

UV stråling og UV-indeks.

af Paul Eriksen, Forskningsafdelingen, DMI.

Hvad er UV stråling?

Ultraviolet (UV) stråling er elektromagnetisk stråling med bølgelængder mellem 100 og 400 nm, men i praksis kun mellem ca. 200 og 400 nm idet stråling med bølgelængder under ca. 200 nm bliver absorberet af luftens ilt. I medicinsk sammenhæng har man længe anvendt under-inddelingen UV-C (200-280 nm), UV-B (280-315 nm) og UV-A (315-400 nm) da man før i tiden tydeligt kunne spore forskellige biologiske effekter til disse spektralområder. Betegnelserne hænger ved, selvom der nu er vished for, at biologiske skader ikke er begrænset til kun at skyldes stråling i det ene eller det andet område, men snarere skyldes en kombination af stråling fra flere af områderne. UV stråling er usynlig ligesom infrarød stråling.

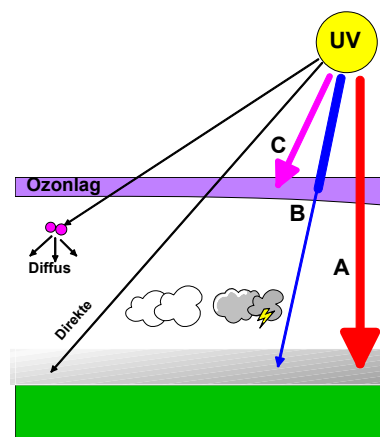


Figur 1. UV-stråling, lys (synlig stråling) og infrarød stråling er elektromagnetisk stråling. For synlig stråling, er lysets farve et "mål" for bølgelængden.

UV stråling fra solen.

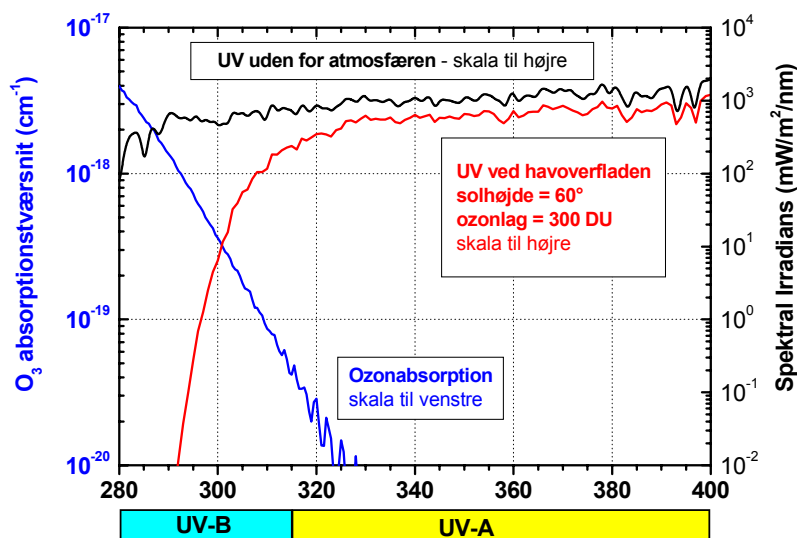
Uden for atmosfæren indeholder solstrålingen stråling med alle mulige bølgelængder, lige fra meget kortbølget røntgenstråling til langbølget mikrobølgestråling. Den synlige del af denne stråling, altså lys, har den største intensitet og udgør ca. 40 % af den samlede stråling mens den infrarøde stråling (varmestråling) og UV strålingen udgør henholdsvis ca. 52% og 8 % (!) af den samlede stråling.

Når strålingen fra solen passerer atmosfæren absorberes noget, noget reflekteres, og noget spredes af partikler og molekyler. Derved dæmpes strålingen. For eksempel af skypartikler og/eller af støvpartikler (aerosoler/luftforurening). En del af strålingen passerer atmosfæren uden hverken at blive reflekteret, absorberet eller spredt: det er den del af strålingen vi kalder for 'direkte stråling.' Noget af den spredte stråling rammer imidlertid også senere jordoverfladen. Fra jorden ser det ud som om denne stråling kommer fra himlen og vi kalder strålingen for den 'diffuse himmelstråling', diffus fordi den kommer fra alle mulige retninger. Ved jordens overflade er strålingen derfor sammensat dels af den 'direkte stråling' dels af den 'diffuse himmelstråling.' Spredning af strålingen i atmosfæren er f.eks. årsag til, at himlen er blå. Det skyldes, at spredningen af strålingen er større jo kortere bølgelængde strålingen har, og da blå/violet har den korteste bølgelængde af den synlige stråling, bliver vort synsindtryk, at himlen er blå. Fordi UV stråling har endnu kortere



Figur 2. UV-A, -B og -C stråling dæmpes forskelligt ved passage gennem atmosfæren.

bølgelængde end blå og violet stråling, er spredningen endnu større for UV stråling og ved jordens overflade viser det sig, at ca. halvdelen af strålingen i UV-B området er diffus himmelstråling. Strålingens sammensætning ved jordens overflade er derfor anderledes end uden for atmosfæren, og ved jordens overflade udgør UV-strålingen kun ca. 2-5 % af den samlede stråling. Alligevel har den en forholdsvis stor effekt.



Figur 3. UV-strålingen udenfor atmosfæren og ved jordens overflade samt ozons absorption. Det er ozonlaget, der absorberer den kortbølgede UV-stråling fra solen således, at UV-strålingen ved jordens overflade i praksis kun indeholder stråling med bølgelængder over ca. 290 nm. Bemærk hvor lidt UV-A strålingen bliver absorberet i forhold til UV-B strålingen.

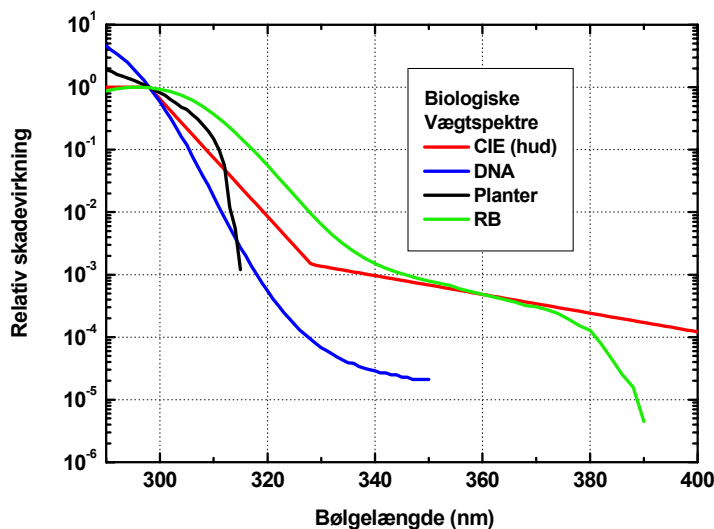
UV stråling og biologiske skader.

UV stråling kan forårsage forskellige biologiske skader. Det er f.eks. velkendt, at man kan blive skoldet i solen. Det skyldes især UV-B stråling, men også tildels UV-A stråling. Det er også velkendt, at UV stråling kan give ”svejseøjne” og sneblindhed. Det skyldes, at øjets hornhinde og bindehinde bliver beskadiget. UV stråling kan ligeledes forårsage skader på planter fordi planternes DNA-molekyler kan blive beskadiget. Men for alle skader gælder det, at skadevirkningen afhænger af strålingens bølgelængde. F.eks. gælder det for de fleste effekter, at UV-B stråling er mere skadelig end UV-A stråling. For at tage hensyn til dette forhold, findes der for mange biologiske skader et såkaldt virknings-spektrum, der viser den relative skadevirkning som funktion af bølgelængden. Et eksempel er det såkaldte CIE virkningsspektrum (eller vægtspektrum, på engelsk ofte kaldet ”action spectrum”). CIE virkningsspektrret viser den relative skadevirkning for *erythem* – solskoldning (græsk: erythos – at rødme). Se appendix A.

Ved hjælp af virknings-spektrret for erythem kan man få omsat en måling af den spektrale irradians til det man kunne kalde den hudskadelige UV-stråling. Man ser også betegnelsen ”effektiv erythem irradians” eller blot ”erythem irradians”, men oftest betegnes den blot den CIE-vægtede irradians. Den fremkommer ved at man bølgelængde for bølgelængde multiplicerer den målte spektrale irradians med værdien for CIE-virkningsspektret og båndbredden af apparatet, og dernæst tager summen af produkterne. Matematisk udtrykkes dette ved formlen

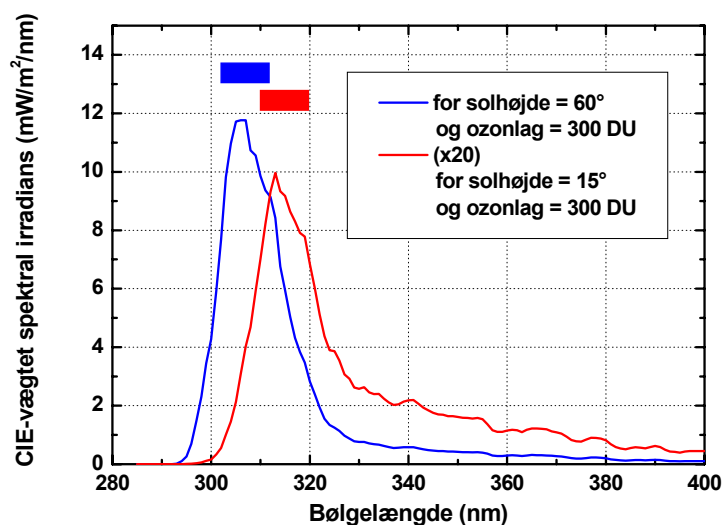
$$E_{CIE} = \int_{290}^{400} E_{\lambda} V_{\lambda} d\lambda \rightarrow \sum_{290}^{400} E_{\lambda} V_{\lambda} \Delta\lambda \quad (1)$$

hvor E_λ er den målte spektrale irradians i $\text{W/m}^2/\text{nm}$ ved bølgelængden λ , V_λ er værdien af virkningsspektret (f.eks. CIE) ved bølgelængden λ (dimensionsløs – har ingen enhed) og $\Delta\lambda$ er instrumentets båndbredde i nm. Enheden for den vægtede irradians E_{CIE} bliver W/m^2 . I praksis bliver integrationen i formel (1) erstattet af en summation som vist ved hjælp af pilen. Tilsvarende praksis er ligeledes vist med pil i de efterfølgende formler.



Figur 4. Eksempler på biologiske virkningsspektre, eller vægtspektre. CIE spektret viser den relative skadevirkning (erythem, solskoldning) på menneskelig hud, DNA spektret viser den relative skadevirkning på DNA molekyler, mens ”planter” viser en generel relativ skadevirkning på planter. Bemærk, at ordinaten er logaritmisk. Det betyder f.eks. at for hudskader, er skadevirkningen af stråling med bølgelængder omkring 300 nm næsten 1000 gange mere skadelig end stråling med bølgelængder omkring 340 nm. Spektrene er kun vist fra 290 nm fordi stråling fra solen kun indeholder stråling med bølgelængder der er længere end ca. 290 nm. Kurven mærket RB viser spektralrespons for bredbåndsinstrumenter af Robertson-Berger typen (se omtale i teksten).

Et typisk instrument har en båndbredde på 1 nm, så summationen i formel (1) er simpel i praksis; den kan begrænses til at strække sig over intervallet 290 til 400 nm fordi der normalt ikke kan måles stråling med bølgelængder kortere end 290 nm. En anden måde at betragte formel (1) på, er, at resultatet E_{CIE} grafisk kan opfattes som arealet under kurven bestemt ved produktet $E_\lambda V_\lambda$ (se f.eks. figur 5).

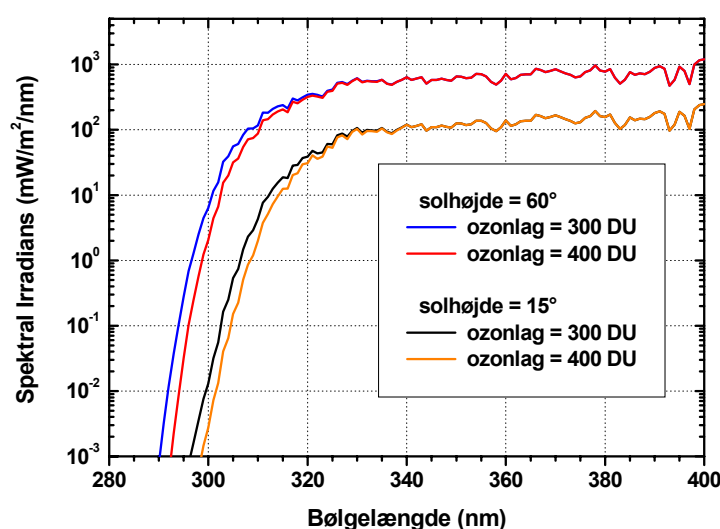


Figur 5. Produktet $E_\lambda V_\lambda$ af den målte spektrale irradians, E_λ , og CIE-virkningsspektret, V_λ , er her vist for to solhøjder (15 og 60 grader), men for samme tykkelse af ozonlaget. Bemærk, at værdierne for $E_\lambda V_\lambda$ for solhøjde=15° er 20 gange mindre end vist på figuren – det viser hvor svag UV-strålingen er ved lave

solhøjder. Arealet under kurverne svarer til den vægtede CIE-irradians E_{CIE} (her i mW/m^2). Som det ses, er det for stor solhøjde især stråling med bølgelængder mellem 300 og 320 nm der bidrager til E_{CIE} (den største del af arealet under den blå kurve), mens bølgelængder i UV-A området bidrager forholdsvis mere til E_{CIE} ved lav solhøjde. Det største bidrag til arealet under kurven kommer fra bølgelængdeområderne der er markeret med henholdsvis en blå og rød ”kasse” over kurverne.

I figur 5 ses, at det største bidrag til E_{CIE} ved stor solhøjde kommer fra bølgelængder mellem 300 og 315 nm (altså UV-B), mens der ved lav solhøjde kommer betydelige bidrag til E_{CIE} fra de længere bølgelængder i UV-A området.

UV-strålingens intensitet på jordens overflade afhænger stærkt af solhøjden. Jo højere solen står på himlen jo mere intens er strålingen. Derudover afhænger strålingens intensitet (irradians) af ozonlagets tykkelse: jo tyndere ozonlag jo mere intens er strålingen. Figur 6 viser eksempler på den målte spektrale intensitet ved to solhøjder og to værdier for ozonlagets tykkelse.



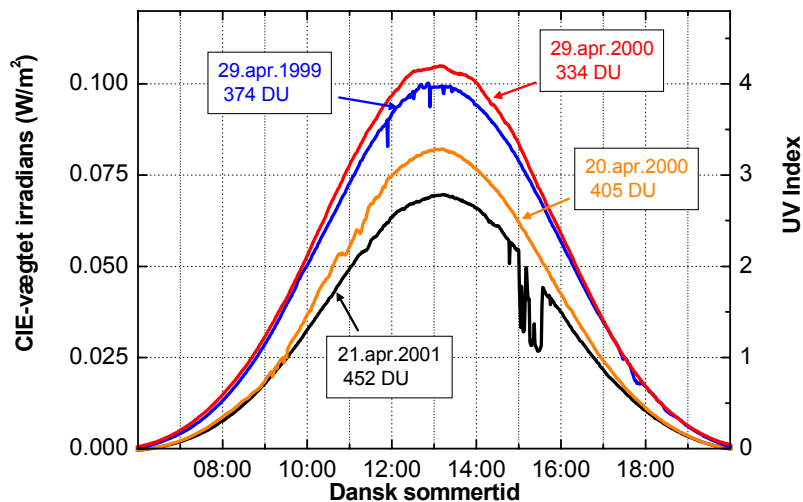
Figur 6. Eksempler på UV-strålingen ved skyfri himmel: den afhænger især af solhøjden men også af ozonlagets tykkelse. Bemærk den logaritmiske y-akse. Det ses, at intensiteten (den spektrale irradians) i UV-A området ved en solhøjde på 60° er ca. 4 gange så stor som ved en solhøjde på 15°. Men intensiteten i UV-B området ved en solhøjde på 60° kan være mere end 100 gange større end intensiteten ved en solhøjde på 15°. Bemærk endvidere hvor hurtigt intensiteten aftager når bølgelængden bliver kortere end 320 nm: den aftager mellem 10.000 og 100.000 gange henover et interval på kun 20-25 nm.

UV-indeks / UV-index.

Ved formidling af oplysninger om UV stråling til offentligheden er der internationalt blevet enighed om, at det er praktisk, at der anvendes en form for ”termometer-skala” til angivelse af strålingens ”intensitet” fremfor at anvende den korrekte tekniske enhed (W/m^2). Det er således blevet vedtaget at anvende udtrykket *UV-index* som et mål for E_{CIE} . UV-index er altså et mål for intensiteten af den skadelige UV-stråling. Fordelen ved et internationalt anerkendt udtryk er, at UV-index’et er det samme uanset hvem der formidler det, og uanset hvor i verden man befinder sig. UV-index er direkte proportional med E_{CIE} :

$$UV\text{-index} = 40 \cdot E_{CIE} [W / m^2] = \frac{E_{CIE} [mW / m^2]}{25} \quad (2)$$

Vi ved fra målinger, at E_{CIE} højst kan blive ca. 0.4 W/m^2 ved middagstid ved ækvator, hvor solen står tæt ved zenit, og hvor tykkelsen af ozonlaget er forholdsvis lille. Det betyder, at UV-index kan variere fra 0 til ca. 16. I Danmark, hvor solenhøjden bliver højst 60° , bliver UV-index højst 7 ved middagstid i sommermånederne. Figur 7 viser eksempler på målinger af E_{CIE} i april i København med forskellig tykkelse af ozonlaget.



Figur 7. Eksempler på målinger af E_{CIE} i april i København. Målingerne er foretaget på dage i april måned i forskellige år, hvor vejret har været næsten skyfrit det meste af dagen. Man ser dog let indflydelse af fintvejrsskyer den 21. april 2001 omkring kl. 13. Indflydelsen af ozonlaget ses også tydeligt: E_{CIE} er mindst når ozonlaget er tykkest (21. april 2001). For alle dagene har der for alle klokkeslæt næsten været samme solhøjde fordi der højst er 9 dage mellem målingerne. Solhøjden kl. 08:00 og kl. 13:00 er hhv. 20° og 50° . Skala på venstre y-akse er W/m^2 mens skala for UV-index er på højre y-akse.

Dosis og eksponering.

Den øjeblikkelige ”intensitet” af stråling inden for et afgrænset bølgelængdeområde betegnes *irradians* (eller bestrålingsstyrke) og måles i W/m^2 . Hvis strålingen måles spektralt – dvs. bølgelængde for bølgelængde – angives den i enheden $\text{W/m}^2/\text{nm}$ og betegnes den *spektrale irradians* eller den spektrale bestrålingsstyrke (f.eks. figur 6). Irradiansen, der skyldes stråling i bølgelængde-intervallet fra λ_1 til λ_2 og som f.eks. kan betegnes $E(\lambda_1-\lambda_2)$, er givet ved integralet af den spektrale irradians E_λ fra λ_1 til λ_2

$$E(\lambda_1-\lambda_2) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_\lambda d\lambda \rightarrow \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_\lambda \Delta\lambda \quad (3)$$

hvor summationen anvendes i praksis, og hvor $\Delta\lambda$ er måleinstrumentets båndbredde (typisk 1 nm). F.eks. er den samlede (uvægtede) UV-B strålings ”intensitet” givet ved

$$E(280-315) = E_{UV-B} = \int_{280}^{315} E_\lambda d\lambda \rightarrow \sum_{280}^{315} E_\lambda \Delta\lambda \quad (4)$$

mens en vægtet irradians (”intensitet”) beregnes som vist i ligning 1.

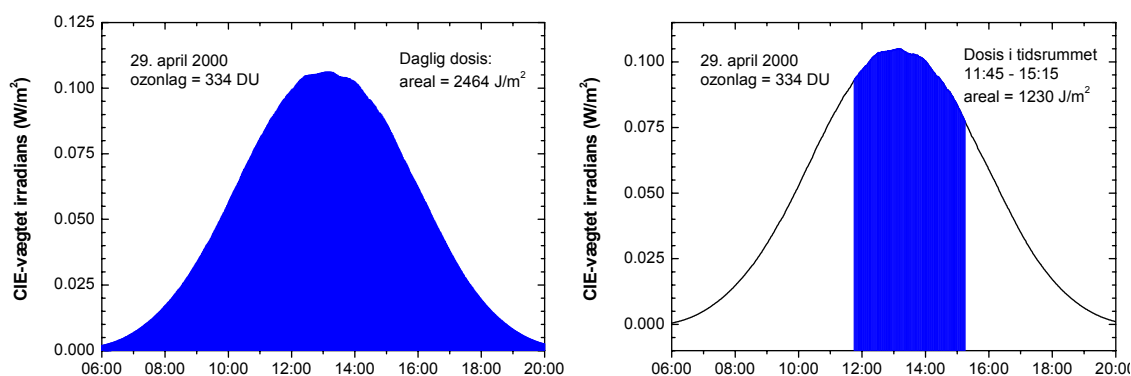
Dosis, eller eksponering, er et udtryk for en kumuleret effekt, altså noget der er opsamlet/ophobet gennem et vist tidsrum. I denne sammenhæng er dosis et udtryk for, hvor meget energi der rammer en arealenhed i bestrålingstidsrummet. Hvis et areal

bestråles med irradiansen E_{CIE} i tidsrummet fra t_1 til t_2 , er dosis, eller eksponeringen, der betegnes H_{CIE} , givet ved

$$H_{CIE} = H_{CIE}(t_1-t_2) = \int_{t_1}^{t_2} E_{CIE}(t) dt \rightarrow \sum_{t_1}^{t_2} E_{CIE}(t) \Delta t \quad (5)$$

Enheden for dosis bliver J/m^2 . I formel (5) er det med $E_{CIE}(t)$ eksplicit anført, at E_{CIE} kan variere med tiden gennem tidsrummet fra t_1 til t_2 . Hvis E_{CIE} er konstant gennem tidsrummet fra t_1 til t_2 er dosis i dette tidsrum givet ved produktet af E_{CIE} i W/m^2 og tidsrummets længde (t_2-t_1) i sekunder. I praksis anvendes summationen i formel (5), og hvis E_{CIE} varierer, splittes tidsrummet fra t_1 til t_2 op i passende små tidsintervaller (f.eks. 1 minut eller 1 sekund) i hvilke E_{CIE} ikke varierer. Se noten nederst på siden.¹

Grafisk kan man illustrere begrebet dosis, eller eksponering, som arealet under kurven for $E_{CIE}(t)$ fra tidspunktet t_1 til tidspunktet t_2 . Hvis vi f.eks. ser på målingerne fra den 29. april 2000 (figur 7) kan vi f.eks. beregne dosis for hele dagen og dosis for tidsrummet fra kl. 11:45 til kl. 15:15. Det er vist i figur 8, hvor vi kan se, at dosis over hele dagen (på en vandret flade) er $2.464 J/m^2$ mens dosis i tidsrummet fra kl. 11:45 til kl. 15:15 er $1.230 J/m^2$, altså ca. den halve dags-dosis.



Figur 8. Illustration af dosis ved eksempel på målinger af E_{CIE} i København den 29. april 2000. Dosis kan illustreres ved arealet under kurven for E_{CIE} .

Hvor meget skal der til før man bliver solskoldet?

Det korte svar er, at det afhænger af hudtypen og af dosis – dvs. af hudtype, irradians og eksponeringstid. Det er velkendt, at en person med en lys hudtype (ingen eller meget lidt pigmentering) lettere bliver solskoldet end en person med en mørk hudtype og hudlæger og fotobiologer har i tidens løb undersøgt denne sammenhæng. Det viser sig, at der efter bestråling af huden med UV stråling kommer en reaktion i form af en hudrødmen, en let solskoldning – man får et 'erythem.' Erythem er i virkeligheden en forsvarsreaktion: huden forsøger at beskytte sig selv mod bestrålingen, og det sker ved at huden danner mere pigment (et mørkt farvestof). Pigmentet kaldes melanin. Den

¹ Note. Intensitet (irradians) og dosis (eksponering) kan illustreres ved følgende. Antag, at du stiller dig på en flise udendørs i regnvejr. For nemheds skyld antager vi, at flisens areal er $1 m^2$ og at regndråberne alle har samme størrelse. Intensiteten (irradiansen) på et bestemt tidspunkt er antallet af regndråber, der på rammer flisen i et sekund omkring dette tidspunkt. Dosis (eksponering) er antallet af regndråber der rammer flisen indenfor et tidsrum (f.eks. 5 sekunder, 10 minutter eller 2 timer). Regnen kan i dette tidsrum være mere eller mindre intens, svarende til, at intensiteten varierer gennem tidsrummet.

dosis er nødvendig for at fremprovokere et erythem, der lige akkurat kan observeres et døgn efter bestrålingen, kaldes for en minimum-erythem-dosis, eller MED. På dansk kan vi kalde det for en rødme-dosis. Den er ca. 200 J/m^2 – svarende til H_{CIE} – for personer med en hud, der har meget lidt pigment i huden, dvs. personer, der stort set altid bliver solskoldet. Det er især rødhårede personer med meget lys hud, en type der er velkendt i Skandinavien og på de engelske øer. Personer med en pigmenteret hud, og som altså kan blive brune, og ikke altid bliver solskoldet, har en større tærskel-dosis, altså en MED der er (noget) større end ca. 200 J/m^2 . Størrelsen MED er altså velegnet til at bedømme om en bestemt person bliver solskoldet. Problemet med MED er, at dens værdi afhænger af hudtypen. Et andet problem er, at næsten alle personer uanset hudtype (måske undtaget personer, der slet ikke har pigmenter i huden) danner flere pigmenter i huden i løbet af sommeren. Huden er mest følsom i foråret, hvor man endnu ikke har været udsat for UV stråling gennem en lang vinter, mens er mindre følsom sidst på sommeren, netop fordi man har været eksponeret for sommerens UV stråling. Dvs., at selv for en bestemt hudtype varierer MED-værdien gennem året.

Man kan groft inddele hudtyper i 4 grupper efter hudens evne til henholdsvis at blive solskoldet og til at blive brun. Se tabel 1.

Hudtype	bliver solskoldet	bliver brun	MED ca.	typisk øjenfarve	typisk hårfarve
1	altid	aldrig	200 J/m^2	blå	rød
2	ofte	ofte	400 J/m^2	blågrøn	blond
3	sjældent	næsten altid	700 J/m^2	grå/brun	brun
4	aldrig	altid	1000 J/m^2	brun	sort

Tabel 1. Inddeling af hudtyper i fire grupper efter hudens evne til at blive brun hhv. solskoldet og en omtrentlig størrelse af MED for de enkelte grupper. Bemærk, at der findes andre inddelinger af hudtyper og andre MED-inddelinger end den der er vist her.

Undersøgelser foretaget i Danmark viser, at en ”gennemsnits-dansker” har hudtype 2. Det vil sige, at en gennemsnits-dansker bliver solskoldet efter en dosis på ca. 400 J/m^2 . Som det ses af figur 8, betyder det, at en gennemsnits-dansker den 29. april 2000 ville blive solskoldet efter ca. 1 time i middagssolen.

Hvor lang tid i middagssolen?

Hvis vi kender en persons hudtype, dvs. tærskel-dosis for solskoldning, og vi kender forløbet af UV-strålingens intensitet $E_{CIE}(t)$, kan vi forholdsvis simpelt ”regne baglæns” og bestemme den tid vi kan opholde os i solen uden at blive solskoldet. Det er den metode der anvendes i DMI’s solvarsling. I solvarslingen beregnes forløbet af $E_{CIE}(t)$ i middagssolen, og der beregnes en middelværdi. Herefter beregnes antal minutter inden man bliver solskoldet ved at dividere tærskel-dosis (ca. 400 J/m^2) med middelværdien af intensiteten $E_{CIE}(t)$ i middagssolen. Det giver antallet sekunder en gennemsnits-dansker kan opholde sig i solen uden at blive solskoldet. Der tages højde for ozonlagets tykkelse, for skyer, og for det faktum, at tærskel-dosis ændrer sig lidt gennem sommeren, fordi huden bliver pigmenteret. Et eksempel på solvarslingen fra DMI er vist i figur 9.

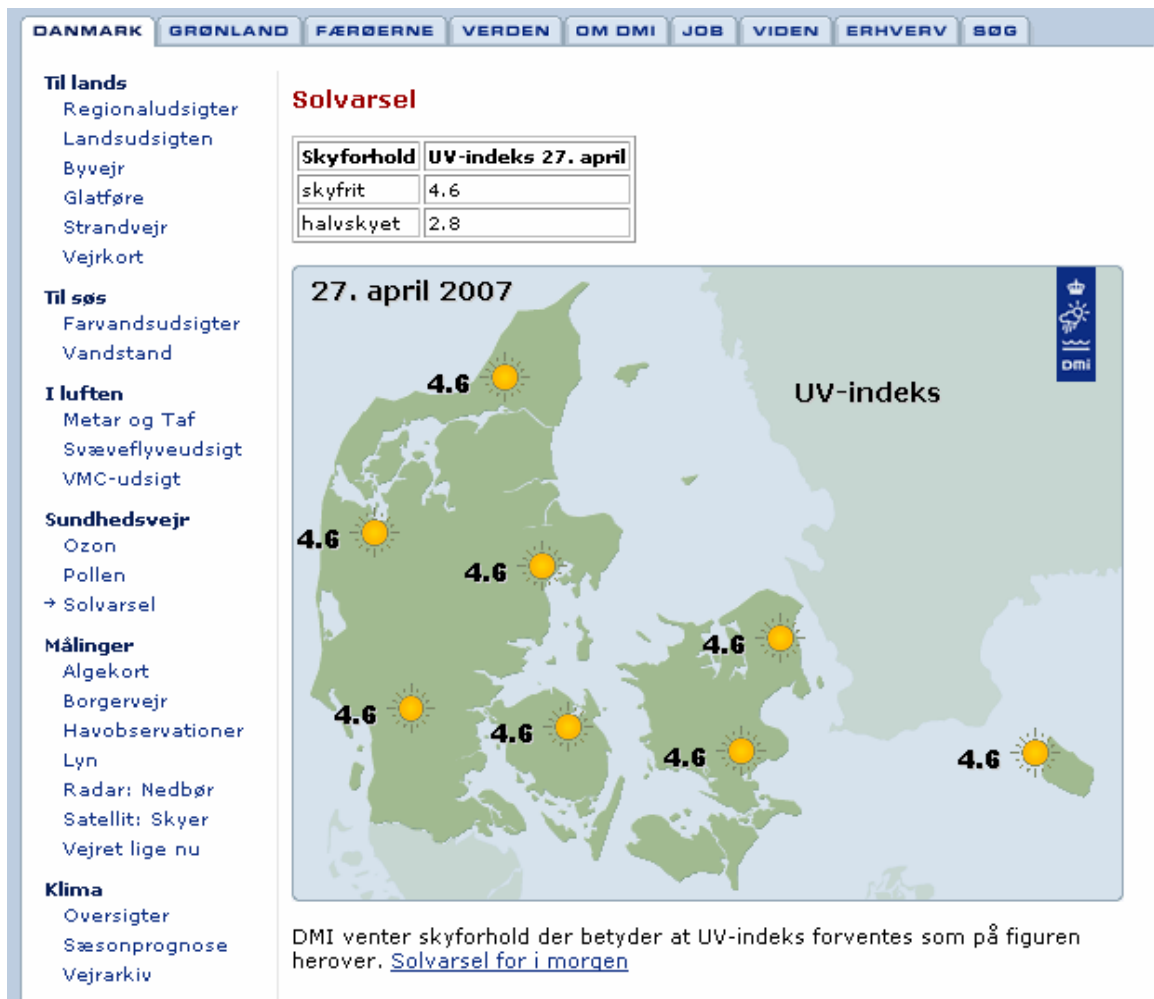
Tabel 2 viser skematisk hvor lang tid en gennemsnits-dansker kan opholde sig i middagssolen i skyfrit vejr uden beskyttelse ved forskellige værdier af UV-indekset.

UV-indeks	0 – 3	3 – 6	6 – 8	8 – 10	over 10
risiko	ingen/lille	moderat	stor	meget stor	ekstrem
minutter i middagssolen	ingen grænse	140 – 45	45 – 30	30 – 20	< 20

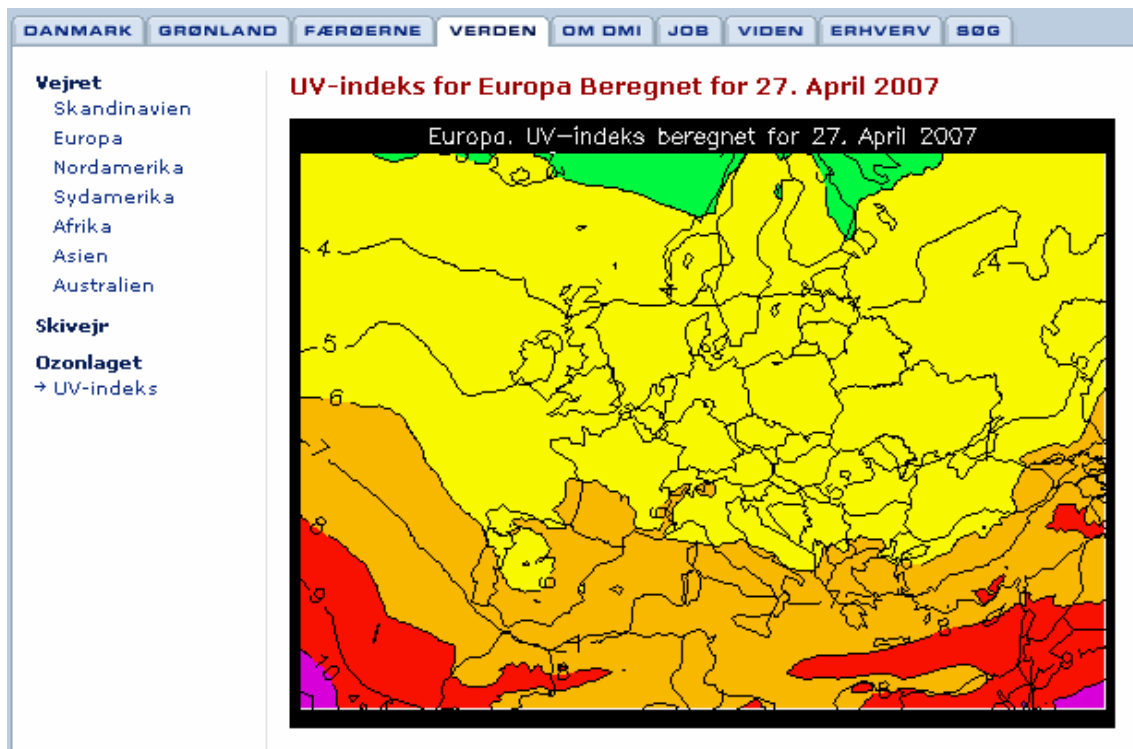
Tabel 2. Så længe kan en gennemsnitlig dansk hud ca. opholde sig i middagssolen uden beskyttelse på skyfri dage før den bliver solskoldet. Farverne i risiko-grupperingen anvendes af WHO.

Solvarsling og UV-indeks.

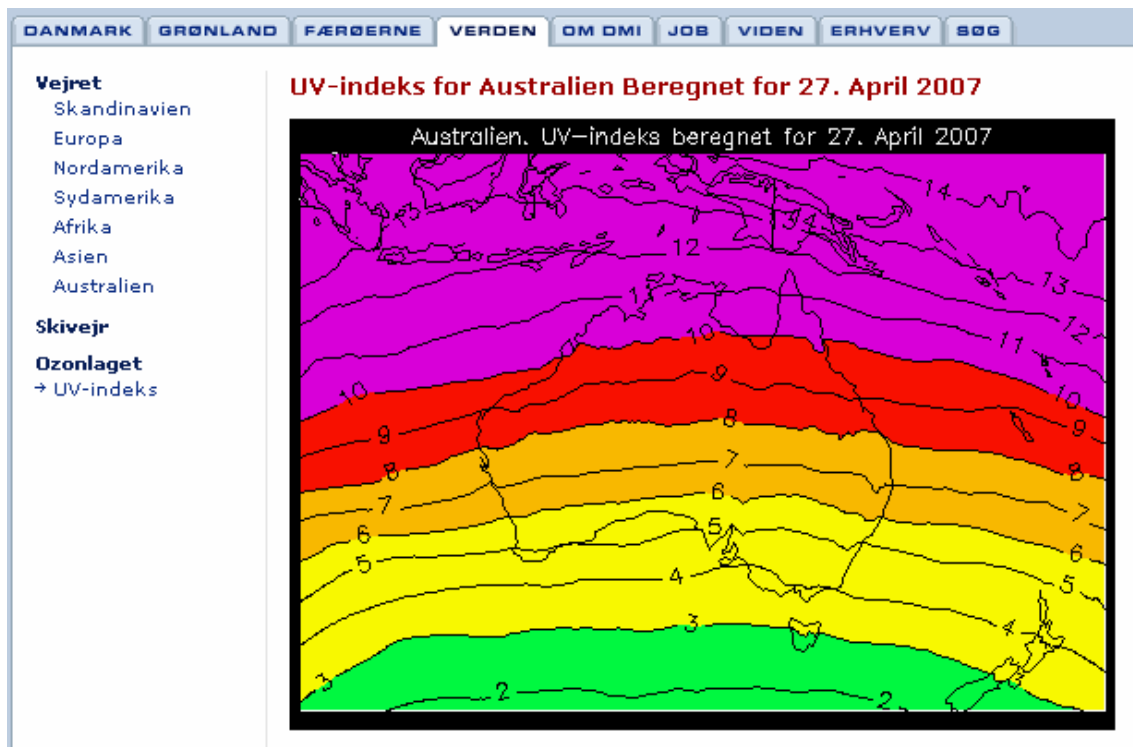
På dmi.dk kan du se den såkaldte solvarsling, der daglig giver information om UV-indeks. Et eksempel fra denne service er vist i figur 9. Tilsvarende service kan man finde i mange andre lande, og UV-indeks (UV-index) er internationalt. DMI kan desuden hver dag oplyse om UV-indeks for hele verden i form af farvekodede kort. Et par eksempler er vist i figur 10 og 11.



Figur 9. Eksempel på DMI's solvarsling, her for den 27. april 2007. Varslingen viser dels (øverst) hvor stort UV-indeks forventes at blive når der er skyfrit hhv. halvskyet og dels UV-indeks forskellige steder i landet under hensyntagen til de forventede skyforhold.



Figur 10. Eksempel på DMI's UV-indeks service, der viser forventet UV-indeks for skyfri himmel ved lokal middag overalt på jorden. Her er vist data for den 27. april 2007 for Europa. Tallene der følger de fuldt optrukne sorte konturer er UV-indeks-konturer. Bemærk UV-indeks i Alperne og Kaukasus.



Figur 11. Eksempel på DMI's UV-indeks service, der viser forventet UV-indeks for skyfri himmel ved lokal middag overalt på jorden. Her er vist data for den 27. april 2007 for Australien. Tallene der følger de fuldt optrukne sorte konturer er UV-indeks-konturer. Bemærk UV-indeks på 13-14 ved Ækvator og, at UV-indeks spænder meget vidt i Australien.

Hvordan måles UV stråling.

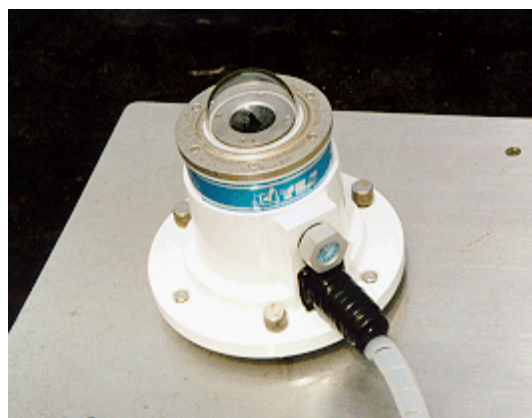
Der anvendes mange forskellige typer instrumenter til måling af UV stråling afhængig af det sigte man har med målingerne. Til forskningsmæssig brug er det ofte spektral-instrumenter der anvendes, såkaldte spektroradiometre, der måler hele UV spektret bølgelængde for bølgelængde. I praksis måler de typisk UV spektret i diskrete skridt på 1 nm med en båndbredde på 1 nm. Sådanne instrumenter er kostbare, dyre at vedligeholde og de kræver veluddannet personale. Til gengæld er data fra disse instrumenter anvendelige til mange forskellige formål: man kan f.eks. helt præcist beregne den CIE-vægtede irradians (se tidligere afsnit).

Andre instrumenter, der er tiltænkt et bestemt formål, f.eks. måling af UV-index, er typisk såkaldte bredbåndsinstrumenter. Det er instrumenter, der kan måle i et større eller mindre bølgelængdeområde (10 til 100 nm). Instrumenter til måling af den hudskadelige UV stråling, eller UV-index, bør naturligvis have et spektralrespons, der svarer nøje til CIE-virkningsspektret (figur 4). Det betyder, at hvis instrumentet bestråles med UV stråling ved diskrete bølgelængder, skal instrumentets relative udgangssignal følge CIE-kurven (figur 4) så nøje som muligt. Det er imidlertid meget vanskeligt at fremstille instrumenter med sådan en egenskab, men der eksisterer forskellige typer på markedet, som med god tilnærmelse har en spektralrespons, der ”ligner” CIE-spektret. De er bl.a. kendt som Robertson-Berger-typen efter to amerikanere, der fremstillede de første sådanne instrumenter. Et instrument af denne type er vist i figur 12. Det mest vanskelige ved valg af detektor eller instrument til måling af UV stråling, og til måling af CIE-vægtet stråling i særdeleshed, er, at instrumentet ikke må give et udgangssignal når det bestråles med stærk synlig stråling (lys) alene. Blandt andet derfor er det vanskeligt at konstruere et billigt instrument.

Figur 12.

Et instrument beregnet til måling af den hudskadelige UV stråling, eller UV-indeks, af Robertson-Berger type. Instrumentet har en spektralrespons, der nogenlunde svarer til CIE-virkningsspektret således, at instrumentets udgangssignal er proportional med den vægtede CIE-irradians.

Instrumentet måler irradiansen på en vandret flade.



For alle instrumenter gælder det, at man måler irradiansen på en vandret overflade, og at instrumenterne skal have en vinkelrespons der er så tæt på den ideelle vinkelrespons som muligt. Den ideelle vinkelrespons er en såkaldt cosinus-respons, der betyder, at instrumentets relative udgangssignal som funktion af lyskildens zenit-vinkel (når instrumentet står korrekt monteret vandret) følger cosinus til zenitvinklen. De fleste instrumenters udgangssignal er faktisk for lille når zenitvinklen er stor, de måler for lidt.

Appendix A.

bølgelængde λ	værdi af V_λ
$250 \text{ nm} \leq \lambda \leq 298 \text{ nm}$	$V_\lambda = 1,0$
$298 \text{ nm} < \lambda \leq 328 \text{ nm}$	$V_\lambda = 10^{0,094 \cdot (298-\lambda)}$ eller $\log V_\lambda = 0,094 \cdot (298-\lambda)$
$328 \text{ nm} < \lambda \leq 400 \text{ nm}$	$V_\lambda = 10^{0,015 \cdot (139-\lambda)}$ eller $\log V_\lambda = 0,015 \cdot (139-\lambda)$

Tabel A1. Værdier for CIE-virkningsspektret V_λ . Log er 10-tals logaritmen.