R, Riichard P, Elwood P & Mark J (1994) *Epidemiological aspects of cutaneous malignant melanoma*. . Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Gallagher RP, Bajdik CD, Fincham S, Hill GB, Keefe AR, Coldman A & McLean DI (1996) Chemical exposures, medical history, and risk of squamous and basal cell carcinoma of the skin. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*, 5(6), 419-24.
- Garssen J, Goettsch W, de Gruijl F, Slob W & van Loveren H (1996) Risk assessment of UVB effects on resistance to infectious diseases [published erratum appears in Photochem Photobiol 1997 Jun;65(6):1045]. *Photochemistry & Photobiology*, 64(2), 269-74.
- Glansholm A (1985) *Light resin curing devices : a hazard evaluation*. SSI-rapport, 85:26. Stockholm: SSI.
- Glansholm A (1996) *Optical radiation from two industrial laser stations*. , Luleå: Tekniska högskolan i Luleå.
- Good G & Schoessler J (1988) Chronic solar radiation exposure and endothelial polymetethism. *Curr Eye Res*(7), 157-62.
- Grover D & Zigman S (1972) Coloration of human lenses by near ultraviolet photo-oxidized tryptophan. *Exp Eye Res*.(13), 70-6.
- Hausser KW & Vahle W (1927) *Sonnenbrand und Sonnenbräunung, Wissenschaftliche Veröffentlichung Siemens Konzern* 6. .
- Hill LL, Shreedhar VK, Kripke ML & Owen-Schaub LB (1999) A critical role for Fas ligand in the active suppression of systemic immune responses by ultraviolet radiation. *Journal of Experimental Medicine*, 189(8), 1285-94.
- Holman CD & Armstrong BK (1984) Cutaneous malignant melanoma and indicators of total accumulated exposure to the sun; an analysis separating histogenetic types. *J Nat Cancer Inst*, 73, 75-82.
- Holtschmidt H & Quintern L (1999) Control measurements in old / used sunbeds. *UV-News, Newsletter for the Thematic Network for Ultraviolet Measurements. Helsinki University of Technology, Metrology Research Institute*(2), 16-17.
- Hurup K (1996) *Secondary radiation associated with laser welding. EU-643 Eurolaser: Safety in the Industrial Application of Lasers*. EU-643-3, Park Allé 345, DK-2605 Broendby. Copenhagen: FORCE Institute.
- Hyde J (1906) On the influence of light in the production of cancer of the skin. *Am J Med Sci*, 131.



- IARC (1992) Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. *Solar and ultraviolet radiation*. Vol. 55. , Lyon: International Agency for research on cancer, World Health Organization, IARC.
- ICNIRP (1989) Proposed change to the IRPA 1985 guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation. International Non-ionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection Association. *Health Phys*, 56(6), 971-2.
- ICNIRP (1990) Fluorescent lighting and malignant melanoma. International Non-ionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection Association. *Health Phys*, 58(1), 111-2.
- ICNIRP (1995) *Global Solar UV Index - A joint recommendation of the World Health Organization, the World Meteorological Organization, the United Nations Environment Programme, and the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*. 1/95, Oberschleissheim: ICNIRP.
- ICNIRP (1996) Guidelines on UV radiation exposure limits. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. *Health Phys*, 71(6), 978.
- IEC (1999) *Compilation of maximum permissible exposure to incoherent optical radiation*. TR60825-9, Geneva: IEC.
- IRPA/INIRC (1985) Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). The International Non-Ionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection Association. *Health Phys*, 49(2), 331-40.
- IRPA/INIRC (1991) *IRPA guidelines on protection against non-ionising radiation*. . New York: Pergamon press.
- James RH & Miller SA (1987) Ultraviolet radiation emissions from fluorescent lamps and sunlamps. In: Passchier WF & Bosnjakovic BMF eds. *Human Exposure to Ultraviolet Radiation. Risks and Regulations*. Pp 281-285, Amsterdam: Excerpta Medica.
- Josefsson W (1986) *Solar Ultraviolet Radiation in Sweden*. 53: SMHI.
- Josefsson W (1996) *Five years of solar UV-radiation monitoring in Sweden*. RMK 71: SMHI.
- Josefsson W (1997) *Solar UV-radiation monitoring 1996*. RMK 74: SMHI.
- Karai I, Matsumura S, Takise S, Horiguchi S & Matsuda M (1984) Morphological change in the corneal endothelium due to ultraviolet radiation in welders. *Br J Ophthalmol*, 68(8), 544-8.
- Kelly DA, Young AR, McGregor JM, Seed PT, Potten CS & Walker SL (2000) Sensitivity to sunburn is associated with susceptibility to ultraviolet radiation-induced suppression of cutaneous cell-mediated immunity. *J Exp Med*, 191(3), 561-6.
- Kivisäkk E (1987) Activities in the Swedish national institute of radiation protection (NIRP) for the controls of UV hazards. In: Passchier WF & Bosnjakovic BMF eds. *Human Exposure to Ultraviolet Radiation. Risks and Regulations*. Pp 521-524, Amsterdam: Excerpta Medica.
- Koller LR (1952) *Ultraviolet Radiation 2nd ed*. Wiley series in pure and applied optics. New York-London-Sydney: Wiley&Sons, Inc.
- Kricker A, Armstrong BK & English DR (1994) Sun exposure and non-melanocytic skin cancer. *Cancer Causes Control*, 5(4), 367-92.
- Lerman S (1980) Human ultraviolet radiation cataracts. *Ophthalmic Res.*(12), 303-14.
- Lerman S & Borkman R (1976) Spectroscopic evaluation and classification of the normal aging and cataractous lens. *Ophthalmic Res.*(8), 335-53.
- Lewin L (1913) Über photodynamische Wirkungen von Inhaltsstoffen des Steinkohlenteerpechs am Menschen. *Münch Mediz Wochenschrift*, 28.
- Lunelund H (1944) Stärke der ultravioletten Sonnenstrahlung in Finnland. *Soc. Scient. Fenn., Comm. Phys.-Math.*, XII(13), 1-21.
- Lunelund H & Holmberg KT (1929) Über die ultraviolette Sonnenstrahlung in Finnland. *Soc. Scient. Fenn., Comm. Phys.-Math.*, 2, 1-41.

- Lytle CD, Cyr WH, Beer JZ, Miller SA, James RH, Landry RJ, Jacobs ME, Kaczmarek RG, Sharkness CM, Gaylor D & et al. (1992) An estimation of squamous cell carcinoma risk from ultraviolet radiation emitted by fluorescent lamps. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*, 9(6), 268-74.
- Löfgren S & Söderberg PG (2001) Lens lactate dehydrogenase inactivation after UV-B irradiation: an in vivo measurement of UVR-B penetration. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 42(8), 1833-6.
- Mackenzie LA (1983) The analysis of the ultraviolet radiation doses required to produce erythematous responses in normal skin. *Br J Dermatol*, 108(1), 1-9.
- Maher E (1978) *Report SAM-TR-78-32*. : USAF School of Aerospace medicine, Aerospace Medical Div AFSC.
- Matusiak M, Cader A, Kajdos Z, Jankowski J & Kaczmarek J (1994) [Ultraviolet radiation in selected computer monitoring]. *Med Pr*, 45(4), 292-5.
- McKinlay A & Diffey BL (1987a) A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. *CIE Journal*, 6, 17-22.
- McKinlay AF & Whillock MJ (1987b) Measurement of ultra-violet radiation from fluorescent lamps used for general lighting and other purposes in the UK. In: Passchier WF & Bosnjakovic BMF eds. *Human Exposure to Ultraviolet Radiation. Risks and Regulations*. Pp 253-258, Amsterdam: Excerpta Medica.
- McKinlay AF & Whillock MJ (1989) *Meulemans CCE. Ultraviolet radiation and blue-light emissions from spotlights incorporating tungsten halogen lamps*. R228: NRPB.
- Merriam J, Löfgren S, Michael R, Söderberg P-G, Dillon J, Zheng L & et al (2000) Ultraviolet B radiation and the rat lens: Influence of corneal transmittance and the atmosphere on the action spectrum. *Invest Ophthalmol Vis Sci*(In press).
- Michael R (2000) Development and repair of cataract induced by ultraviolet radiation. *Ophthalmic Res* 32;SI Basel, Karger.
- Michael R, Söderberg P-G & Chen E (1998) Dose-response function for lens forward light scattering after in vivo exposure to ultraviolet radiation. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*(236), 625-9.
- Miescher G (1930) Das Problem des Lichtschutzes und der Lichtgewöhnung. *Strahlentherapie*, 35.
- Morales Suarez-Varela M, Llopis Gonzalez A & Ferrer Caraco E (1992) Non-melanoma skin cancer: an evaluation of risk in terms of ultraviolet exposure. *Eur J Epidemiol*, 8(6), 838-44.
- NRPB (2002) *Health effects from ultraviolet radiation*. Documents of NRPB 13:1, Chilton: National radiation protection board.
- Okuno T, Ojima J & Saito H (2001) Ultraviolet radiation emitted by CO(2) arc welding. *Ann Occup Hyg*, 45(7), 597-601.
- Parrish (1982) Erythema and melanogenesis action spectra of normal human skin. *Photochem. Photobiol.*, 36, 187-191.
- Paulsson L-E (1979) *UV-Radiation from Fluorescent Tubes*. , Stockholm: Statens strålskyddsinstitut.
- Paulsson L-E, Kristiansson & Malmström (1984) *Strålning från dataskärmar*. a84-01, Stockholm: SSI.
- Pirie A (1968) Color and solubility of the proteins of human cataracts. *Invest Ophthalmol*, 7, 634-50.
- Pitts A (1970) A comparative study of the effects of ultraviolet radiation on the eye. *Am J Optom Physiol Opt*(47), 535-46.
- Pitts D (1969) The effects of ultraviolet radiation on the eye. *Brooks Air Force Base, Texas, USAF School of Aerospace Medicine*.

- Pitts D (1973) The ocular ultraviolet action spectrum and protection criteria. *Health Phys*(25), 559-66.
- Pitts D, Cullen A & Hacker P (1977) Ocular effects of ultraviolet radiation from 295 to 365 nm. *Invest Ophthalmol Vis Sci.*(16), 932-9.
- Pollan M & Gustavsson P (1999) *Cancer and occupation in Sweden 1971-1989*. EPC-rapport 1: Socialstyrelsen.
- Quintern, Horneck, Eschweiler & Bucker (1992) A biofilm used as ultraviolet-dosimeter. *Photochem. Photobiol.*, 55(3), 389-395.
- Quintern LE, Furusawa Y, Fukutsu K & Holtschmidt H (1997) Characterization and application of UV detector spore films: the sensitivity curve of a new detector system provides good similarity to the action spectrum for UV-induced erythema in human skin. *J Photochem Photobiol B*, 37(1-2), 158-66.
- Rosenthal F, Safran M & Taylor H (1985) The ocular dose of ultraviolet radiation from sunlight exposure. *Photochem Photobiol.*(42), 163-71.
- Scholzen TE, Brzoska T, Kalden DH, O'Reilly F, Armstrong CA, Luger TA & Ansel JC (1999) Effect of ultraviolet light on the release of neuropeptides and neuroendocrine hormones in the skin: mediators of photodermatitis and cutaneous inflammation. *J Investig Dermatol Symp Proc*, 4(1), 55-60.
- Sliney DH (1972) The merits of an envelope action spectrum for ultraviolet radiation exposure criteria. *Am Ind Hyg Assoc J*, 33(10), 644-53.
- Sliney DH & Wolbarsht M (1980) *Welding arcs. Safety with lasers and other optical sources.* , New York: Plenum Press.
- Socialstyrelsen (1999) *Cancer Incidence in Sweden 1997.* , Stockholm: Epidemiologiskt Centrum, Socialstyrelsen.
- Socialstyrelsen (2001a) *Cancer Incidence in Sweden 1999.* , Stockholm: Epidemiologiskt Centrum, Socialstyrelsen.
- Socialstyrelsen (2001b) *Malignt hudmelanom - State of the Art.* 2001-123-4., Stockholm: Socialstyrelsen.
- SoS-EpC. (2001) Webadress: <http://www.sos.se/epc/> .
- SPRI-MFR (1994) *Consensus Statement - Preventing Malignant Skin Melanoma.* 260, Stockholm: Swedish Medical Research Council (MFR), Swedish Institute for Health Services Development (Spri).
- SPRI-MFR (1994a) *Konsensuskonferens 16-18 november 1994: "Att förebygga utveckling av malignt hudmelanom.* , Stockholm: MFR, SPRI.
- SS-EN-165 (1995) *Ögonskydd - Terminologi.* 165, Stockholm: SIS.
- SS-EN-166 (2001) *Ögonskydd - Fordringar och specifikationer.* 166, Stockholm: SIS.
- SS-EN-167 (2001) *Ögonskydd - Optiska provningsmetoder.* 167, Stockholm: SIS.
- SS-EN-169 (1992) *Ögonskydd - Filter vid svetsning och besläktade förfaranden - Fordringar på transmittans.* 169, Stockholm: SIS.
- SS-EN-170 (1992) *Ögonskydd - Filter mot ultraviolet strålning - Fordringar på transmittans.* 170, Stockholm: SIS.
- SS-EN-172 (2001) *Ögonskydd - Solglasögon för yrkesarbete.* 172, Stockholm: SIS.
- SS-EN-175 (1997) *Personligt skydd - Ögon- och ansiktsskydd vid svetsning och likartat arbete.* 175, Stockholm: SIS.
- SS-EN-379 (1998) *Specifikation för svetsfilter med omställbar ljusflödestransmittans och för svetsfilter med dubbel ljusflödestransmittans.* 379, Stockholm: SIS.
- SS-EN-60335-2-59 (2001) *Elektriska hushållsapparater och liknande bruksföremål - Säkerhet - Del 2-59: Särskilda fordringar på inspektsbekämpare.* : SIS.
- SSI (1986) *Cirkulärbrev kvicksilverlampor.* 1986-02-18, Stockholm: SSI.

- SSI (1990) *Statens strålskyddsinstitutets allmänna råd om hygieniska riktvärden för ultraviolet strålning*. SSI FS 1990:1. FS 1990:1.
- SSI (1998) *Statens strålskyddsinstitutets föreskrifter om solarier*. SSI FS 1998:2, Stockholm: SSI.
- SSI-CPE (1999) "Om solarier", *Informationsfolder*. : Statens strålskyddsinstitut och Cancerpreventiva enheten vid Stockholms Läns Landsting.
- SSI-Socialstyrelsen (1990) *Förebyggande och tidig diagnos av melanom och hudcancer*. AFSS dok 20.
- Steenvoorden DP & Beijersbergen van Henegouwen G (1999) Protection against UV-induced systemic immunosuppression in mice by a single topical application of the antioxidant vitamins C and E. *International Journal of Radiation Biology*, 75(6), 747-55.
- Stern RS, Mills DK, Krell K, Zmudzka BZ & Beer JZ (1998) HIV-positive patients differ from HIV-negative patients in indications for and type of UV therapy used. *J Am Acad Dermatol*, 39(1), 48-55.
- STG (2000) *STG "Ögonskydd" Vägledning för val, användning och underhåll av ögon och ansiktsskydd för yrkesbruk (CEN/CR 13464:1999)" , utgåva 1*. STG Teknisk rapport 103, Stockholm: SIS-förlag.
- Streilein JW, Alard P & Niizeki H (1999) A new concept of skin-associated lymphoid tissue (SALT): UVB light impaired cutaneous immunity reveals a prominent role for cutaneous nerves. *Keio Journal of Medicine*, 48(1), 22-7.
- Surakka J (2000) *Dermal exposure to UV-radiation and UV-curable acrylate coatings in the wood working industry*. Doctoral thesis, Luleå University of technology, Luleå: Human work sciences.
- Surakka J, Fischer T, Rosén G & Nylander-French LA (1997) Assessment of ultraviolet radiation exposure in the wood surface coating industry. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 12(4), 261-270.
- Sutter E, Hübner HJ, Krause E & Ruge J (1972) Strahlungsmessungen an verschiedenen Lichtbogen-Schweissverfahren. *PTB-rapport Optik, Braunschweig*, 2.
- Söderberg P (1988) Acute cataract in the rat after exposure to radiation in the 300 nm wavelength region. A study of the macro-, micro- and ultrastructure. *Acta Ophthalmol (Copenh)*(66), 141-52.
- Söderberg P (1990) Experimental cataract induced by ultraviolet radiation. *Acta Ophthalmol (Copenh)*(68), 1-77.
- Söderberg P (1991) Na and K in the lens after exposure to radiation in the 300 nm wave length region. *J Photochem Photobiol B*(8), 279-94.
- Taylor H, West S, Rosenthal IF, Munoz B, Newland H & Emmett E (1989) Corneal changes associated with chronic UV irradiation. *Arch Ophthalmol*(107), 1481-4.
- Taylor H, West S, Rosenthal F, Munoz B, Newland H & Abbey H (1988) Effect of ultraviolet radiation on cataract formation. *N Engl J Med*(319), 1429-33.
- Ullrich SE, Kim TH, Ananthaswamy HN & Kripke ML (1999) Sunscreen effects on UV-induced immune suppression. *J Invest Dermatol Symp Proc*, 4(1), 65-9.
- Unna PG (1894) *Die Histopathologie der Hautkrankheiten*. . Berlin: August Hirschwald.
- Author (1987). Man and ultraviolet radiation. Urbach F ed. (1987) *Man and ultraviolet radiation*. Amsterdam: Elsevier Sci Publ.
- Urbach F, Epstein JH & Forbes PD (1974) UV carcinogenesis. In: Fitzpatrick TB PM, Harber LC et al ed. *Sunlight and man*. Pp 259-283, Tokyo: University of Tokyo press.
- Weale R (1988) Age and the transmittance of the human crystalline lens. *J Physiol (Lond)*(395), 577-87.
- West S, Duncan D, Munoz B, Rubin G, Fried L & Bandeen-Roche K (1998) Sunlight exposure and risk of lens opacities in a population-based study: the Salisbury Eye Evaluation project. *JAMA*(280), 714-8.

- Wester U (1981a) *A simple formulae approximation of the ACGIH curve of relative spectral effectiveness of actinic UV*. RI 1981-02, Stockholm: Karolinska institutet radiofysiska institutionen.
- Wester U (1981b) *UV från sollampor och solarier*. RI 1981-07: Karolinska institutet radiofysiska institutionen.
- Wester U (1987) Solar ultraviolet radiation on the Canary Islands and in Sweden - A comparison of irradiance levels. In: Passchier WF & Bosnjakovic BFM eds. *Human exposure to ultraviolet radiation: Risks and regulations*. Pp 275-279, Amsterdam: Elsevier Sci Publ.
- Wester U (1991) Ultraviolet radiation exposure from three categories of tungsten halogen lamps compared to traditional light sources - incandescent lamps, fluorescent lamps and the sun. International Commission of Occupational Health - Workshop on optical radiation and work, Mariehamn.
- Wester U (1993) UV-exposure and ozone monitoring with a dual bandpass solar UVA-UVB meter in Stockholm since 1989. In: al. ASe ed. *Frontiers of Photobiology*. Pp 519-522, Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.
- Wester U (1996) UV-monitoring in Sweden: Past, present and future. In: Diffey B ed. *Measurement and Trends of Terrestrial UVB Radiation in Europe*. Pp 103-110, Milano: OEMF s.p.a.
- Wester U (2000a) Analytic Expressions to represent the Hazard Ultraviolet Action Spectrum of ICNIRP and ACGIH. *Radiation Protection Dosimetry*, 91, 231-232.
- Wester U (2000b) Measurements of solar UVA, UVB and of ozone: Estimates of population ultraviolet doses., *Radiation Protection Dosimetry, Nuclear Technology Publishing*, 91(1-3), 115-118.
- Wester U, Boldemann C, Jansson B & Ullén H (1999) Population UV-dose and skin area - Do sunbeds rival the sun? *Health. Phys*, 77(4), 436-440.
- Wester U & Josefsson W (1997) UV-index and Influence of Action Spectrum and Surface Inclination. WMO-WHO Meeting of Experts on Standardization of UV Indices and their Dissemination to the Public Global Atmosphere Watch Report, (Les Diablerets, Switzerland, 21-24 July 1997), Les Diablerets, Switzerland.
- WHO (1994) Ultraviolet Radiation. *Environmental Health Criteria*, 160, 1-352.
- Widmark J (1891) Ueber die Durchlässigkeit der Augenmedien für ultraviolette Strahlen. *Beiträge zur Ophthalmologie. Stockholm*, 460-502.
- Wiegleb-Edström D (2001) *Longwave ultraviolet radiation (UVA1) and visible light. Therapeutic and adverse effects in human skin*. Doctoral thesis, Dept. of dermatology, Karolinska Institutet, Stockholm: .
- With C (1920) Studies on the effect of light on vitiligo. *Br J Dermatol Syphilis*, 32.
- Yoshikawa T, Rae V, Bruins-Slot W, Van den Berg JW, Taylor JR & Streilein JW (1990) Susceptibility to effects of UVB radiation on induction of contact hypersensitivity as a risk factor for skin cancer in humans. *J Invest Dermatol*, 95(5), 530-6.
- Zmudzka BZ, Miller SA, Jacobs ME & Beer JZ (1996) Medical UV exposures and HIV activation. *Photochem Photobiol*, 64(2), 246-53.
- Östberg O, Levin M & Knave B (1976) *Mätning av optisk strålning - arbetshygienisk bedömning av plasmaljusbåge och UV-lampa vid SAS-Lintaverken, Stockholm*. Undersökningsrapport AMMF, 102/76. Stockholm: Arbetarskyddsstyr.