

Måling av naturlig ultrafiolett stråling i Norge. Årsrapport for 1998 og 1999.

Norvang LT., Johnsen B., Hannevik M., Mikkeltorg O. og Saxebøl G.

Innholdsfortegnelse

<u>Sammendrag</u>	2
1. Innledning	4
2. Målsetting for et norsk nettverk	5
3. Beskrivelse av nettverket.	5
3.1 Stasjonene	5
3.2 Instrumentering	6
4. Drift av nettverket	7
5. Datalagring og bearbeiding	8
5.1 Bruk av data for informasjon.	8
5.2 UV-indeks	8
5.3 Minimal Erythem Dose, MED.	9
6. Måleresultater for perioden jan. 1998 til nov. 1999.	10
6.1 Månedsmiddel av dagsdoser	11
6.2 Årsdoser	12
6.3 Solformørkelse	13
7. Konklusjon	13
8. Referanser	14
<u>Appendiks A: Ord og uttrykk</u>	15
<u>Appendiks B: Kalibrering og drift av instrumenter</u>	16
B.1 Basisinstrumenter GUV 541	16
B.2 Spektralradiometer Bentham DM 150	18
B.3 Sammenligningsmålinger	19

Sammendrag

Nettverket for overvåking av naturlig ultrafiolett (UV) stråling i Norge består av 8 stasjoner fra Grimstad i sør til Ny-Ålesund i nord. Seks av målestasjonene har vært operative siden begynnelsen av 1996, mens Oslo var i drift allerede i februar 1994. En ny stasjon ble satt i drift i mars 1999 på Østerås i Bærum. Sosial og helsedepartementet og Miljøverndepartementet finansierer nettverket som administreres av Statens strålevern og Statens Forurensningstilsyn (SFT) ved NILU.

Basisinstrumentene på målestasjonene er flerkanalsinstrumenter, GUV 541 fra Biospherical Instruments. De måler irradians innenfor fem bølgelengdeintervaller i UV-området. Måledata gir mulighet for beregning av flere størrelser, blant annet biologisk effektiv irradians, dose og UV-indeks. NILU har videre utviklet programmer for beregning av skytetthet, ozon og bakkerefleksjon.

Måledata logges automatisk hvert minutt året rundt og lagres på Strålevernet og på NILU. Endring i instrumentenes følsomhet fra produksjon av instrumentene til recalibrering sommeren 1999 presenteres. Data korrigeres årlig for denne endringen. I likhet med den første toårsperioden nettverket har vært i drift, har det også den siste toårsperioden vært få avbrudd i målingene. Det har de siste to årene vært en grundig gjennomgang og forbedring av nettverkets kvalitet, noe som blant annet innebærer at data er direkte sammenlignbare med data fra andre nettverk. En viktig forbedring av nettverket har vært oppgradering og forbedring av cosinus-responsen til spektralradiometret. Spektralradiometret fungerer som en lokal referanse for nettverket.

I rapporten presenteres totaldose og variasjoner over året for samtlige stasjoner for 1998 og 1999. Det gis eksempler på anvendelser av data til bl.a. beregning av UV-indeks. UV-nivået avtar med økende breddegrad. UV-indeksen målt midt på dagen i mai 1999 er en faktor 2 høyere i Bergen enn i Ny-Ålesund. Forskjell i dagsdose er imidlertid minimal for samme tid på året fordi dagens lengde øker med økende breddegrad. I total årtdose er det omtrent en halvering fra Landvik (58°N) til Ny-Ålesund (79°N). Det gis videre et eksempel på hvordan data kan brukes til å finne dagsdosen et barn kan bli eksponert for på ubeskyttet hud en vår- eller sommerdag. Dosen overskrider det som tilsvarer sikker soltid for lys, nordisk hud. Med en lang siesta midt på dagen kan dosen reduseres betraktelig.

Data fra nettverket er siste året gjort tilgjengelig for publikum på Strålevernets internettsider: <http://uv.nrpa.no/>.

Fire års måleserier gir ikke grunnlag for trendanalyser, men på sikt vil data fra nettverket kunne brukes til vurdering av eventuelle endringer av UV-nivå. De vil også kunne brukes til å opprette en grunnlinje for å estimere manglende dosebidrag ved avbrudd i målingene.

1. Innledning

Atmosfærens betydning for totalmiljøet har fått stor oppmerksomhet. En viktig spørsmålstilling er hvorvidt og i hvor stor grad menneskeskapte aktiviteter har endret naturlige balanser og ført til endringer i atmosfærens sammensetning. Biologiske og klimatiske effekter fra dagens nivåer av miljøskadelige og klimaforstyrrende gassutslipp, og prognosene framover er usikre fordi det globalt sett eksisterer få observasjonssteder for slike miljøfaktorer. Få av disse stedene har langvarige samtidige registreringer av ozon og UV-stråling. Et redusert ozonlag vil medføre at en større andel kortbølget UV-stråling når ned til jordoverflaten.

UV-stråling er elektromagnetisk stråling med bølgelengder i området 100-400nm¹. UV-stråling inndeles ofte i bølgelengdeområdene UVC fra 200-280nm, UVB fra 280-320nm og UVA fra 320-400nm. UVC og delvis UVB-strålingen fra sola absorberes av ozonlaget mens UVA slipper nesten uhindret gjennom atmosfæren. Målinger av naturlig UV er derfor begrenset til UVA og UVB-området.

USA og Australia har hatt UV-nettverk siden midten av 70-tallet. Andre land, blant dem England, Sverige og Finland, har i løpet av de siste ti årene opprettet målestasjoner for naturlig UV. Disse nettverkene er primært rettet mot den helsemessige siden av UV-stråling. Et nordisk samarbeid om UV-nettverk begynte i 1989 etter initiativ fra strålevernsmyndighetene. Dette førte til at planleggingen av et landsdekkende UV-nettverk kom i gang, hvor flere av landets forskningsmiljøer var representert. På slutten av 1994 vedtok helse- og miljøvernmyndighetene at et slikt nettverk skulle etableres i Norge.

En dokumentert positiv effekt av UV-stråling er dannelsen av D-vitamin. Man trenger imidlertid kun kort tids soling for å få dannet tilstrekkelig D-vitamin. Sommerstid midt på dagen, er 15 minutter daglig soling av ansikt, armer og hender nok (1). Eksponering utover dette kan gi negative helseeffekter. Direkte helseeffekter av UV-eksponering er begrenset til øyne og hud, deriblant solforbrenning av hud og betennelsesreaksjoner på øyet. Mer alvorlige effekter er svekking av immunsystemet og økt risiko for utvikling av grå stær og hudkreft. Krefregisterets data dokumenterer en økning med en faktor åtte i antallet tilfeller av føflekkreft de siste 30 årene (2). Utviklingen har nå flatet ut til omtrent 900 nye tilfeller i året. Forskning tyder på en sammenheng mellom økt kreftrisiko og økt eksponering for UV-stråling gjennom endrede kles- og solingsvaner. Norsk institutt for naturforskning (NINA) har dokumentert at soling er den mest benyttede ferie- og fritidsaktiviteten i Norge (3). På kort sikt synes derfor helseaspektet å være den viktigste siden av de umiddelbare negative effektene av økt UV-eksponering. Den negativ helsepåvirkningen kan reduseres gjennom aktiv kunnskapsformidling, bl.a. basert på de data et norsk UV-nettverk gir.

På lengre sikt kan økologiske konsekvenser av en eventuell endring i den naturlige UV-strålingen få større betydning fordi dette vil påvirke bio-produksjonen og samspillet mellom arter i vår flora, fauna og marine miljø, og ikke bare vår helse, isolert sett. Forskningstokt i Sør-ishavet har påvist at dagens nivå av UV-stråling regulerer plankton produksjonen i disse områdene (4). Polar natur er spesielt sårbar for endringer i det naturlige UV klimaet og vår nær arktiske beliggenhet gjør data fra et norsk UV-nettverk svært verdifulle, også ut fra et miljøsynspunkt. Derfor er nettverket et samarbeid mellom helse og miljømyndighetene.

Nettverket har vært operativt siden januar 1996, og det er tidligere utgitt en årsrapport (5). Sosial og helsedepartementet og Miljøverndepartementet finansierer nettverket som administreres av Statens Strålevern og Statens Forurensningstilsyn (SFT) ved NILU.

¹ nm=nanometer=10⁻⁹ meter

2. Målsetting for et norsk nettverk

Opprettelsen av et norsk UV-nettverk har som overordnet mål å skaffe sikrest mulig data for naturlig UV i Norge for å knytte det til den helse- og miljømessige betydningen av det naturlige strålingsklimaet. Et annet viktig mål er å kunne påvise eventuelle endringer over tid. Det betyr at data må være av internasjonalt akseptert kvalitet. Nettverket må ha god stabilitet i drift av alle stasjonene, registrering, overføring og lagring av data. Overvåking vil også danne grunnlag for eventuelle tiltak i form av varsling av unormalt høye UV-nivåer.

Sekundære mål, gjennom tolkning av data, er beskrevet i stikkordsform:

- Analyser av UV-utviklingen over tid som grunnlag for vurdering av publikumsvarsling.
- Forebyggende og bevisstgjørende opplysningsvirksomhet, rettet mot befolkningens solingsvaner. Undervisning og kompetanseoppbygging.
- Dokumentere årlig og sesongmessig varisjonsbredde for naturlig UV-stråling.
- Etablering av «Grunnlinje» for relatering av framtidige måleresultater.
- Dokumentere sammenheng mellom redusert ozonlag og endret innstråling av UV.
- Kartlegge eventuelle andre faktorerers betydning.
- Geografisk og topografisk fordeling av UV-stråling.
- Grunnlag for mulige satsingsområder innen UV-relatert forskning innenfor jordbruk, havbruk og annen primær- produksjon.
- Bidrag til nordisk og internasjonalt samarbeid.

3. Beskrivelse av nettverket.

3.1 Stasjonene

Det norske nettverket består av 8 basisinstrumenter plassert på følgende faste stasjoner:



Planteforsk Grimstad/Landvik
(58⁰N)
Universitetet i Oslo, Blindern
(60⁰N)
Statens strålevern, Østerås (60⁰N)
Universitetet i Bergen (60⁰N)
Planteforsk Hedmark/Kise (61⁰N)
Universitetet i Trondheim (63⁰N)
Universitetet i Tromsø (70⁰N)
Forskningsstasjonen i Ny-Ålesund
(79⁰N)

I Oslo, Trondheim, Tromsø og Bergen er instrumentene plassert ved de respektive universiteter og ettersett av Fysisk Institutt og Geofysisk institutt (Bergen). På Landvik og Kise er instrumentene ettersett av og plassert ved stasjonene til Norsk institutt for planteforskning, og på Østerås (Bærum) ved Statens strålevern.

NILU er ansvarlig for drift av nettverks-instrumentene i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund mens Strålevernet er ansvarlig for resten. Stasjonene er valgt for å få en best mulig dekning av landet i nord-syd retning og samtidig dekke områder som er representative for landbruk (Kise), har høy befolkningstetthet (Oslo), og høyt antall soltimer i løpet av sommermånedene (Landvik). Instrumentene er plassert på steder der de har mest mulig fri horisont.

Et niende instrument av samme type fungerer som referanse for de øvrige. Det beskrives nærmere nedenfor og i appendiks B.1. Hovedsakelig i løpet av mai til august er instrumentet i bruk for sammenligningsmålinger eller er til recalibrering. Ellers er det plassert på Strålevernet, Østerås, sammen med det faste instrumentet og et spektralradiometer tilknyttet nettverket (3.2 og app B.2). Det er viktig for nettverkets kvalitet at det tas parallelle målinger med de ulike instrumentene. Fordi referanseinstrumentet ikke er tilgjengelig til dette formålet i de mest solrike periodene, ble et nytt fast basis-instrument satt i drift på Østerås i 1999. Ytterligere ett basis-instrument er kjøpt inn, men ikke satt i drift, og skal fungere som reserve for referanse-instrumentet.

3.2 Instrumentering

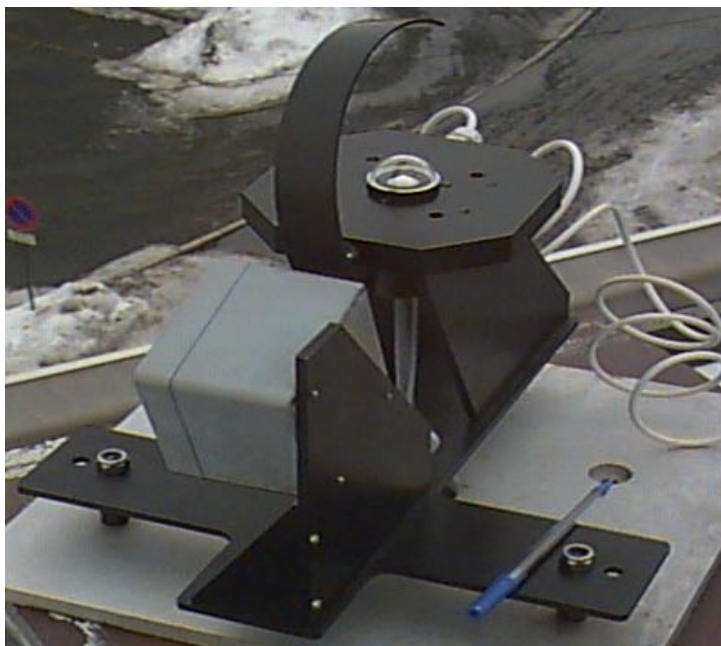
Basisinstrumentene i nettverket er automatiserte flerkansalsinstrumenter, av type GUV 541 fra Biospherical Instruments (fig 1). De måler spektral irradians (innstrålingstetthet) innenfor fem bølglengde-intervaller i UV-området, ved senterbølglengdene 305nm, 313nm, 320 nm, 340nm og 380nm, med båndbredder på ca. 10nm. Instrumentet på Blindern (Oslo) er av sammenlignbar type, GUV 511, men hvor det sitter en sensor for den synlige delen av spekteret (PAR) på plassen til 313nm-kanalen. Kalibrering av instrumentene og endring av følsomhet er nærmere beskrevet i appendiks B.1.



Figur 1. GUV 541 på taket på Østerås. Fugleskitt på diffusoren viser hvor viktig det er å rengjøre instrumentene regelmessig.

Spektralradiometret av type Bentham DM 150 er en dobbelt-gitter monokromator. Det måler spektral irradians (innfallende stråling innenfor et lite bølglengdeintervall) over hele det

aktuelle UV-området og en del av det synlige området, 290-450 nm. Instrumentet er koblet til et skyggebånd (rotating shadow band), slik at det etter å ha målt total innstråling fra hele himmel halvkulen (global stråling), kan skygge for solen for måling av andelen av diffust spredt stråling. Målesekvensen gjentas hvert kvarter (fig 2). Spektralradiometret er til dels automatisert, men krever kontinuerlig oppfølging av kvalifisert personell med kompetanse innen måleteknikk. Instrumentet er nærmere beskrevet i appendiks B.2. Der er det også vist hvordan spektral data kan sammenlignes med GUV-data for å vurdere eventuelle korreksjoner.



Figur 2. Inngangsoptikk til Bentham DM 150 med skyggebånd. Inngangsoptikken er ny i 1999.

4. Drift av nettverket

GUV instrumentet er automatisert og bare avhengig av fungerende datamaskin. Det kreves ingen spesialkunnskap ved stasjonene. Basisinstrumentene har ingen bevegelige deler og er dermed svært robuste. De er temperatur-regulerte ($\sim 40^{\circ}\text{C}$) og logger måledata hvert minutt året gjennom. Klokkene på de lokale PC'ene som logger data på stasjonene, synkroniseres automatisk hvert døgn. Normalt vil tidsavvik mellom stasjonene være mindre enn 10 sekunder. Instrumentene rengjøres og etterses minst én gang i uka. Primært kontrolleres det hvorvidt logging av måledata og strømforsyning fungerer, for så å finne årsak til eventuelle problemer. Det har generelt vært få avbrudd i måleseriene for de fleste stasjoner (1-3 avbrudd), men noen flere for instrumentene i Tromsø i 1998 (8 avbrudd) og Ny-Ålesund i både 1998 og 1999 (12-17 avbrudd). Flere stasjoner har hatt avbrudd fordi GUV-kontroll-enheten har gått i stykker. Strålevernet har etablert et reservelager, slik at det nå maksimalt går 1 uke fra man oppdager brudd til defekte deler er byttet ut og målingene gjenopptatt. Tidligere år har det vært problemer med strømskans ved stasjonene, men dette er utbedret ved installasjon av avbruddsfrie strømforsyninger ved alle Strålevernets stasjoner. Stasjonene har generelt hatt en høy oppetid på over 93% i 1998 og over 95% i 1999, bortsett fra Bergen og de to nordligst plasserte stasjonene. Instrumentene fra Bergen, Trondheim, Tromsø, og Ny-Ålesund var inne på Strålevernets laboratorium i januar og februar 1998 til stabilitetssjekk og annen testing. Dårlig stabilitet førte til at Bergens-instrumentet måtte sendes til fabrikant høsten 1998, og det var ikke i drift igjen før mars 1999. Instrumentet har stabilisert seg etter dette, men må fortsatt ha tett oppfølging. Arbeidet ble utført om vinteren slik at de manglende

dosebidragene ble minst mulig. Estimat av manglende dosebidrag er angitt sammen med årsdoser i figur 6.

5. Datalagring og bearbeiding

Måledata logges på lokale PC'er hvert minutt hele døgnet. Hver natt overføres gårldagens data til Strålevernet og til NILU ved hjelp av et modem- eller Internett basert dataoverføringssystem. Data lagres som ukorrigererte rådata. Det er utviklet en database ved Strålevernet som beregner UV-indeks (se 5.2), daglig maksimal CIE-vektet irradians eller tilsvarende verdi midt på dagen samt integrerte dagsdoser. Under disse beregningene blir data fra hver stasjon korrigert med korresponderende driftsfaktorer og vektkoeffisienter, som beskrevet i appendiks B.1. Ved hjelp av programmer utviklet ved NILU kan det for samtlige stasjoner i nettverket beregnes størrelser som skytetthet, total ozonmengde, bakkerefleksjon, biologisk effektiv irradians og totale dagsdoser. Dette rapporteres i NILU sin årsrapport til SFT for overvåking av ozonlaget.

Data vil kunne legges til grunn for informasjonsvirksomhet, trendanalyser og av ulike forskningsmiljøer, eventuelt også for varsling. For at data skal være tilgjengelig for publikum, er Strålevernets database videreutviklet i 1999 og lagt ut på Internett: <http://uv.nrpa.no/>. Internettssidene ble presentert på en internasjonal Workshop om UV-stråling, eksponering, måling og beskyttelse i Oxford i oktober 1999 (6). UV-indeks, MED (se 5.3), integrert dagsdose og solhøyde presenteres grafisk og i tabellform for alle stasjoner. Man kan velge å se på dagsverdier, ukeverdier eller årsverdier, for ønsket dag eller periode fra oppstart av nettverket i 1996 og frem til gårldagen. I tillegg presenteres dagens UV-indeks for Østerås 'online'. Det er planlagt videre oppgradering av Internett-sidene med blant annet link til andre relevante nettsider, og med mer informasjon om betydning av UV-stråling for typiske eksponerings-situasjoner (for eksempel påske og sommerferie).

5.1 Bruk av data for informasjon.

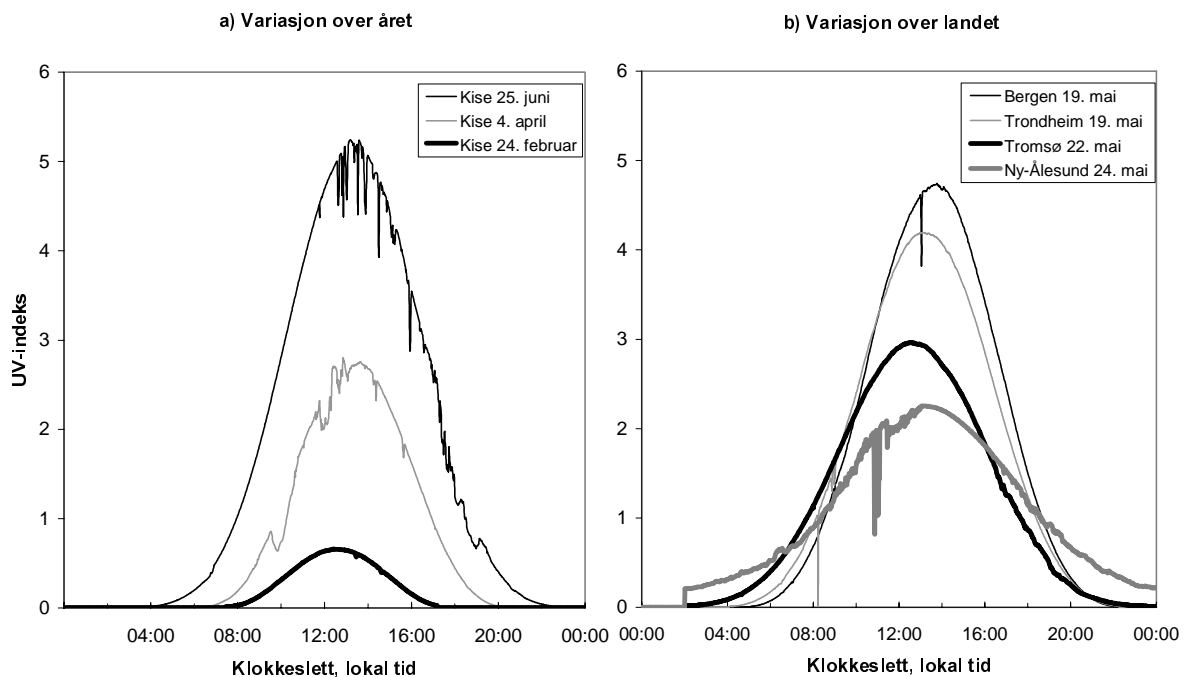
En viktig motivasjon for etablering av nettverket var å snu den negative utviklingen i hudkreft forekomst, særlig med tanke på ondartet føflekk kreft (maligne melanomer). Det har vært en diskusjon internasjonalt om hvordan informasjon skal formidles for å påvirke folks solingsvaner i en positiv retning. I følge Kreftregisteret kan de langt fleste tilfeller forebygges ved endrede solingsvaner. I dette kapittelet gis noen eksempler på bruk av data til informasjonsformål. Det er to enheter som benyttes mest ved vurdering av UV-stråling fra sola; UV-indeks og MED (Minimal Erythem Dose). UV-indeks er en øyeblikksverdi som beskriver hvor sterk UV-strålingen er ved et gitt tidspunkt. MED gir UV-dosen innenfor et gitt tidsintervall. Den kan også gis som en øyeblikksverdi ved å angi nivået som MED/tidsenhet. Nærmere forklaring på de to enhetene gis i de to neste avsnittene.

5.2 UV-indeks

For å skape en internasjonal, enhetlig utformet UV-informasjon har WMO (World Meteorological Organization) anbefalt at man benytter en felles enhet kalt UV-indeks (se definisjoner) (7-8). Det er en verdi som angir styrken på solens UV-stråler, og er normalt mellom 0 og 15 for naturlig solstråling (tab 1, app A). I sør-Norge kan den sommerstid komme opp mot verdien 6 ved klarvær, og det samme gjelder for snødekte flater sent på våren. Ved ekvator kan den komme opp mot 15. UV-indeksen gir en øyeblikksverdi, ikke en

samlet dose over en tidsperiode. Det er vanlig å angi UV-indeksen for den tid på dagen da UV-strålingen er sterkest, dvs. rundt kl 13.00 sommertid.

UV-indeksen er avhengig av solhøyde, skyforhold, hvor sterk refleksjonen fra bakken er, ozonmengde og forurensning i lufta. Et skydekke kan dempe UV-strålingen med opptil 90%, men det er viktig å huske på at UV-nivået faktisk kan øke i delvis skyet vær da skyer reflekterer UV. Nysnø kan reflektere UV-stråling opptil 90%, mens lys sand reflekterer 5-25% av UV-strålingen (1, 9). Figur 3 viser eksempler på hvordan UV-indeksen øker med økende solhøyde, vist som variasjon med tid på døgnet og ulike årstider (3a), og omtrent samme dato men ulike breddegrader (3b). Eksemplene er hentet fra dager med noenlunde pent og klart vær. Lette skyer gir taggete kurver, men uten at omhylningskurven endres mye (Kise 4. april og 25. juni). UV-indeks midt på dagen er en faktor 2 større for Bergen enn for Ny-Ålesund.



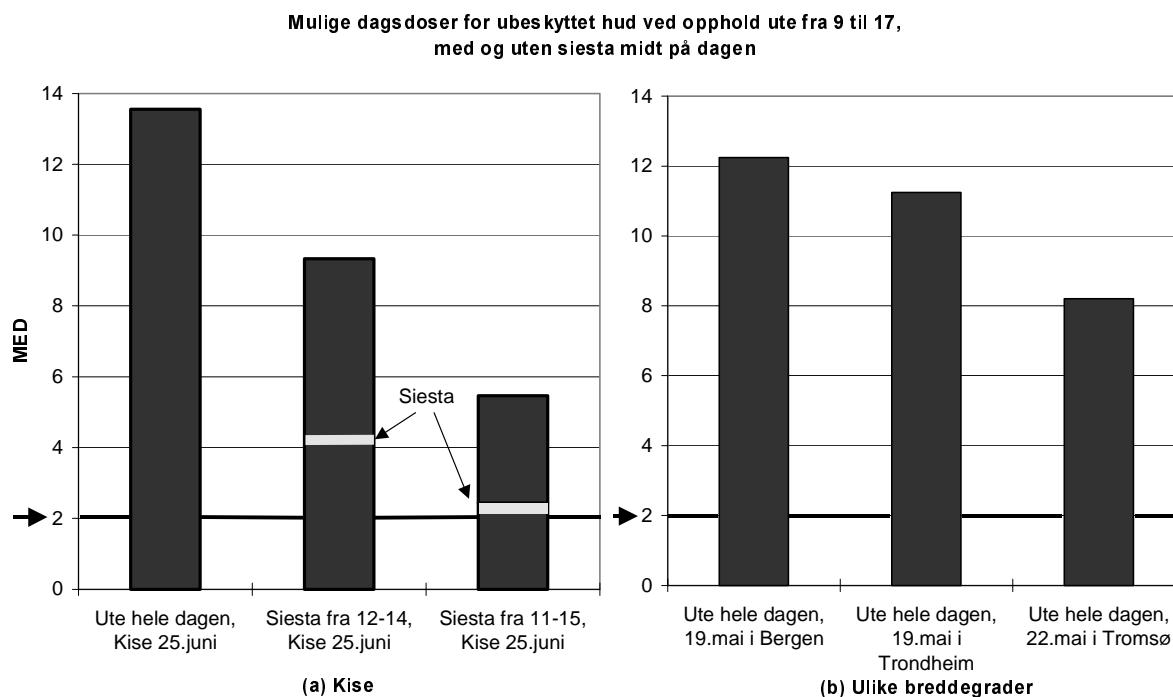
Figur 3: UV-indeks beregnet for a) Kise for tre dager i løpet av hhv. vinter, vår og sommer i 1999, og b) for Bergen og Trondheim 19. mai, Tromsø 22. mai, og Ny-Ålesund 24. mai 1999. Kurvene for april, mai og juni er forskjøvet én time pga. sommertid. Tidspunktet for når maksimalverdien inntreffer er avhengig av lengdegrad (Kise 11°E, Bergen 5°E, Trondheim 10°E, og Tromsø 19°E, Ny-Ålesund 12°E).

5.3 Minimal Erythem Dose, MED.

MED har vært benyttet i lang tid, og tilsvarer den minste energimengden (stråledosen) som skal til for å produsere en så vidt synlig rødhet i det bestrålte området av huden. MED beregnes som CIE-vektet irradians multiplisert med bestrålingstiden, angitt i enheten J/m². For lyse, nordiske hudtyper tilsvarer 1 MED mellom 200-300 J/m² (1, 10). Det vil her blir brukt verdien som er mest anvendt internasjonalt, 210 J/m² (11). Det er imidlertid viktig å huske at variasjonene er store for en og samme hudtype. Barn kan ofte ha mottatt en høyere dose enn det voksne har før huden blir synlig brent. Man skal derfor beskytte barnets hud lenge før huden får en synlig rød farge. ”Sikker” soltid for voksne tilsvarer en bestråling på omtrent 2 MED. I motsetning til UV-indeks som er en øyeblikksverdi og beskriver hvor sterk UV-strålingen er ved et gitt tidspunkt, gir MED-verdien dosen innenfor et gitt tidsintervall.

En del av de nasjonale nettverkene i Europa opererer med instrumenter som gir doseverdier i enheter av MED per tidsenhet, vanligvis MED/time. Strålevernet har to slike instrument i tillegg til basisinstrumentene, kalt UV-biometer SL 501 fra Solar Light. Disse ble plassert på Finse i henholdsvis 1992 og 1998, og måler irradians i henholdsvis horisontal- og vertikalplanet (mot syd). Instrumentet har gitt verdifulle erfaringer for fjernmåling av UV-stråling, men har foreløpig ikke vært en del av UV-nettverket.

Figur 4 viser beregnede dagsdoser i MED som ubeskyttet hud kan bli eksponert for en sommerdag hvis man er ute fra 9 til 17. Utgangspunktet for beregningene er UV-data fra Kise, Bergen, Trondheim og Tromsø (fra fig 3), og 1 MED tilsvarer 210 J/m^2 . Beregningene under tar ikke hensyn til om en person står oppreist eller ligger, eller hudareal som blir eksponert. Irradians for en vertikal flate kan være noe høyere enn for en horisontal flate, som målingene er gjort på. Større barn leker ute nesten hele dagen. Første søyle i figur 4a) og figur 4b) viser at man da kan bli eksponert for en dose langt over det som tilsvarer "sikker" soltid for lys hud (ca. 2 MED), uansett hvor i landet de bor. Små barn har ofte en siesta eller pause fra sola midt på dagen når de sover. Med en lang siesta fra kl. 11 til 15 viser figur 4a) at dagsdosen reduseres vesentlig. Den reelle dosen reduseres også hvis man beskytter seg med klær eller oppholder seg deler av tiden i skyggen.



Figur 4. MED for barn som leker ute, med og uten siesta midt på dagen. Beregningene tar utgangspunkt i UV-data i figur 3, og at barn er ute fra kl. 9 til 17. a) Kise, juni 1999, og b) andre breddegrader, i mai 1999. "Sikker" soltid tilsvarer en bestråling tilsvarende ca. 2 MED.

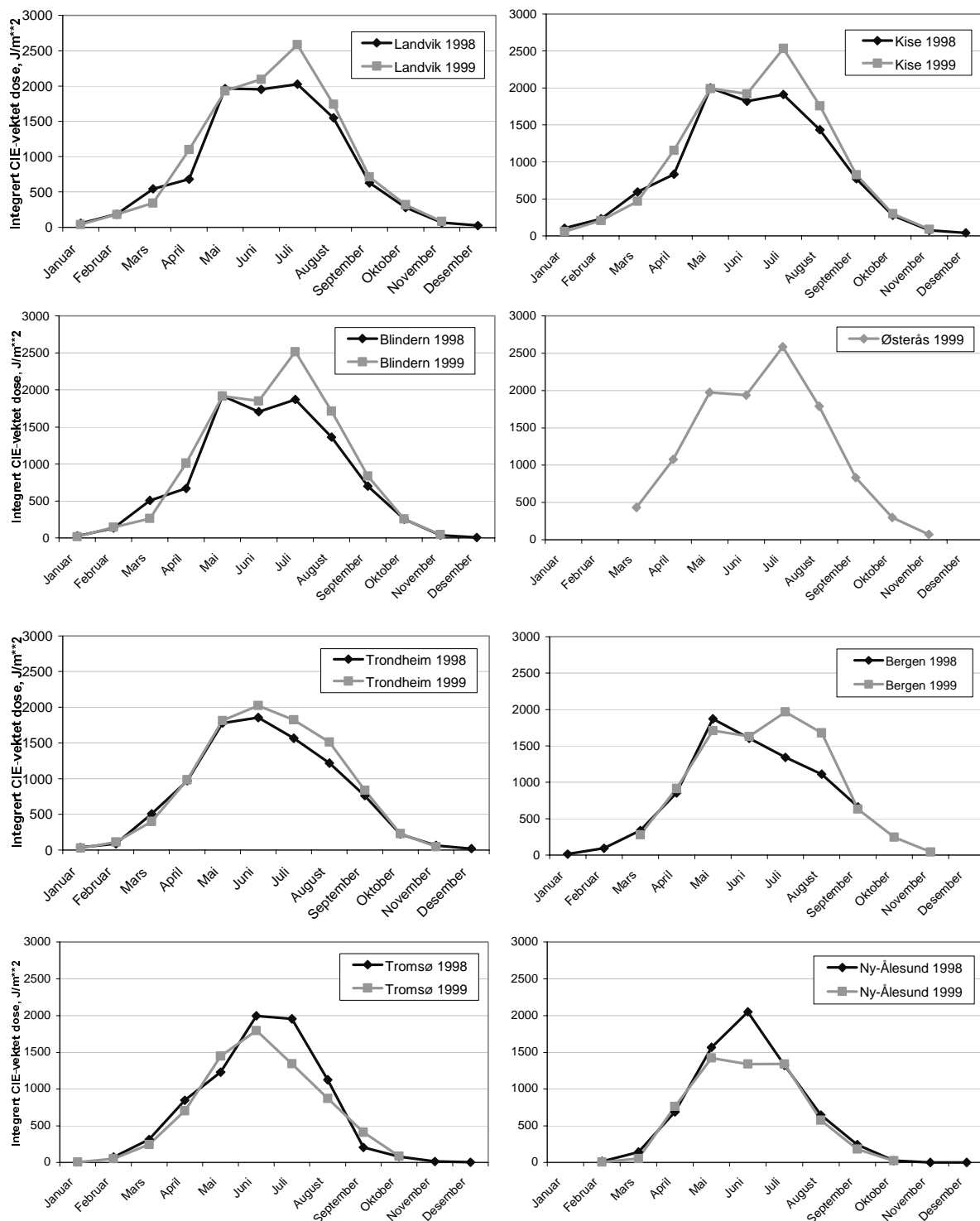
6. Måleresultater for perioden jan. 1998 til nov. 1999.

Rådata fra basisinstrumentene kan brukes til beregning av spektral irradians og biologisk effektiv irradians. Ultrafiolett stråling ved forskjellige bølgelengder er ikke like effektiv til å gi en biologiske virkning, eksempelvis er forbrenningsrisikoen for hvert foton i UVB området omtrent tusen ganger høyere enn for fotoner i UVA området. CIE's virkningsspekter for dannelse av erythem (12) (lett solforbrenning i lys hud, fig 9, app B.2) er her lagt til grunn for

beregning av doser fra GUV-målingene. Beregningene kan lett tilpasses andre virkningsspektre eller en framtidig endring av eksisterende CIE spekter.

I dette avsnittet presenteres resultater fra 1998 og fram til og med november 1999. Data er bearbejdet slik at de gir informasjon om doser (J/m^2) og biologisk effektiv irradians (mW/m^2).

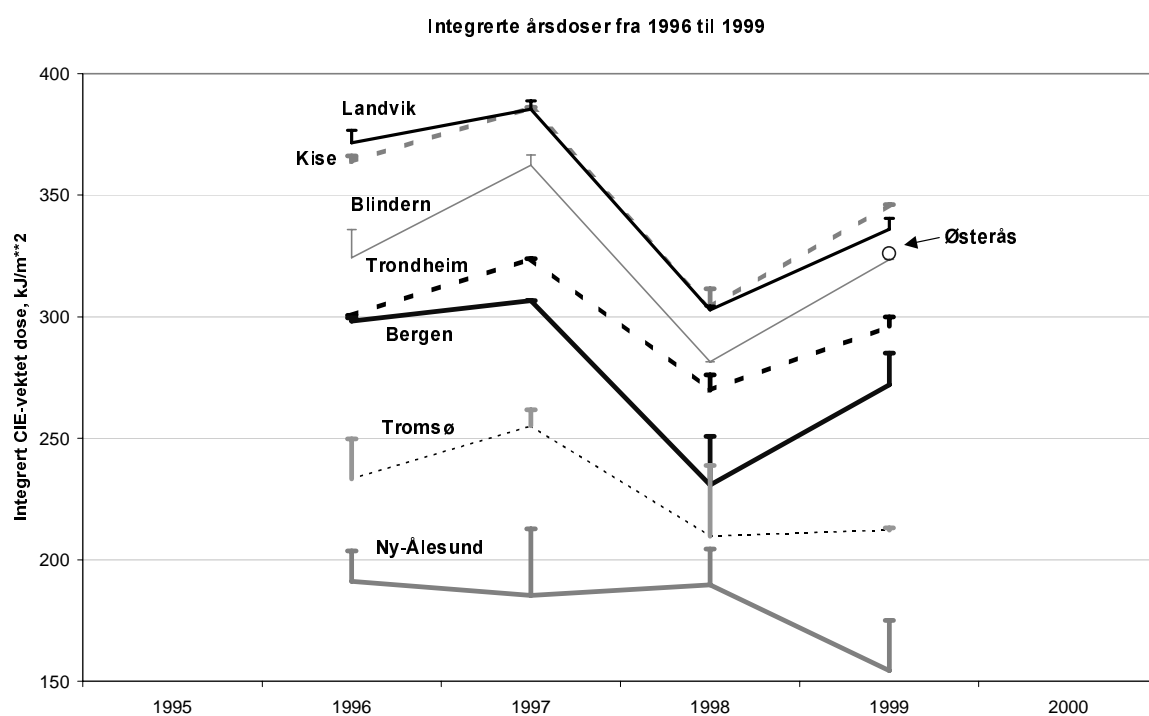
6.1 Månedsmiddel av dagsdoser



Figur 5. Månedlige middelværdier for CIE-vektede doser ved alle stasjonene i nettverket i 1998 og 1999.

Figur 5 viser månedlige middelværdier av dagsdoser for stasjonene i nettverket i 1998 og 1999. Kurvene er usymmetriske for vår og høst, blant annet på grunn av refleksjon fra snødekte flater om våren. Det er også interessant å se at det nesten ikke er forskjell i dosen mellom Bergen og Tromsø midt på sommeren, slik tilfellet er med UV-indeksen i figur 3. Dette skyldes at dagens lengde øker med breddegraden, slik at lavere irradians nordpå langt på vei oppveies av lengre daglig måleperiode. Dosen avtar mye raskere på kurveflankene for de nordlige stasjonene fordi dagene blir kortere. Dårlig vær sørpå sommeren 1998 gir middelværdier i sør-Norge nesten like lave som for nord-Norge disse månedene. I 1999 derimot var det mye pent vær i juli måned i sør-Norge, og dette sees som en topp i middelværdiene denne måneden. Data gir altså en god pekepinn på hvordan "været" var tidligere år.

6.2 Årsdoser

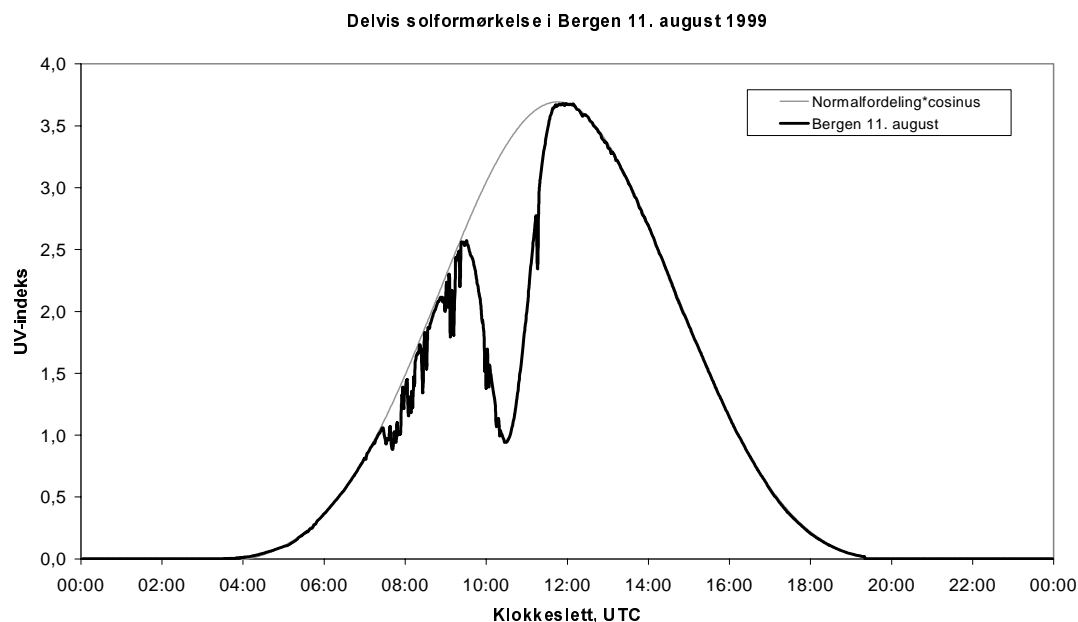


Figur 6. Total årsdose for 7 stasjoner i perioden 1996 til 1999, for Østerås kun i 1999. Manglende dosebidrag er estimert og presentert som feilmargen til hvert målepunkt.

Figur 6 viser total årsdose for samtlige stasjoner for perioden 1996 til 1999. Det er en klar breddegradssammenheng, bortsett fra for Bergen der antall soltimer generelt er mindre enn for de andre stasjonene, og Kise, som har et relativt tørrere klima enn ved de kystnære stasjonene. Forskjellen i årsdose mellom sørligste (Landvik 58°N) og nordligste stasjon (Ny-Ålesund 79°N) er omtrent en faktor 2. Total årsdose på 350 kJ/m² tilsvarer snaut 1700 MED. UV-strålingen sommerstid bidrar sterkest til årsdosen, og det er derfor en klar sammenheng mellom middelværdiene sommerstid og den totale årsdosen for en gitt stasjon. For enkelte stasjoner har avbrudd i målingene resultert i lavere årsdoser enn det som reelt sett har vært tilfelle. Avbrudd sommerstid er spesielt kritisk for den totale dosen, siden dosen per dag da er omtrent 1 kJ/m². Manglende dosebidrag for en stasjon er estimert som et gjennomsnitt av 3 dager før avbrudd og 4 dager i samme tidsrom fra andre år med måledata. De sørlige stasjoner har generelt hatt få avbrudd og dermed små manglende dosebidrag, mens estimerte dosebidrag

for stasjonene i Tromsø og Ny-Ålesund er opptil 15% for enkelte år. Estimert dose for Bergen er på henholdsvis 9% og 5% vesentlig på grunn av den lange perioden instrumentet var nede.

6.3 Solformørkelse



Figur 7. UV-indeks målt i Bergen 11. august 1999, med delvis solformørkelse. Formørkelsen var ved sitt maksimum på 72% kl. 10:29 i Bergen (13). Ved hjelp av kurvetilpassning med normal- og cosinusfordeling, finner man en reduksjon av målt UV-indeks på 71,7% kl. 10:29.

Onsdag 11. august 1999 fant en total solformørkelse sted langs et smalt belte fra den nordlige delen av Atlanterhavet, gjennom midtre deler av Europa, og til den Bengalske Havbuk. Nord og sør for dette beltet kunne man observere en delvis solformørkelse. Jo lenger vekk fra totalsonen man var, jo mindre av solskiven var dekket av månen. I Norge kunne man teoretisk sett observere en delvis formørkelse på 77% i Kristiansand, 72% i Bergen og Oslo, og helt nede i 46% i Tromsø. Værforholdene denne dagen var slik at solformørkelsen best kunne observeres i Bergen, og figur 7 viser UV-indeksen som ble målt i Bergen denne dagen. Figuren viser også den teoretiske UV-indeksen (klarvær og uten solformørkelse) beregnet fra en normalfordeling foldet med en cosinusfordeling. Ifølge Aftenposten (13) skulle maksimal formørkelse i Bergen finne sted kl. 10:29 UTC tid, eller 12:29 lokal tid. Den målte UV-indeksen ligger 71.7% lavere enn den teoretisk beregnede indeksen kl. 10:29 (UTC).

7. Konklusjon

Nettverket har nå vært i drift i fire år. Nettverket er automatisert og har en stabil drift med lite avbrudd i måleseriene. For de to nordligste stasjonene har det imidlertid siste 2 årene vært litt flere avbrudd og perioder uten målinger. Instrumenteringen oppfylder de kriterier en forutsatte under planleggingen. GUV-instrumentene har sin styrke i at de er enkle å vedlikeholde og ikke krever noen spesialkompetanse på stedet. Ustabile driftsfaktorer for enkelte instrumenter viser at den årlige kalibreringen er svært viktig for å kunne korrigere og presentere til enhver tid korrekte data. Nettverkets er betydelig styrket siste året ved oppgradering av spektralradiometret, som fungerer som en lokal referanse. Det er også blitt mindre sårbart ved at ytterligere ett basis-referanseinstrument er kjøpt inn.

Data fra denne perioden har gitt kunnskap om faktiske strålingsnivå rundt i landet, som f.eks. at årsdosen nord-syd varierer med en faktor 2. De gir informasjon om forholdet mellom dosenivåer gjennom året. Nettverket gir reelle og sammenlignbare målinger rundt om i landet. Det viser for eksempel at UV-indeksen midt på dagen er en faktor 2 høyere i Bergen enn i Ny-Ålesund en klarværsdag på våren, mens det ikke er tilsvarende forskjell i integrert CIE-vektet dagsdosen mellom de to stasjonene på våren og sommeren fordi lengre dager i Tromsø veier opp for lavere irradians.

Databasen er videreutviklet og gjort tilgjengelig for publikum via nyopprettede Internettssider. Data fra nettverket vil på sikt brukes til ytterligere informasjon i form av UV-indeks og MED, særlig i forbindelse med populære fritidsaktiviteter som påskeferie i fjellet og sommerferie. Data vil også bli tilgjengelige for forskningsmiljøer som ønsker tilgang på rådata for egen bearbeiding. Fire års måleserier er for lite til å vurdere eventuelle endringer av UV-nivå, men dette vil gjøres på sikt. Lengre måleserier kan også brukes til å lage en grunnlinje, blant annet for automatisk estimering av manglende dosebidrag ved avbrudd i målingene.

8. Referanser

1. WHO; UNEP; ICNIRP. Ultraviolet radiation, environmental health criteria 160. Geneva: World Health Organization, United Nations Environment Programme, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection; 1994: 1-352.
2. Kreftforskning; Nyheter fra kreftbehandling og forskning; nr. 4 1999 – 9. årgang. Føflekkreft øker ikke lenger. Den Norske Kreftforening, Oslo, 1999.
3. NINA FAKTA nr. 24-1992. Rolige aktiviteter dominerer folks ferie og fritid. NINA, Norsk institutt for naturforskning, Trondheim, 1992.
4. Smith RC, Prèzelin BB, Baker KS, Bidigare RR, Boucher NP, Coley T et al. Ozone Depletion: Ultraviolet Radiation and Phytoplankton Biology in Antarctic Waters. Science 1992; 255: 952-959.
5. Hannevik M, Johnsen B, Mikkelborg O, Saxebøl G. Måling av naturlig ultrafiolett stråling I Norge. Årsrapport for 1996 og 1997. StrålevernRapport 1998:10. Østerås: Statens strålevern, 1998.
6. Mikkelborg O, Saxebøl G, Johnsen B. UV-monitoring in Norway on the WEB. Proceedings in Ultraviolet Radiation Exposure, Measurement and Protection. 3-day International Workshop St Catherine's College, Oxford, UK. October 18-20, 1999.
7. WHO; WMO; UNEP; ICNIRP. Global solar UV-index. A joint recommendation. Oberschleissheim, Germany: Bundesamt für Strahlenschutz, D-85764; ICNIRP 1/95; 1995: 1-21.
8. WHO Fact Sheet. Solar Radiation and Human Health. Too Much Sun is Dangerous. No. 227, August 3, 1999.
9. Bredholt K, Hannevik M, Johnsen B. Ultrafiolett stråling, sol og solarier. Strålevern hefte 19. Østerås: Statens strålevern, 1999.
10. IRPA/INIRC Guidelines. Health Issues of Ultraviolet "A" Sunbeds Used for Cosmetic Purposes. A Statement by the International Non-Ionizing Radiation Protection Association. Health Physics 1991; Vol. 61, 285-288.

11. Parrish JA, Jaenicke KF, Anderson RR. Erythema and Melanogenesis Action Spectra of Normal Human Skin. *Photochem Photobiol* 1982; 36: 187-191.
12. McKinlay AF, Diffey BL. A Reference Action Spectrum for Ultraviolet Induced Erythema in Human Skin. *Commission Internationale d'Eclairage (CIE); CIE-J* 1987; 6:17-22.
13. Aftenposten Interaktiv. Sjelden begivenhet over Europa. Solen formørkes på lyse dagen. <http://www.aftenposten.no/nyheter/iriks/d92566.htm> (2/8-99).
14. Dahlback A. 1996. Measurements of biologically effective UV doses, total ozone abundances and cloud effects with multichannel, moderate bandwidth filter instruments. *Applied Optics* 1996; 35: 6514-6521.
15. Johnsen B. Driftsfaktorer for UV-nettverkets GUV instrumenter. <http://uv.nrpa.no/>.
16. Kjeldstad B, Johnsen B, Koskela T (red). The Nordic intercomparison of ultraviolet and total ozone instruments at Izaña October 1996. Final report. Finnish Meteorological Institute, Meteorological Publications No. 36, FMI-MET-36, Helsinki, 1997.
17. Johnsen B, Hannevik M. (red). The 1995 intercomparison of UV- and PAR instruments at the University of Oslo. StrålevernRapport 1997:7. Østerås: Norwegian Radiation Protection Authority, 1997.

Relevante internettsider:

UV-indeks sider:

Global side: <http://www.srrb.noaa.gov/UV/uv1.html>

Argentina: <http://www.conae.gov.ar/caratula.html>

Australia: http://www.bom.gov.au/info/about_uv_b.shtml

Canada: <http://www.ec.gc.ca/ozone/tocuvyou.htm>

Østerrike: http://www-med-physik.vu-wien.ac.at/uv/uv_online.htm

Finland: <http://www.ozone.fmi.fi/>

New Zealand: <http://www.niwa.cri.nz/lauder>

Sverige: <http://www.smhi.se/egmain/index.htm>

Tsjekkia: <http://www.chmi.cz/meteo/ozon/o3uvb.html>

USA: http://nic.fb4.noaa.gov/products/stratosphere/uv_index

EPA UV Index: <http://www.epa.gov/ozone/othlinks.html#uvindex>

Andre sider:

NILU: <http://www.nilu.no/>

Den Norske Kreftforening: <http://www.kreft.no>

UV model: <http://www.itek.norut.no/~olae/fastrt/>

CIESIN (Consortium for International Earth Science Information Network):

<http://sedac.ciesin.org/ozone>

Appendiks A: Ord og uttrykk

Biologiske effektiv irradians: Her det samme som CIE-vektet irradians. Andre steder er begrepet doserate brukt.

CIE-vektet irradians: Spektral irradians vektet med CIE's (Commission International de l'Eclairage) anbefalte virkningsspektrum for dannelse av erythem i lys, upigmentert hudtype.

Irradians: Innstrålt effekt (energi overført pr. sekund) per arealenhet på en plan flate, enhet W/m^2 .

MED: Minimal Erythem Dose definert som den minste energimengde per flate-enhet (stråledosen) som skal til for å produsere en så vidt synlig rødhet (erythem) i det bestrålte området av huden, her definert som $210 J/m^2$ (Joule pr. kvadratmeter) CIE-vektet dose.

Spektral irradians: irradians per bølgelengdeintervall, enhet $W/(m^2 nm)$

Virkningsspektrum: beskriver hvor effektivt stråling ved forskjellige bølgelengder fremkaller/forårsaker en bestemt biologisk effekt. CIE's virkningsspektrum er basert på erythemdannelse i hud (solforbrenning).

UV-indeks: Et mål for intensiteten av UV-strålingen. Indeksen beregnes som CIE-vektet irradians (W/m^2) multiplisert med en faktor 40, og gir et tall på en skala fra 0-15 for naturlig UV-stråling.

Tabell 1: Inndeling av UV-indeks skalaen, etter anbefaling av WHO (7-8). «Sikker» soltid er omtrentlige verdier basert på lys hudtype.

UV-indeks	1-2	3-4	5-6	7-8	>9
CIE-vektet irradians [W/m^2]	0,025 - 0,05	0,075 - 0,10	0,125 - 0,15	0,175 - 0,20	$\leq 0,225$
Styrke på UV-strålingen	Lav	Moderat	Høy	Svært høy	Ekstrem
«Sikker» soltid for hudtype II	$\geq 2,5$ timer	1 - 2 timer	50-70 min	30-50 min	5-30 min
Tilsvarende:	Vinter i Norge	Påske i Norge	Midtsommer i Norge og Nord-Europa. Høst i syden	Sommer i syden	UV-indeks 12 tilsvarende grenseverdi for solarier

Appendiks B: Kalibrering og drift av instrumentene

B.1 Basisinstrumenter GUV 541

Syv av GUV 541 instrumentene, med serienummer 9270-9276, ble anskaffet i mai 1995 fra Biospherical Instruments. De er produsert med komponenter fra samme produksjonsserier. Spektralkarakteristikkene har vist seg å være tilnærmet like for disse instrumentene. Instrumentet på Østerås (#9277) ble kjøpt inn i 1998 og har nominelt lik karakteristikk som de andre, men forbedret vinkelrespons. Instrumentet på Blindern i Oslo (#9222) som har vært i drift siden 1994, har noe ulik karakteristikk. Spektralkarakteristikk og vinkelrespons har betydning når irradians ved hver kanal skal brukes til å beregne irradians for hele UV-området. CIE-vektede irradians fremkommer som en lineær kombinasjon av spektral irradians ved fire av kanalene (305nm, 320nm, 340nm og 380nm). De korresponderende vekt-koeffisientene, a_1 , a_2 , a_3 og a_4 (tab 2), er beregnet på basis av CIE-virkningsspekteret, simuleringer med ulike sol- og ozonforhold, og spektralkarakteristikk for hvert instrument oppmålt på Strålevernets optiske laboratorium (14).

Tabell 2: Vekt-koeffisienter for de ulike GUV instrumentene i nettverket.

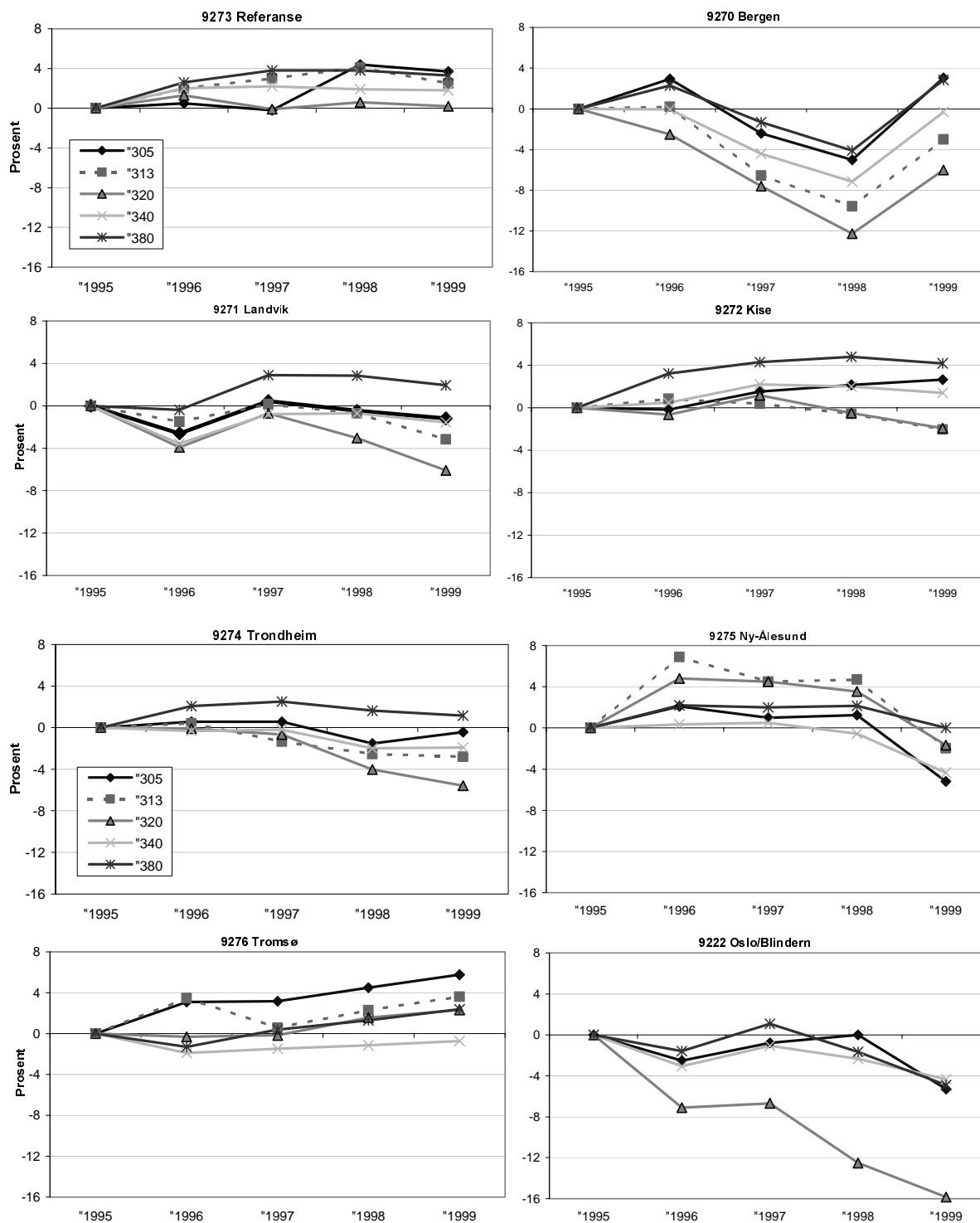
Vekt-Koeff.	#9270 Bergen	#9271 Landvik	#9272 Kise	#9273 Referanse	#9274 Trondheim	#9275 Ny-Ålesund	#9276 Tromsø	#9277 Østerås	#9222 Blindern
a1(305)	20,619	20,619	20,619	20,619	20,619	20,619	20,619	20,612	63,0456
a2(320)	3,198	3,198	3,198	3,198	3,198	3,198	3,198	3,072	2,7325
a3(340)	-0,7629	-0,7629	-0,7629	-0,7629	-0,7629	-0,7629	-0,7629	-0,6209	-0,488
a4(380)	0,4003	0,4003	0,4003	0,4003	0,4003	0,4003	0,4003	0,3194	0,34536

GUV-instrumentene er kalibrert av fabrikant, Biospherical Instruments, med sporbarhet til NIST. Kalibreringsfaktorene er avledet fra spektralmålinger i sollys mot et SUV-100-spektralradiometer og med kvarts-halogen lamper som UV-kilder på kalibreringslaboratoriet. Fabrikantens spektralradiometer er med i et nettverk av instrumenter i Antarktis og Arktis i regi av det amerikanske National Science Foundation, og data fra det norske UV-nettverket vil dermed kunne sammenlignes med dette amerikanske nettverket.

Referanseinstrumentet (GUV #9273) fungerer som en sekundær standard for det norske nettverket. Det sendes hver vår til fabrikant for recalibrering og evaluering av drift. Fabrikanten oppgir at de årlige kalibreringstestene er repeterbare innenfor ± 1 til 2 prosent. Strålevernet utfører lampemålinger i for- og etterkant av all transportering for å sjekke at det ikke har oppstått forandringer. Slike målinger gjentas hver gang instrumentet transporteres. På grunnlag av kalibreringsresultatene frem til 1999, har en valgt å benytte gjennomsnittet av lampedata fra Biospherical for perioden 1996 til 1999 som basis for drift for referanseinstrumentet (15).

Referanseinstrumentet (GUV#9273) sammenlignes også mot det norske nettverkets eget spektralradiometer, Bentham DM 150 (app B.2). Begge disse instrumentene deltok i en nordisk sammenligningsmåling på Tenerife i oktober 1996 sammen med instrumenter fra i alt 10 land (16). Spektralmålinger med Bentham instrumentet samsvarte innenfor $\pm 2\%$ med beregnede basis data fra de andre spektralradiometrene. GUV-instrumentet ble sammenlignet med ulike typer filterradiometre som inngår i nasjonale målenettverk og mot et av spektralradiometrene som var valgt som referanse. Avviket fra dette spektralradiometret var på nær -12% , men det må bemerkes at den valgte referansen lå 10% høyere enn beregnede basis data for spektral-radiometrene. GUV-instrumentet utmerket seg blant filterradiometrene med minst innvirkning av varierende solhøyde. Det vil bli avholdt en ny nordisk sammenligningsmåling sommeren 2000 i den svenske skjærgården. Dette vil gi en pekepinn på hvordan de ulike målenettverkene har utviklet seg.

Serien 9270-76 ble kalibrert av fabrikant i San-Diego ved innkjøp våren 1995. Rett etter levering ble disse 7 instrumentene sammenlignet mot NILU's instrument (#9222) og en rekke andre UV-instrumenter under den norske interkomparasjonen i Oslo (17). Instrumentene 9270-9276 samstemte innenfor $\pm 1\%$ for fire av kanalene, og innenfor $\pm 2\%$ for den femte av kanalene (305nm).



Figur 8. Drift for hver kanal for 8 av instrumentene fra mai 1995 til juni-august 1999 basert på fabrikkens årlige rekallibrering av referanseinstrumentet og årlige sammenligningsmålinger mellom referanse- og de andre UV-instrumentene.

Over tid endres instrumentenes følsomhet p.g.a. aldringsfenomener. Det er derfor nødvendig med årlig rekalkibrering av samtlige instrumenter. Dette gjøres ved at referanseinstrumentet (GUV#9273) hver sommer sendes mellom hver av de enkelte stasjonene. På denne måten får man årlig korrigeret for instrument-drift uten å få avbrudd i måleseriene. Repeterbarheten av sammenligningsmålingene er innenfor ± 1 til 2 prosent, som kommer i tillegg til usikkerheten i referanseinstrumentet. Endringen i følsomhet frem til 1999 presenteres i figur 8, gitt som gjennomsnittlig prosentvis avvik fra kalibrering i 1995. Drift for en bestemt dag fremkommer ved lineær interpolasjon i periodene mellom kalibreringene. Fra sammenligningsmålingene har en sett at nøyaktig nivellering og orientering (nord-sør) av instrumentene er kritisk, fordi sensorene i hvert instrument er retningsavhengige (15). Drift i instrumentene kan også spores via innbyrdes forhold mellom kanal verdier (14).

På tross av at 7 av instrumentene (serie 9270-76) er bestilt samtidig og med samtlige komponenter fra samme produksjonsserier, varierer driften med over 12 prosent for samme kanal i løpet av de fire årene de har vært operative. Driften i 320nm-kanalen har vært enda større for instrumentet på Blindern (Oslo). Oslo-instrumentet er tatt inn for filterkarakterisering i desember 1999. Etter dette vil stabiliteten bli fulgt nøye. Instrumentet i Bergen viste seg å være noe ustabil ved sjekk i 1998, og ble derfor sendt til fabrikk på høsten. Etter dette har instrumentet stabilisert seg, men det vil bli fulgt nøye i tiden som kommer. Dette viser hvor viktig den årlige kalibreringen er. Endring i følsomhet for hver kanal ligger på mellom 1-2% for de fleste instrumentene, og det er en viss tendens i utviklingen for hver kanal (fig 8). Det vil derfor være tilstrekkelig å kalibrere én gang i året for de fleste instrumentene. For noen instrumenter, slik som Bergen og Blindern, kan man vurdere om de bør sjekkes noe oftere.

Strålevernet har hatt en grundig gjennomgang av alle driftsfaktorer (15) og korreksjonsfaktorer, samt de metoder som brukes for å beregne biologisk effektiv irradians og doser. Blant annet er det testet at irradiansen faktisk blir korrigeret med metoden som brukes, der målinger ved hver kanal blir dividert med driftsfaktoren for den aktuelle kanalen. Alle korreksjoner og beregninger med nettverksdata kan etterspores, noe som gir meget god kvalitet på nettverket.

Det er nylig anskaffet et nytt lampesystem for laboratoriemålinger av drift i nettverkets GUV instrumenter. Systemet representerer state of the art hva angår langtidstabilitet for kalibreringslamper. Systemet settes i drift i år 2000.

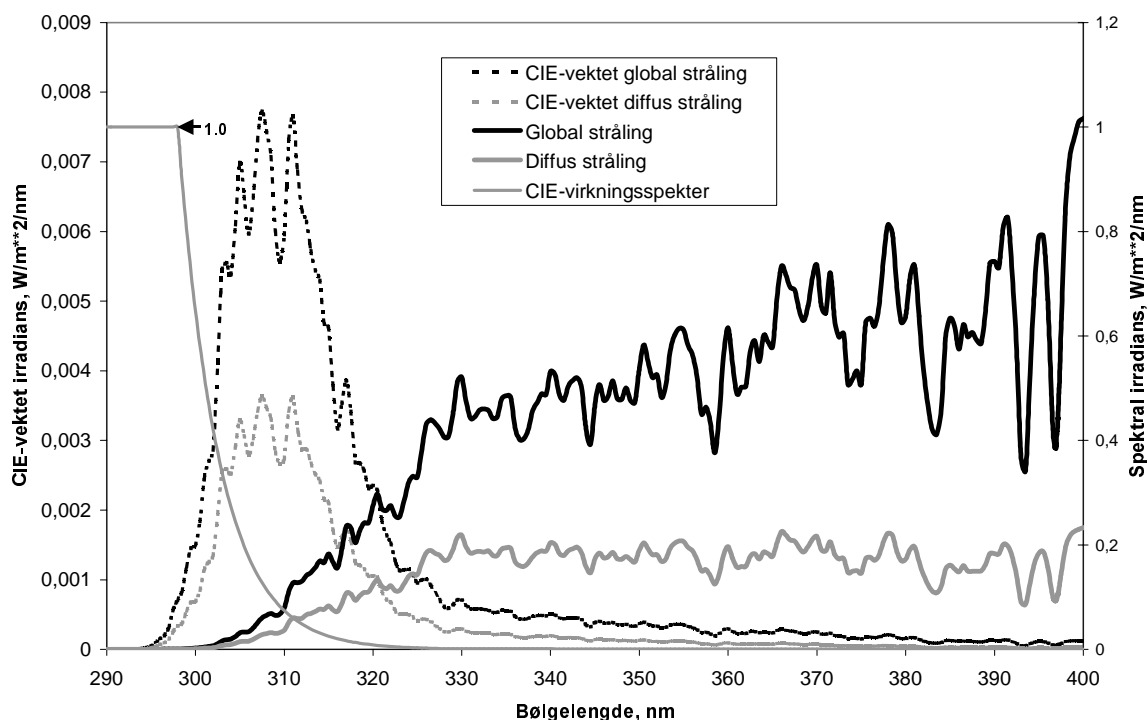
B.2 Spektralradiometer Bentham DM 150

Spektralradiometret måler spektral irradians over bølglengdeområdet 290-450nm, med en båndbredde på 0,85nm (FWHM). Måledata fra spektralradiometret skal blant annet brukes til å korrigere GUV-data. Dette kan eksempelvis være å finne eventuelle systematiske avvik ved forskjellige solhøyder, skyforhold, ozon nivåer, og til å finne korreksjonsfaktorer for nye instrumenter.

I løpet av 1998 og våren 1999 er spektralradiometret oppgradert. Ny temperatur-regulator og lav-effekts step-motor kontroller gir bedre temperaturkontroll inne i instrumentkassen. Nytt PM-rør har praktisk talt eliminert hysteresen i UV-følsomhet, som gjør at instrumentresponsen blir vær-uavhengige. PM-røret har dessuten mindre mørkestrøm, som er en fordel ved måling på de korteste bølglengdene. Nye spalter har redusert båndbredden fra omtrent 1,05nm til 0,85nm (FWHM). Frontoptikken er byttet ut, og tilpasset eksisterende skyggebånd-apparat og portable lamper. Ytterst består den av en liten kuppel av kvartsglass som beskytter mot regn og smuss, er lett å holde ren, og gir nær perfekt innsamling av innfallende stråling. Fiberen med frontoptikk er montert i en sylinder, og kan enkelt løsnes fra

plata som omgir den uten at noe går ut av stilling. Plata har innlagt varmeelementer som sørger for konstant 25°C, og smelter og fordamper eventuell snø på kuppelen. Nitrogentilførsel på innsiden av kuppelen fjerner fukt. Kjernen i frontoptikken er en spesiallaget teflon sylinder, formet som en kuppel, der inn- og utsiden har ulik krumningsradius. Teflonsylindern og kvartskuppelen er levert av Gigahertz Optikk, GmbH, mens tillaging og tilpassing av deler er gjort ved Statens strålevern. Ved å legge til en liten dråpe av silikon på innsiden av kvartsglasset lyktes det å optimalisere vinkelresponsen slik at feilbidraget til spektral irradians er innenfor $0\pm 2\%$ for alle solhøyder. Med den opprinnelige frontoptikken fra Bentham Instruments kunne feilen variere mellom -14% og -5% avhengig av solhøyden og fordelingen mellom diffust spredt og direkte innfallende stråling. De oppgraderinger som er gjort medfører derfor en klar forbedring i nøyaktigheten av måledata fra spektralradiometret.

Figur 9 viser spektralfordelingen for henholdsvis global og diffust spredt solstråling for en klarværsdag i juli 1999 (langs sekundær-aksen). For det ultrafiolette området (290-400nm) kan en se at det diffuse strålings-bidraget utgjør nesten 50% av globalstrålingen, mens det avtar utover i det synlige området. I samme figur er CIE-virkningsspekter tegnet inn (12). Det viser hvilken del av UV-strålingen som mest effektivt bidrar til erythemdannelse av bestrålt hud. De resulterende biologisk effektive (CIE-vektede) spektra viser at UV-stråling med de korteste bølgelengdene (UVB) bidrar sterkest ved beregning av effektiv dose.



Figur 9. Global og diffus stråling målt på Strålevernet 27.juli 1999, og resulterende biologisk effektiv (CIE-vektet) global og diffus UV-stråling samme dag.

B.3 Sammenligningsmålinger

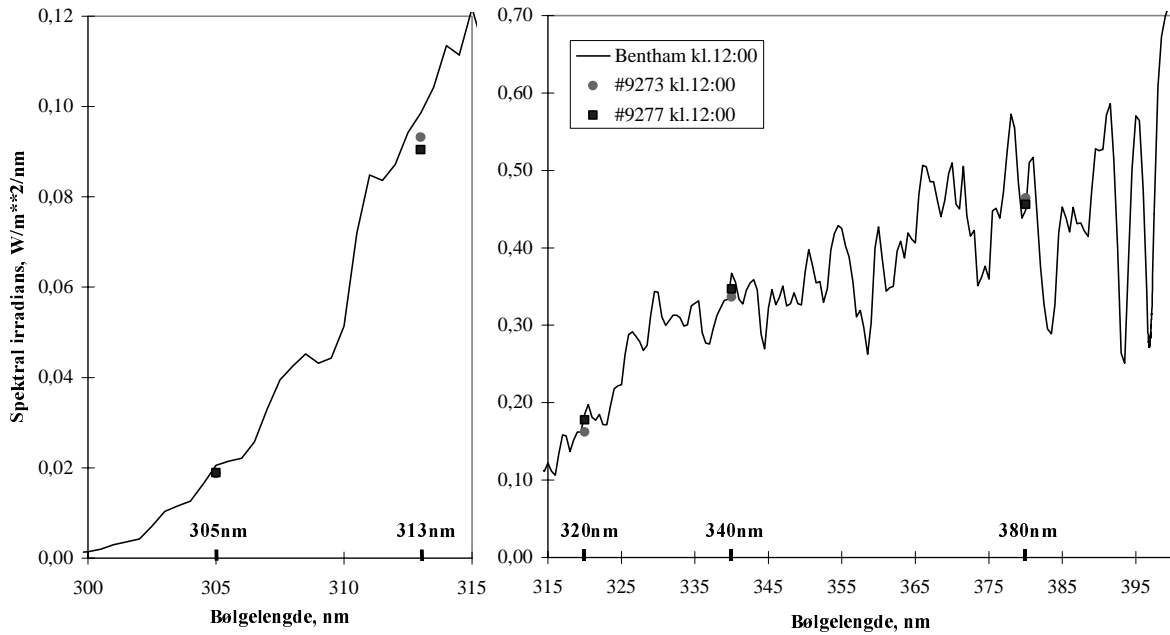
Nettverket har 2 ulike referanseinstrumenter (Bentham DM 150 og GUV#9273), noe som gjør det mindre sårbart om ett skulle bryte sammen. Nettverket skal styrkes med ytterligere ett GUV referanseinstrument, som er kjøpt inn, men ikke klargjort. Med de to tilgjengelige referanseinstrumentene kan en direkte sammenligne spektral og CIE-vektede irradianser. Dette er nyttig når nye instrumenter skal settes inn i nettverket, slik som instrumentet på

Østerås, GUV#9277. Målinger med GUV#9273, GUV#9277 og Bentham ble foretatt samtidig en klarværsdag på Østerås, 5. september 1999 (fig 10 og 11). GUV-instrumentene og spektralradiometret måler over ulikt tidsintervall. Sammenligninger må derfor gjøres under stabile værforhold som på klarværsdager. Skyer skaper raske variasjoner i irradians. Figur 10 viser spektral irradians som funksjon av bølgelengden målt med de to GUV-instrumentene og spektralradiometret. Figur 11 viser CIE-vektet irradians som funksjon av klokka samme dag. GUV-data er ikke korrigert for drift for å vise reelle forskjeller i måledata.

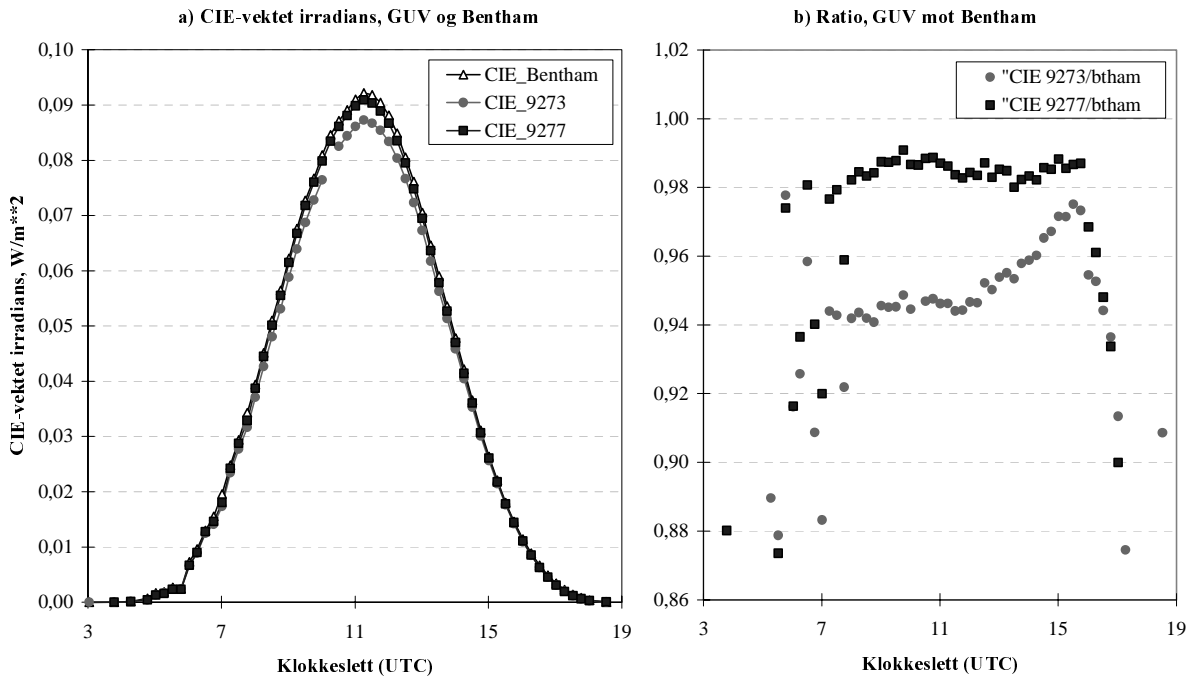
Det er godt samsvar mellom målinger ved de ulike kanalene i GUV-instrumentene og målinger med spektralradiometret (fig 10). Den største forskjellen er ved 313nm kanalen for begge GUV-instrumentene, men målinger ved denne kanalen brukes ikke til å beregne biologisk effektiv irradians. Noe forskjell sees ved 320nm kanalen mellom de to GUV-instrumentene, og dette påvirker biologisk effektiv irradians på grunn av høy CIE-vektfaktor i denne delen av spekteret (fig 11a).

Ratio mellom spektral irradians målt med GUV-instrumentene og Bentham varierer fra 0,88 til 0,96 for kanalene til og med 340nm, og fra 1,01 til 1,04 for 380nm-kanalen. Tilsvarende ratio for CIE-vektet irradians (fig 11b), varierer fra 0,94 til 0,95 for GUV#9273 og fra 0,98 til 0,99 for GUV#9277 midt på dagen. Det er observert noe variasjon fra dag til dag blant annet avhengig av om diffusor er pusset samme dag eller ikke. Fra figur 11b ser man at det er en viss usymmetri i ratio for GUV#9273 relativt til Bentham for lave solhøyder, mens dette ikke er tilfelle for GUV#9277. Det nyeste instrumentet (GUV#9277) har en forbedret diffusor som gjør målinger mindre retningsavhengige.

Målinger med GUV#9273 ligger vesentlig lavere enn Bentham-målingene (fig 11a). Hvis man hadde tatt hensyn til driftsfaktorene i tillegg, ville forskjellen blitt større. Dette er i tråd med målingene fra den nordiske interkomparasjonen på Tenerife høsten 1996. Det kan derfor bli nødvendig med en oppjustering av måledata fra GUV-instrumentene. Dette vil man imidlertid vente med til etter den nordiske interkomparasjonen sommeren 2000.



Figur 10. Spektral irradians målt med Bentham spektralradiometer sammenlignet med GUV #9273 og GUV #9277 på Østerås en klarværsdag, 5 september 1999, kl. 12:00.



Figur 11. a) CIE-vektet irradians beregnet fra målinger med GUV#9273, GUV#9277 og Bentham spektralradiometer, alle målt på Østerås, 5. september 1999. b) Ratio mellom CIE-vektet irradians fra GUV instrumentene og Bentham.