

Hur man mäter exponering för ultraviolettt strålning i solljus

Ulf Wester

Pensionerad strålskyddsinspektör och fysiker, verksam till 2013 vid Strålsäkerhetsmyndigheten i Stockholm. E-post: ulf.g.wester@gmail.com.

Artikeln förklarar kort och enkelt vad ultraviolettt strålning (UV) är, varför och hur mycket UV som finns i solljuset, strålningens verkningar, dess definitioner och hur den kan mätas med tonvikt på exponeringsmätningar och vilka metoder som finns att mäta hur mycket UV personer eller grupper får på sig i solljus.

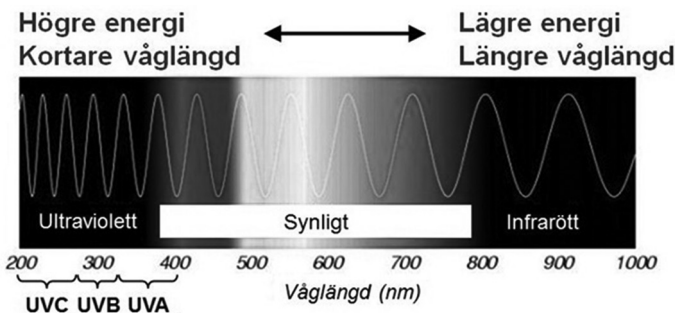
Ultraviolet radiation (UV) is briefly explained and how it can be measured – especially in personal exposure measurements using dosimeters.

Om UV-strålning

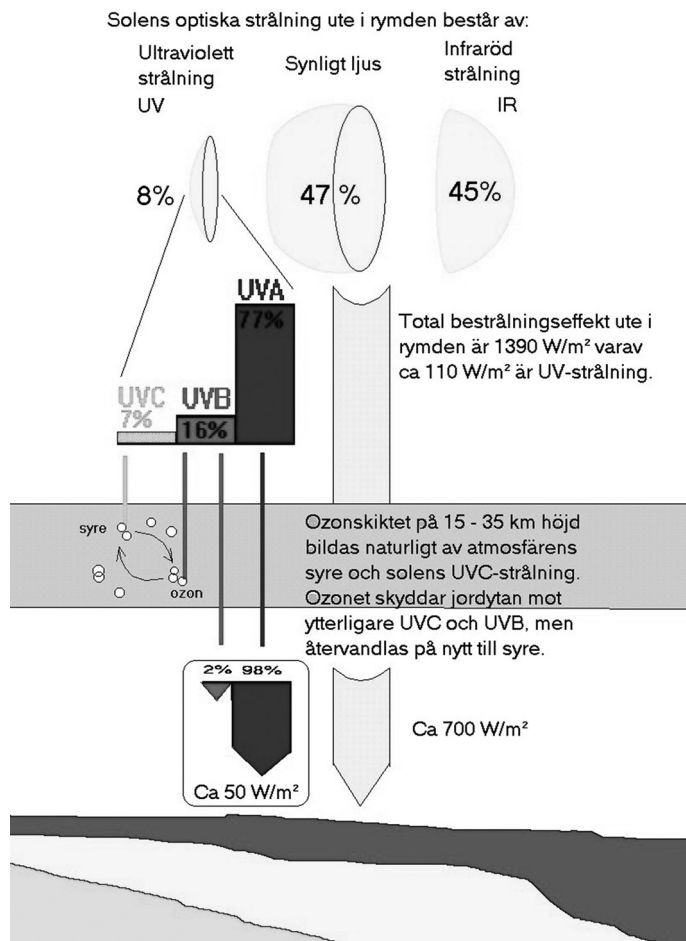
Ultraviolettt strålning (UV) är optisk elektromagnetisk strålning. UV-strålning har kortare våglängd än ljuset i regnbågens färgband från rött till violett. Spektralband i ultraviolettt är osynliga för det mänskliga ögat och benämns UVA, UVB och UVC (Figur 1). Solen ger förutom ljus och värme ultraviolettt strålning vars intensitet vid jordytan ökar med solens höjd över horisonten och beror av tid på dagen, latitud och årstid. Väderförhållanden samt ozonskiktet i stratosfären begrän-

sar UV-strålningen ytterligare. Ozonskiktet påverkar kortvågigt energirik UVB-strålning (Figur 2). Dygns- och årstidsförändringar påverkar UV-instrålningen mest, men variationer i ozonskiktet och vädret medför att mängden UV-strålning som når jordytan kan ändras från dag till dag.

Himlen ser blå ut därför att kortvågigt ljus från solen sprids mer i atmosfären än långvågigt. Hade vi kunnat ”se ultraviolettt” skulle himlen sett UV-



Figur 1. Ultraviolettt strålning i det optiska våglängdsspektrumet.



Figur 2. Ozonskiktet i stratosfären bildas av och begränsar kortvägig UV-instrålning från solen i en jämviktsprocess.

färgad ut, och hade vi kunnat se UVB-strålning skulle himlavalvet lyst i UVB med solskivan lika starkt lysande. Ungefär hälften av UV-strålningen mitt på dagen en solig sommardag är diffust spridd i atmosfären och når jordytan via himlavalvet. Skugga skyddar mot solens direkta UV-strålning och mot himlavalvets UV i proportion till hur stor del av himlen som är skymd.

Biologisk verkan

Solljusets UVB-strålning är i Sverige

ca två procent av UVA-strålstyrkan, som i sin tur utgör ca fem procent av all infallande total solstrålningseffekt per ytenhet (W/m^2 , "irradians"). UVB-strålningen är emellertid kortvägig med energirika fotoner som påverkar cellvävnad, kan skada DNA i hudceller och den ansvarar t.ex. för ca 85 procent av UV-strålningens förmåga att ge solsveta (erytem). UV-strålning av olika våglängd har olika biologisk verkan och effekt. Fotobiologisk forskning om spektrala tröskeldoser för bio-

logiska effekter har preciserat relativ spektral verkan ("aktionspektrum") hos UV-strålning med olika våglängd för bl.a. huderytem, olika typer av ögonskador, DNA-skador, hudcancer (skivepitelcellscancer) och även för D-vitaminbildning i huden. Kortvågig UVB har generellt högre relativ effekt än långvågig UVA – upp till tusenfalt. För riskanalys av UV-strålning finns ett särskilt internationellt accepterat aktionspektrum baserat på en envelopp för flertalet olika akuta verkningars spektrala tröskeldoser (ICNIRP 2004, EU 2006, SSM 2008, AV 2009).

och definieras som $40 \times E_{\text{eff}}$, där E_{eff} är biologiskt effektiv UV-strålning vägd enligt CIE:s referensaktionspektrum för huderytem (CIE 2000; ICNIRP 1995, WHO 2002).

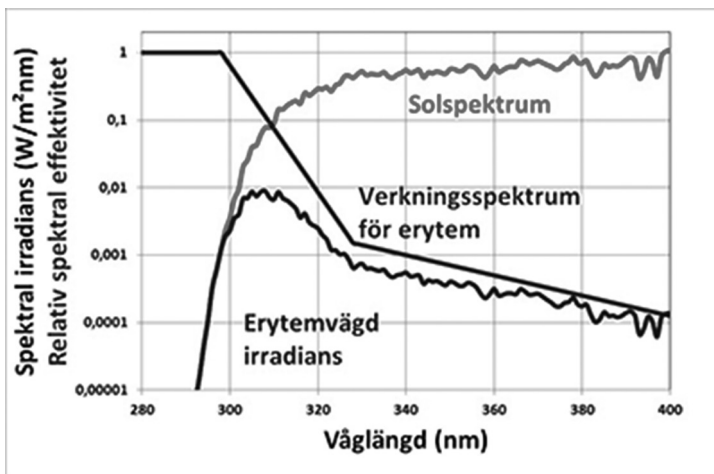
UV-index är meteorologiskt grundade prognoser en dag i förväg för styrkan av solens hudbrännskadeverkande UV-strålning när den är som intensivast under dagen. Vanligen inträffar detta när solen står som högst d v s mitt på dagen. Lågt UV-index innebär låg UV-strålning och därmed mindre risk för skador.

Figur 3 visar solens spektrala UV-styrka med hänsyn till hudens känslighet för erytem (hudrodnad), dvs "erytemvägd irradians".

Vid klar himmel är UV-index i Sverige 4-7 på sommaren och under den mörka årstiden (nov-feb) vanligen under "2". Vid Medelhavet är UV-indexet högt, mellan 7-10 på sommaren, 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. 4), molnighet och ozonskiktets tjocklek.

UV-index

Ett mått på solstrålningens erytemvägda irradians som sedan 1993 publiceras i Sverige av SMHI och även av Strålsäkerhetsmyndigheten SSM är UV-index. UV-index är ett siffermått för solens hudskadande erytemeffektiva verkan



Figur 3. Spektral huderytemverkan från UV-strålning i solljus.

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 den tidigare strålskyddsmyndigheten 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, WHO 2002).

I efterhand beräknad "verkligt inträffad" UV-strålning – SMHI:s "STRÅNG"

SMHI gör med stöd från Strålsäkerhetsmyndigheten och Naturvårdsverket fortlöpande modellberäkningar av "CIE-viktad erytemeffektiv" UV-exponering och andra solstrålningsstorheter för ett finmaskigt (11x11 km) yttäckande geografiskt rutnät över Sverige och norra Europa. Beräkningarna

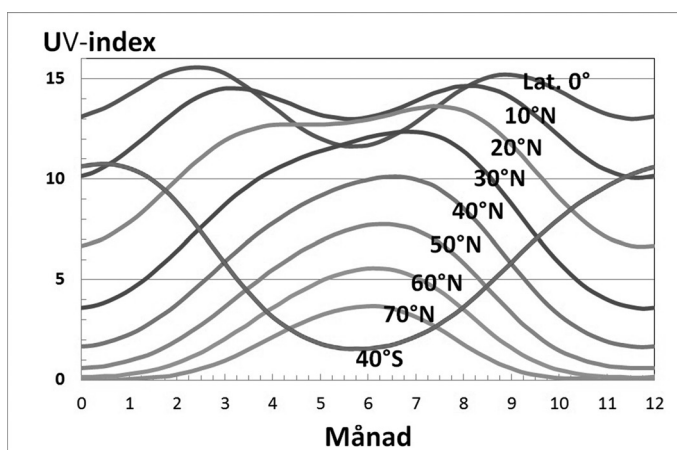
görs en gång per dygn och är baserade bl.a. på satellitmätningar av ozonskiktet och databasuppgifter om verkligt inträffat väder och övriga för UV-strålningen väsentliga parametrar och ger data timvis, dygns- månads- och årsvis. Data kan extraheras som kartor eller för en geografisk positions latitud och longitud som tidsserier i en tabell med valbar tidsupplösning (ned till timmar) och finns även tillgängliga bakåt i tiden till 1999 (<http://strang.smhi.se>). Praktiskt stöd för användning av extraherade data finns också tillgängligt med bl.a förklaringar, definitioner och sortomvandlingar.

Mätning av UV-strålning

UV-strålning kan mätas med en radiometer, spektrometriometer eller dosimeter (A&H 2002).

Radiometrar, spektrometriometrar

En radiometer mäter UV-strålningens intensitet (irradians) inom ett avgränsat spektralområde. Den är oftast avsedd eller kalibrerad för strålkällor med en



Figur 4. UV-index beroende av breddgrad och årstid vid för årstiden och latituden normalt ozonskikt (Wester, Josefsson 1997).

specifik spektralfördelning och kan ge felaktiga mätvärden för andra strålkällor.

En spektroradiometer mäter en strålkällas spektrum uppdelat i många smala intervall antingen samtidigt eller i tur och ordning ett åt gången och kan noggrant analysera spektralfördelningen. Spektroradiometern måste i förväg kalibreras mot en referensstrålkällas spektralfördelning spårbar till eller uppmätt vid ett standardlaboratorium.

Vinkelkänslighet

Ett UV-mätinstrument bör förutom att vara rätt kalibrerat även mäta rätt för utbredda strålkällor (t.ex spridd UV från himlavalvet) dvs med cosinusliknande vinkelrespons för snett infallande strålning.

Persondosimetri – dosimetrar

En dosimeter ackumulerar strålning under exponeringstiden och ger ett mått på exponering. Anordningar som mäter tidsintegrerad UV-strålning bör egentligen mer korrekt kallas ”exposimetrar” men benämningarna ”dosimetrar” och ”persondosimetri” är utbredda och vedertagna begrepp.

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” dvs för att ta reda på vad en person utsätts för beroende på beteende el dyl. Exem-

pelvis mätning av doser till händer, ansikte, axlar etc vid olika aktiviteter och med t ex olika skyddsutrustningar (t ex olika hattbrätten).

3. Kollektiv persondosimetri, dvs 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: Högt pris (10-40 tusen kronor), 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 och ett optiskt filtersystem 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). Avläsning sker genom att bakteriesporerna inkuberas i ett tillväxsubstrat och deras prote-



Figur 5. Bioteknisk dosimeter på ett barn.

inproduktion 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.

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, Boldemann et al 2004) (Figur 5).

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).

”Biomarkördosimetri” med hela människokroppen som UV-dosimeter. En avancerad biomarkör-metod som är föremål för forskning går ut på att mäta UV-skador från DNA i urinprov. Metoden bygger på att kroppen reparerar skador i hudcellerna och de trasiga delarna bryts ned och utsöndras i urinen som tymindimerer (T=T). Metoden har utprovats experimentellt och även testats på solbadande barn och vuxna. Halten av tymindimerer stiger under 2-3 dagar efter 30 minuters vistelse i solarium. Det är god överensstämmelse mellan uppmätt UV-exponering och halten av tymindimerer i urinen hos försökspersoner. Då hela kroppen bestrålas under hälften så lång tid eller då halva kroppen bestrålas utsöndras ungefär hälften så mycket tymindimerer (Kotova et al 2005, Liljendahl et al 2013). Metoden med ”urindosimetri” är känslig, men kräver avancerade laboratorieanalyser. Olika personers individuella mätresultat varierar för samma exponering. För ev praktisk användning kan metoden behöva kalibreras för varje person individuellt för att ge en uppfattning om



Figur 6. Polysulfonfilm dosimeter på ett barn.

individens exponering.

Polysulfonfilm. Filmdosimetrar med en polysulfon polymer har använts för dosimetriska applikationer och för persondosimetri sedan mer än 30 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 (Figur 6). 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 (Boldemann et al 2006).

Mätning med polysulfonfilmdosimetrar i solljus kan ge god överensstämmelse med kommersiella biotekniska dosimetrar och med andra UV-mätinstrument samt med modellberäkningar (Wester 2006).

Fördelar: Lågt pris (10-20 Kr /st.), 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 aktionsspektrum 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.

Beräkning av procentuell andel tillgänglig UV vid dosimetermätningar

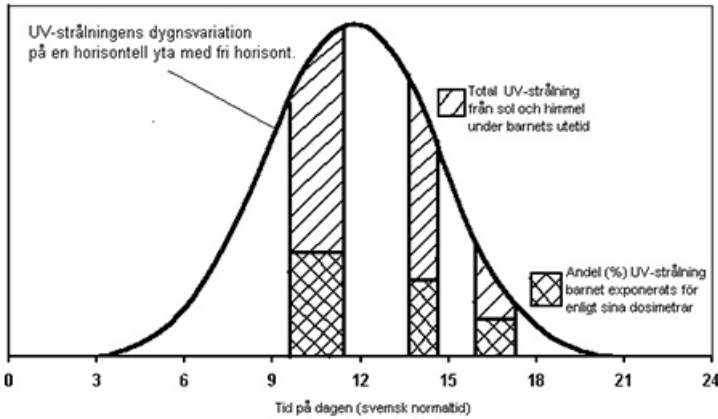
Med UV-dosimetrar mäts ackumulerad UV-exposition för en individ eller genomsnittligt för en grupp av personer t.ex exponering för solens UV-strålning på en plats eller i en viss utemiljö, under den tidsperiod som UV-dosimetrarna använts. Exponeringen påverkas av sysselsättning/aktivitet, eventuell skugga och hur öppet det är på platsen dvs hur mycket fri horisont det finns. Vill man sätta upp-mätt personexponering i relation till platsens eller utemiljöns totalt tillgängliga exponering krävs data för platsens eller utemiljöns exponering under den aktuella tidsperioden. En utomhus fritt och horisontellt placerad dosimeter mäter total UV-exponering under den

tid den suttit ute – men dess data kan inte relateras till persondosimetrar som använts under flera kortare utevistelser. Platsspecifik UV-irradians och UV-exponering kan uppmätas med en fritt monterad UV-radiometer avsedd och kalibrerad för sol-UV-mätningar – eller under gynnsamma soliga väderförhållanden direkt extraheras från SMHI:s ”STRÅNG”-data för orten. Mycket växlande väderförhållanden kan också mätas med en UV-radiometer - som behöver ha cosinusrespons men inte behöver vara kalibrerad för sol-UV-mätning. UV-radiometerns tidsintegrerade exposition för dygnet eller tidsperioden kan sedan normeras mot SMHI:s STRÅNG-data för att instrumentets momentana irradiansvärden under mätperioden ska bli rimligt tillförlitliga.

Figur 7 visar ett exempel där dosimetermätningar av förskolebarns UV-exponering under deras utevistelse relaterats till SMHI:s STRÅNG-data för vid förskolan totalt tillgänglig UV-strålning (Boldemann et al 2004).

Himmelsvyfotografering och beräkning av en omgivnings solskyddsverkan

Skugga skyddar mot all direkt UV-strålning från solen och mot himlavalvets UV i proportion till andelen bortskymd himmel. En fysisk omgivnings solskyddsverkan på en plats kan bestämmas med fotografering av himlavalvet (Figur 8) genom en mycket vidvinklig optik (”fiskögonlins”, 180°) och beräkning av bildens ”Sky View Factor” (SVF). SVF är ett mått på hur



Figur 7. Exempel på beräkning av dosimetermätningars andel av tillgänglig UV för förskolebarn.

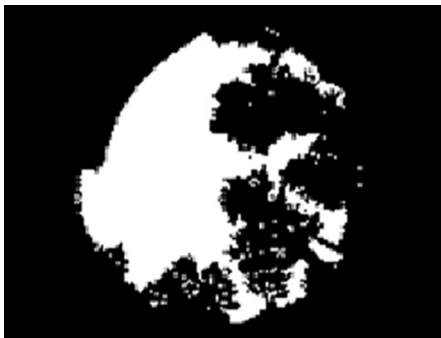
stor andel av himlen som syns. Om SVF är 1 syns hela himlavalvet med fri horisont. Om SVF är 0 är hela himlen bortskymd (Grimmond 2001).

Lägre SVF betyder mindre strålning från himlavalvet och lägre UV-exponering. Är solen bortskymd minskar exponeringen alltid med åtminstone ca 50 %.

Himmelsvyfotografering och SVF-beräkning kan också användas för att kvantifiera, korrelera och verifiera en fysisk omgivningsmiljös solskydd med resultat från persondosimetriska mätningar på individer eller grupper av

personer som vistas i den miljön (Boldemann et al 2006).

SVF-beräkningar kan för att ge korrekta resultat vara begränsade till användning av en viss kombination av en kanske omodern kamera, fiskögonlins, bildupplösning, bildhantering och programvara. En ibland enklare men mer manuell metod att beräkna en fysisk omgivnings solskyddande skugga är att använda ”Kawanishis pricktransparanger” (Kawanishi 2007). UV-strålning från en klar himmel med fri horisont har olika radiansfördelning beroende på solhöjden. En transparent (”OH-blad”) med avbildning av radiansfördelningen i form av ett pricktätetsmönster med totalt hundra prickar kan läggas över ett skyview-foto och antalet fria prickar räknas. Det blir ett direkt procentuellt mått på fotots SVF om fotot och transparensen är lika stora och transparensens prickmönster avbildar UV-radiansfördelningen för rätt solhöjd mitt på dagen.



Figur 8. Himlavalvet vid en förskola sett genom en kameran ”fiskögonlins”.

Referenser

- A&H 2002; Nylén P, Bergqvist U, Fischer T, Glansholm A., Hansson J, Surakka J, Söderberg P. och Wester U.: Ultraviolett strålning och hälsa – ett kunskapsunderlag. Arbetslivsinstitutets vetenskapliga skriftserie Arbete och Hälsa Nr 2002:5. Arbetslivsinstitutet, 11279 Stockholm.
- AV 2009; Arbetsmiljöverket ”Artificiell optisk strålning”, Arbetsmiljöverkets författningssamling, AFS 2009:07. Arbetsmiljöverket, Stockholm www.av.se
- Boldemann C., Dal H., Wester U.: Swedish pre-school children’s UV-exposure – a comparison between two different outdoor environments. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*, 2004; 20 (1):2-8.
- Boldemann C., Blennow M., Dal H., Mårtensson F, Raustorp A., Yuen K., Wester U.: Impact of preschool environment upon children's physical activity and sun exposure. *Preventive Medicine* 42 (2006) 301–308.
- CIE (1992) Personal dosimetry of UV radiation. 98, Wien: CIE.
- CIE (2000); A proposed global UV-index. CIE TC 6-41 report 138/4.
- Davis A, Deane GH & Diffey BL (1976) Possible dosimeter for ultraviolet radiation. *Nature*, 261(5556), 169-70.
- Diffey BL, Larkö 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 (1989) Ultraviolet radiation dosimetry with polysulphone film,. In: Diffey ed. *Radiation Measurement in Photobiology*. Pp 135-139., London: Academic Press.
- EU 2006; Europaparlamentets och rådets direktiv 2006/25/EG av den 5 april 2006 om minimikrav för arbetstagares hälsa och säkerhet vid exponering för risker som har samband med fysikaliska agens (artificiell optisk strålning) i arbetet (nittonde särdirektivet enligt artikel 16.1 i direktiv 89/391/EEG), Europeiska unionens officiella tidning L 114/38 SV 27.4.2006.
- Furusawa Y, Quintern J.E, 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' biodosimeter: basic characteristics and potential applications. *J Photochem Photobiol B*, 53(1-3), 12-9.
- Grimmond C.S.B., S.K. Potter, H.N. Zutter and C. Souch 2001: Rapid methods to estimate sky view factors applied to urban areas, *International Journal of Climatology*, 21, 903-913
- 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.
- 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.

tema

- ICNIRP 2004; The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (Incoherent Optical Radiation). *Health Physics* 87(2):171-186; 2004.
- Kawanishi Toshimasa. 2007, UV Shade Chart, Proc. of UV Conference, pp.157,158, Switzerland, Presentation at A UV Conference Celebrating One Century of UV Radiation Research 18 - 20 September 2007 Davos, Switzerland Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos: http://www.pmodwrc.ch/uvconf2007/presentations/speeches/session6/6_6%20UV%20shade%20chart%20SWISS0709.pdf
- Kotova, N., K. Hemminki, and D. Segerback, Urinary thymidine dimer as a marker of total body burden of UV-inflicted DNA damage in humans. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, 2005. 14(12): p. 2868-72.
- Liljendahl TS, Blomqvist A, Andersson EM, Barregård L, Segerbäck D: Urinary levels of thymine dimer as a biomarker of exposure to ultraviolet radiation in humans during outdoor activities in the summer. *Mutagenesis*. 2013 May;28(3):249-56.
- SSM 2008: Strålsäkerhetsmyndighetens allmänna råd om hygieniska riktvärden för ultraviolett strålning. Strålsäkerhetsmyndighetens författningssamling (SSMFS 2008:48), Strålsäkerhetsmyndigheten, 17116 Stockholm, www.ssm.se.
- 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.
- Wester U, "Polysulphone and spore-film UV-dosimeters compared to two radiation transfer models and an instrument that measures the UV index - an evaluation for a UV-dosimetry study of preschool children in Stockholm", In: *Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere XI Stockholm, Sweden 2006*, Editors Slusser JR, Schafer K, Cameron A. *Proceedings of SPIE Vol. 6362* (SPIE, Bellingham, WA, 2006) CID63621V 1-7.
- Wester U, Josefsson W. (1997), UV-index and Influence of Action Spectrum and Surface Inclination, In *WMO, Global Atmosphere Watch No. 127*, pp.63-66.
- WHO 2002; WHO, WMO, UNEP, ICNIRP (2002), "Global Solar UV-Index – A Practical Guide", World Health Organisation 2002. <http://www.who.int/uv/publications/globalindex/en/index.html>