

DANISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

TECHNICAL REPORT

02-16

Målinger og modellering af UV stråling i vandsøjlen ved Nuuk og Disko samt interkalibrering af Grønlandske UV instrumenter

**DMI's bidrag til projektet:
Effekter af UV-Bstrålingen på produktion og omsætning af organisk
stof i havområder ved Grønland**

**Projektdeltagere:
DHI – Institut for Vand og Miljø
ASIAQ
DMI**

Paul Eriksen

**Projektet er støttet af
Miljøstyrelsen Arktiske Miljøprogram – Videnopbygning (AMP-V)**

KØBENHAVN 2002

Målinger og modellering af UV stråling
i vandsøjlen ved Nuuk og Disko
samt interkalibrering af Grønlandske UV instrumenter

Paul Eriksen

Technical Report 02-16

ISSN: 0906-897X

ISSN: 1399-1388 (Online)

Danmarks Meteorologiske Institut
Trafikministeriet
Lyngbyvej 100
DK-2100 København Ø

Telefon: 39 15 75 00

Fax: 39 27 10 80

www.dmi.dk

Målinger og modellering af UV-stråling i vandsøjlen ved Nuuk og Disko samt interkalibrering af Grønlandske UV-instrumenter.

DMI's bidrag til projektet:

Effekter af UV-B strålingen på produktion og omsætning af organisk stof i havområder ved Grønland.

Denne rapport indeholder alle tekniske oplysninger og beregninger, der ikke er medtaget i projektets slutrapport.

DMI's bidrag til projektet har omfattet målinger af UV-strålingen i vandsøjlen, beregninger af strålingsdoser i havet, samt interkalibreringer af DMI's og ASIAQ's UV-instrumenter.

Indhold.

	side
Målinger af UV-strålingen i vandsøjlen.....	3
målinger ved Nuuk i Nuuk-fjorden.....	5
målinger ved Qeqertarsuaq, Disko.....	5
konklusion.....	6
Beregninger af strålingsdoser i vandsøjlen.....	7
Biologiske effekter: vægtspektre.....	7
model til beregning af UV-strålingen.....	8
ozonlaget og UV-strålingen ved Grønland i april-juni 2001.....	9
beregning af UV-stråling i vandsøjlen.....	10
Referencer.....	12
Appendix A. Radiometriske begreber.....	A1-A3
Appendix B. Ozonlag og UV-stråling i Grønland april-juni 2001.....	B1-B9
Appendix C. Sammenligning af modeller til beregning af UV-stråling.....	C1
Appendix D. Modelresultater for UV-strålingen i vandsøjlen ved Qeqertarsuaq	D1-D37
Appendix E. Kalibreringer af UV-instrumenter.....	E1-E10

Målinger af UV-strålingen i vandsøjlen.

Til projektet havde Prof. Granelli, Universitetet i Lund, venligst udlånt et instrument til måling af UV-strålingen i vandet, et såkaldt 'UV-profiling instrument'. Instrumentet, type PUV-500 fra Biospherical Instruments, San Diego, måler den spektrale irradians ved hjælp af 4 smalbånds filterradiometre ved 305, 320, 340 og 380 nm, med båndbredder på henholdsvis 5, 10, 10 og 10 nm. PUV-500 instrumentet har desuden indbygget et radiometer til måling af PAR (Photosynthetically Active Radiation – den fotosyntetisk aktive stråling). Et tilhørende instrument PUV-510 kan måle den spektrale irradians ved de samme bølgelængder (og PAR) på overfladen: det anvendes, hvis det er nødvendigt at korrigere undervandsmålingerne for skyer, der måtte bevæge sig hurtigt over himlen. Det var imidlertid ikke nødvendigt at anvende PUV-510-målinger i vores tilfælde da vejret var stabilt og da der var næsten skyfrit da målingerne ved Nuuk og Qeqertarsuaq fandt sted.

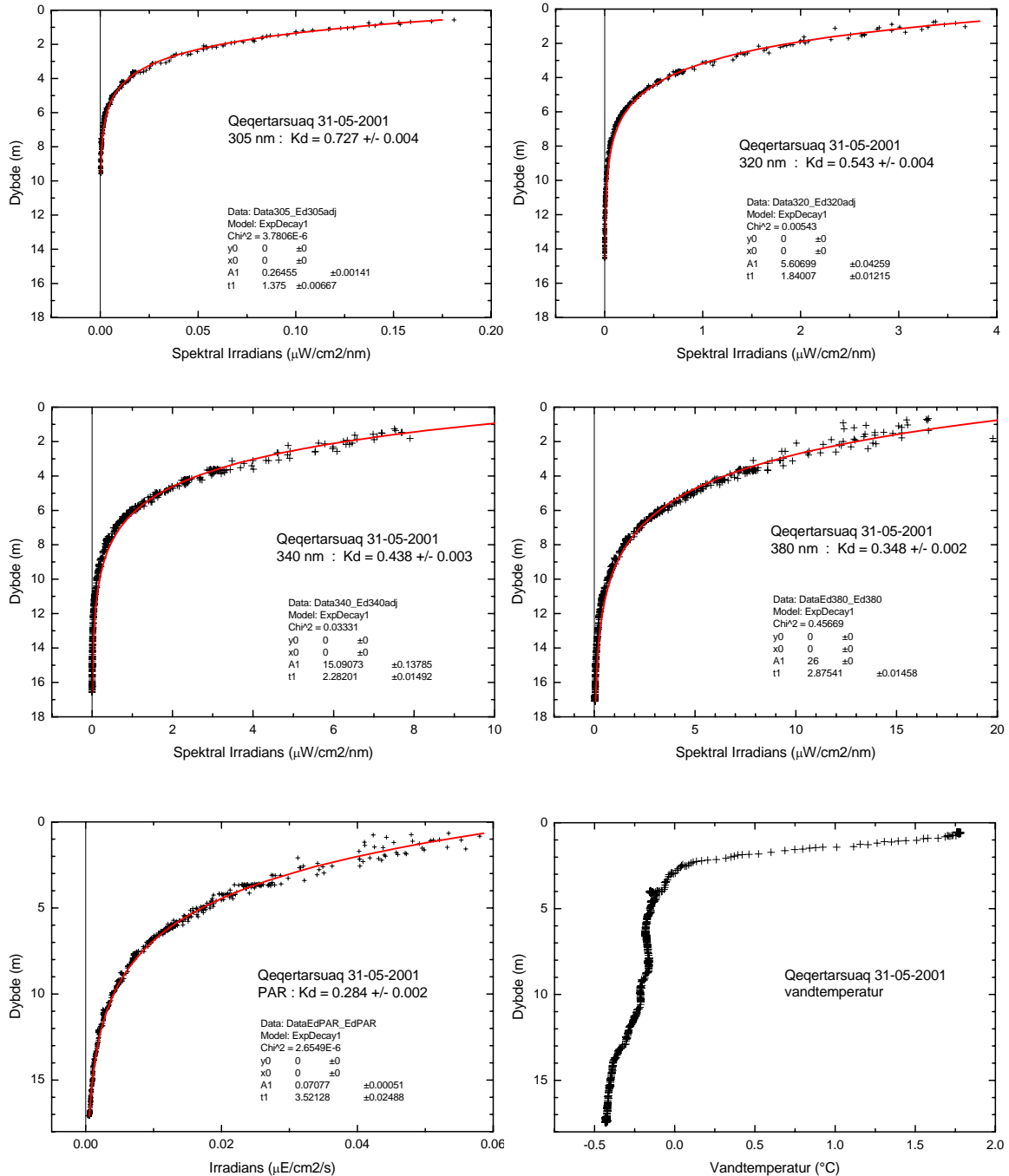
Figur 1. Billedet viser et instrumentet som det der blev anvendt til målinger af UV-strålingen i vandet. Det er af typen PUV500 fra Biospherical Instruments i San Diego, U.S.A.. Instrumentet er placeret i en metalramme, hvortil det kabel, der både tjener som data-kabel og fastgøringsline, er fastgjort. Instrumentet huser 4 UV-detektorer og en PAR-detektor. Det har desuden en tryksensor til måling af dybden samt en detektor, med nedadrettet synsfelt, til måling af Chlorophyll-flouorescens, en temperaturføler til måling af vandtemperaturen samt flere indvendige temperaturfølere til monitoring af 'instrument-temperatur'.



PUV-500 instrumentet anvender en Solar-Blind Phototube (Hamamatsu) til måling af strålingen omkring 305 nm, og silicium fotodioder (Hamamatsu) til målingen af stråling omkring 320, 340 og 380 nm samt til måling af PAR-stråling (400-700 nm). Instrumentet måler den oppefra indkommede stråling på en horisontal flade – altså den nedadrettede irradians. Instrumentets input-receptor er en diffusor af teflon, hvilket giver instrumentet en vinkelrespons, der er nær ved cosinus til indfaldsvinklen (i forhold til normalen til diffusoren). Instrumentet er ikke temperaturstabiliseret. Det betyder, at det er vigtigt at 'temperere' instrumentet før en måling, dvs. holde det i vandet 10-20 minutter før en måling påbegyndes. Det skyldes dels at transmittansen samt center- og kant-bølgelængder af de smalbåndsfiltere, der anvendes i detektorerne er temperaturafhængige, dels at mørkestrømmen er temperaturafhængig, særligt for 305 nm detektoren.

Til måling af en profil ved en given bølgelængde, dvs. en måling af irradiansen ned gennem vandet, og dermed hvorledes strålingen attenueres – altså en måling af extinktionskoefficienten, er det ikke nødvendigt, at instrumentet er absolut-kalibreret. Instrumentet var absolut-kalibreret fra fabrikken, men blev recalibreret i Kangerlussuaq ved hjælp af en standard-lampe og et spektroradiometer. Recalibreringen viste ikke uventet, at instrumentets absolutte respons ($V/(W/m^2)$) var faldet nogle procent siden fabrikskalibreringen. Det er et velkendt fænomen for smalbånds filterradiometre.

Figur 3, der viser resultaterne fra nogle af målingerne ved Qeqertarsuaq, viser, at irradiansen ned gennem vandsøjlen med god tilnærmelse aftager eksponentielt med dybden – og $K_d(z)$ er dermed uafhængig af dybden, hvilket indikerer, at der ikke er nogen mærkbar stratifikation i vandsøjlen.



Figur 3. Resultater fra én af profil-målingerne ved Qeqertarsuaq viser hvorledes den nedadrettede irradians aftager med dybden. For alle målingerne er irradiansen med god tilnærmelse eksponentielt aftagende med dybden. Det er indikeret ved (rød) fit af data med en eksponential-funktion af formen $y = y_0 + A_1 \exp(-(x-x_0) / t_1)$, hvor y er irradians, x er dybde. Dermed er $K_d = 1 / t_1$.

Målinger ved Nuuk i Nuuk-fjorden.

Resultaterne fra målingerne ved Nuuk den 24-04-2001 er vist i tabel 1.

Wavelength	305nm		320nm		340nm		380nm		PAR	
	E ₀	K _d	E ₀	K _d	E ₀	K _d	E ₀	K _d	E ₀	K _d
profil 1	2,39	0,80	78,4	0,51	221	0,38	300	0,29	0,68	0,23
profil 2	1,14	0,63	65,1	0,50	170	0,38	284	0,27	0,67	0,23
profil 3	2,05	0,67	88,2	0,53	216	0,40	316	0,27	0,94	0,31
profil 4	1,53	0,66	66,9	0,51	167	0,39	292	0,30	0,73	0,24
profil 5	1,03	0,62	62,0	0,50	170	0,39	280	0,28	0,62	0,21
middelværdi	1,63	0,68	72,1	0,51	189	0,39	294	0,28	0,73	0,24
10% dybde (m)		3,4		4,5		5,9		8,2		9,4
1% dybde (m)		6,8		9,0		11,9		16,3		18,9

Tabel 1. Resultater fra fit af profilmålinger ved Nuuk den 24-04-2001 til eksponentielt aftagende irradians. E₀ er den spektrale irradians lige under havoverfladen ([mWm⁻²nm⁻¹] for diskrete bølgelængder, [mEm⁻²s⁻¹] for PAR) og K_d er ekstinktionskoefficienten [m⁻¹]. Desuden er angivet middelværdien af hhv. 1- og 10-procents dybden (m) for irradians.

Målinger ved Qeqertarsuaq, Disko.

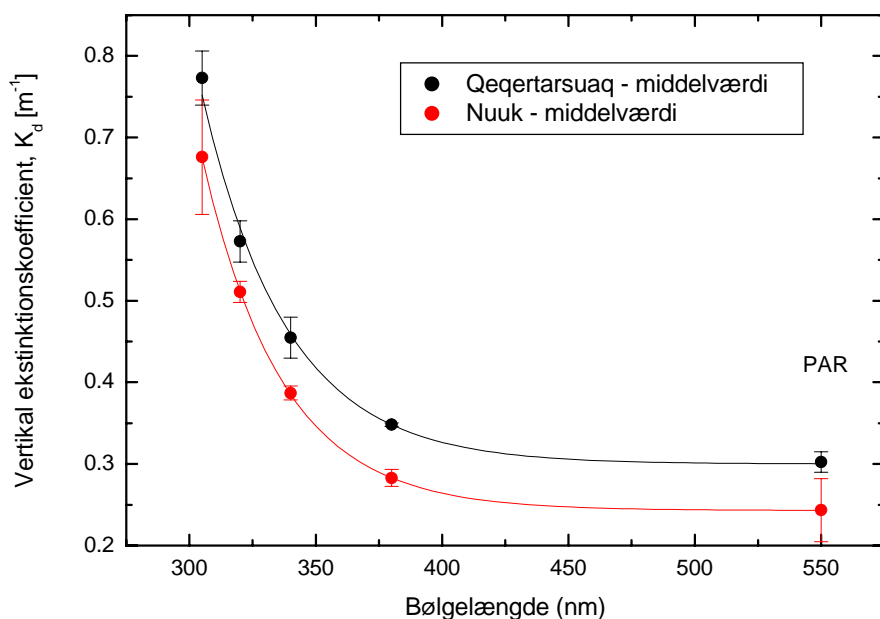
Resultaterne fra målingerne ved Qeqertarsuaq den 31-05-2001 er vist i tabel 2.

Wavelength	305nm		320nm		340nm		380nm		PAR	
	E ₀	K _d	E ₀	K _d	E ₀	K _d	E ₀	K _d	E ₀	K _d
profil 1	2,65	0,73	56,1	0,54	151	0,44	260	0,35	0,71	0,28
profil 2	2,55	0,79	61,7	0,58	146	0,45	247	0,35	0,74	0,34
profil 3	3,22	0,80	67,6	0,60	168	0,49	251	0,35	0,75	0,31
profil 4	2,90	0,77	65,1	0,57	133	0,44	241	0,35	0,67	0,31
middelværdi	2,8	0,77	62,6	0,57	150	0,46	250	0,35	0,72	0,32
10% dybde (m)		3,0		4,0		5,1		6,6		7,2
1% dybde (m)		6,0		8,1		10,1		13,2		14,5

Tabel 2. Resultater fra fit af profilmålinger ved Qeqertarsuaq den 31-05-2001 til eksponentielt aftagende irradians. E₀ er den spektrale irradians lige under havoverfladen ([mWm⁻²nm⁻¹] for diskrete bølgelængder, [mEm⁻²s⁻¹] for PAR) og K_d er ekstinktionskoefficienten [m⁻¹]. Desuden er angivet middelværdien af hhv. 1- og 10-procents dybden (m) for irradiansen.

Konklusion

Resultaterne fra undervandsmålingerne er sammenfattet i figur 4, der viser, at ekstinktionen, K_d , i vandet ved Qeqertarsuaq er større end ved Nuuk. Ekstinktionen er med god tilnærmelse er uafhængig af dybden hvilket betyder, at irradiansen aftager eksponentielt med dybden. Sammenfatning af ekstinktionsmålingerne er vist i figur 4. Ekstinktionsværdierne stemmer godt overens med tilsvarende målinger ved Svalbard [1].



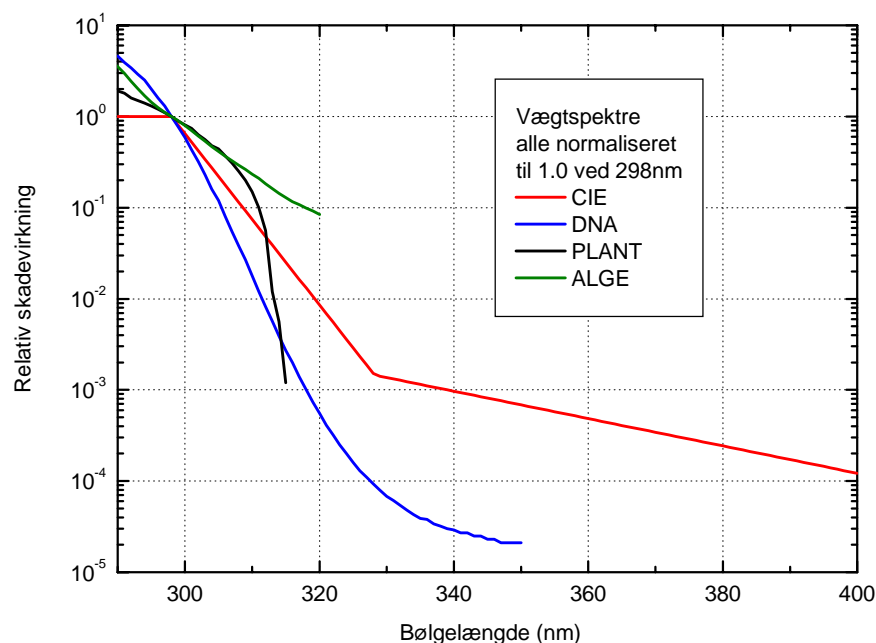
Figur 4. Resultater fra målinger af ekstinktionskoefficienten ved Nuuk i Nuukfjorden samt ved Qeqertarsuaq, Disko. For PAR er bølgelængden angivet som centerbølgelængden for 'PAR'-intervallet 400-700 nm. En mindste-kvadrater's tilpasning af ovenstående data til en eksponentiel funktion giver for Qeqertarsuaq en ekstinktionskoefficient, der som funktion af bølgelængden λ i nanometer er givet ved udtrykket $K_d(\lambda) = 0,31801 + 26607,08556 * \exp(-\lambda / 27,76165)$, og vist som sort linie i figuren. En tilsvarende tilpasning for Nuuk-data er vist ved den røde linie.

Beregninger af strålingsdoser i vandsøjlen.

Biologiske effekter: vægtspektrre.

Den biologiske effekt af UV-bestråling afhænger af den biologiske effekts virkningspektrum, eller vægtspektrum, der numerisk angiver den biologiske effekts relative skadevirkning som funktion af strålingens bølgelængde. Eksempler på et virknings- eller vægtspektrre er vist i figur 5, hvor erythem's vægtspektrum er mest velkendt, idet det er bestemmende for solstrålingens hudskoldende virkning (erythem=rødme), og sandsynligvis også den hudkræftfremkaldende virkning. Hvis bestrålingens spektrale irradians $[Wm^{-2}nm^{-1}]$ til tiden t betegnes $E_{\lambda}(t)$ og vægtspektret for en given biologisk skade betegnes X_{λ} , er den vægtede, eller "effektive" irradians $E_X(t)$ $[Wm^{-2}]$ til tiden t givet ved $E_X(t) = \int E_{\lambda}(t)X_{\lambda}d\lambda$, hvor integrationen strækker sig over det spektralområde, hvor den biologiske effekt er defineret (i denne sammenhæng som regel området 280 – 400 nm). En biologisk respons på en bestråling opstår normalt ikke som følge af en bestråling i et vist tidsrum. For en given biologisk effekt med virkningspektrum X_{λ} er *eksponeringen* $[J/m^2]$, eller *dosis*, H_{λ} , i tidsrummet fra t_1 til t_2 givet ved integralet af den vægtede irradians $E_X(t)$ over eksponeringstidsrummet, altså $H_{\lambda} = \int_{t_1}^{t_2} E_X(t)dt$. I det følgende betragtes

vægtspektrene for erythem (CIE), dna-skader (DNA), generelle planteskader (PLANT) og skader på kiselalger (ALGE) (figur 5). Den vægtede irradians for disse betegnes hhv. E_{CIE} , E_{DNA} , E_{PLANT} og E_{ALGE} .



Figur 5. Vægtspektrre for hhv. erythem (CIE), DNA-skader (DNA), generelle planteskader (PLANT) og skader på kiselalger (ALGE). Bemærk, at PLANT og ALGE kun er defineret for bølgelængder kortere end 320 nm. Det har konsekvenser for parametermodellens beregninger: den spektrale irradians undervurderes for store zenith-vinkler hvorfor også den vægtede irradians undervurderes (se tabel 3 og figur 6).

Som nævnt tidligere, vurderes skadevirkningen på mikroorganismer i vandet, eller for den sags skyld skadevirkningen på planter, bedst ud fra den vægtede skalare irradians (der ofte

benævnes den vægtede aktiniske flux eller den vægtede aktiniske irradians). Den skalare irradians er imidlertid ofte umulig at måle. Derfor anvendes den vægtede irradians til vurdering af biologiske skader.

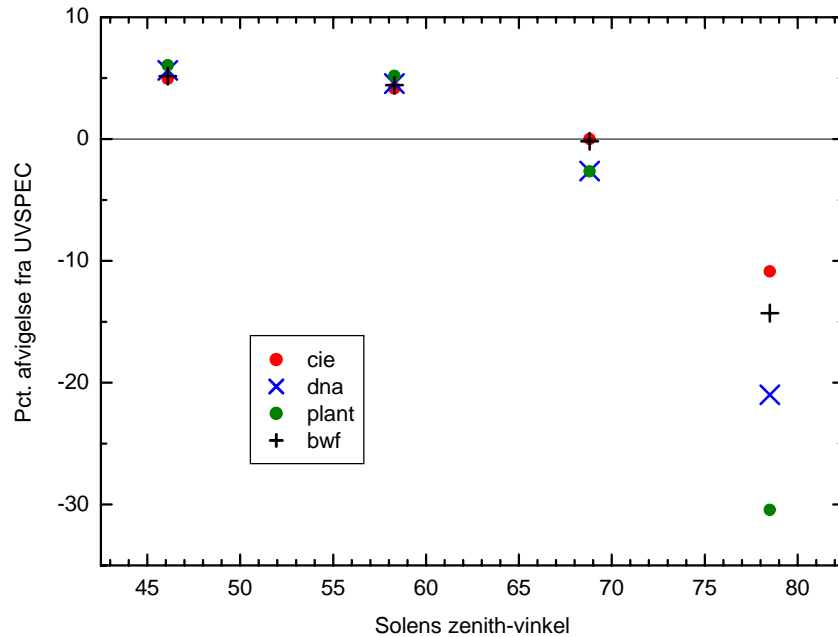
Model til beregning af UV-stråling.

Til beregning af UV-strålingen ved jordoverfladen/havoverfladen er anvendt en såkaldt parametermodel af Green's type [3-5]. Modellen er anvendt idet den er hurtig, har en tilstrækkelig nøjagtighed til formålet, og er let at udbygge til at håndtere store tidsrum . Modellen har som input-parametre solens zenith-vinkel (eller dato og tid), højde over havoverfladen, ozonlagets tykkelse, overfladens reflektivitet (albedo), samt aerosol-optisk-dybde ved 368 nm. Modellens output er den spektrale irradians (altså et spektrum) til et bestemt tidspunkt, eller for en bestemt zenitvinkel. Selvom dens behandling af aerosoler er ikke grundig, er det alligevel tilstrækkeligt til formålet. UV-strålingen beregnes for skyfri himmel. Modellen er i Appendix C sammenlignet med en mere nøjagtig strålingstransport-model UVSPEC/libRadTran [2], der i det store hele har samme input-data som parametermodellen, og som også har den spektrale irradians som output. Sammenfattende giver parametermodellen resultater for den CIE-vægtede irradians der er indenfor 10% af resultaterne fra UVSPEC modellen når solens zenith-vinkel er mindre end 80° (solhøjde større end 10°). For de vægtspektre, der markant 'fremhæver' de korteste bølgelængder (f.eks. DNA og PLANT), giver parametermodellen større afvigelser for store zenith-vinkler, fordi parametermodellen ved store zenith-vinkler giver for lav spektral irradians. I tabel 3 og figur 6 sammenlignes resultater fra parametermodellen (Green) og strålings-transportmodellen (UVSPEC).

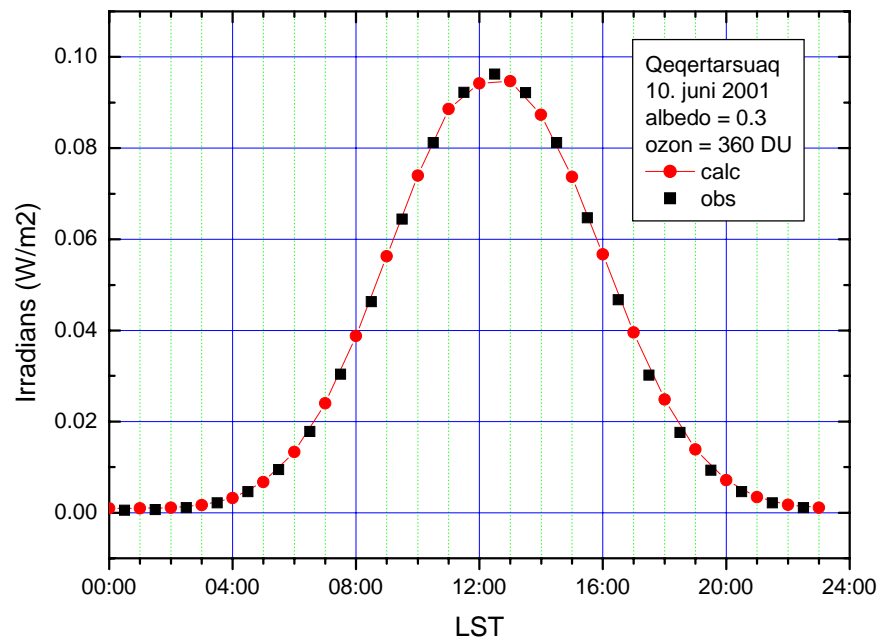
sza	E_{CIE} [mWm ⁻²]			E_{DNA} [mWm ⁻²]			E_{PLANT} [mWm ⁻²]			E_{ALGE} [mWm ⁻²]		
	uvspec	green	%diff	uvspec	green	%diff	uvspec	green	%diff	uvspec	green	%diff
46.1	88.8	93.2	5.0	21.3	22.5	5.6	85.8	91	6.1	272	286	5.1
58.3	43.2	45	4.2	7.9	8.3	4.6	32.8	34.5	5.2	136	142	4.4
68.8	17.3	17.3	0.0	2.3	2.2	-2.6	8.7	8.4	-2.7	52.6	52.5	-0.2
78.5	5.0	4.4	-10.9	0.5	0.4	-21	1.3	0.9	-30.5	12.6	10.8	-14.3

Tabel 3. Sammenligning mellem den beregnede af UV-stråling ved jordoverfladen dels fra en parametermodel (Green) og en strålingstransportmodel (UVSPEC). I tabellen er vist den vægtede irradians i mW/m² for forskellige zenith-vinkler (sza). De andre parametre for beregningerne er en ozonlagstykkelse på 360 DU, en overflade-reflektivitet (albedo) på 30%, en aerosol-optisk-dybde på 0.08 ved 500 nm eller 0.1 ved 368 nm.

Figur 7 viser sammenligninger af parametermodellens E_{CIE} med ASIAQ's observationer af samme størrelse (Solar Light Model 501 Biometer) ved Qeqertarsuaq den 10. juni 2001. Dagen var næsten skyfri, bortset fra lidt cirrus-skyer hen på aftenen. Det ses, at parametermodellen giver en meget god beskrivelse af den cie-vægtede irradians dagen igennem.



Figur 6. Resultaterne fra tabel 3 i grafisk form: hvorledes parametermodellen (Green) afviger fra strålings-transportmodellen UVSPEC som funktion af zenith-vinklen. En negativ afvigelse betyder, at parametermodellen giver for lave værdier af den vægtede irradians. Betegnelsen 'bwf' dækker her vægtning efter kisel-alge-vægtspektret vist i figur 5.

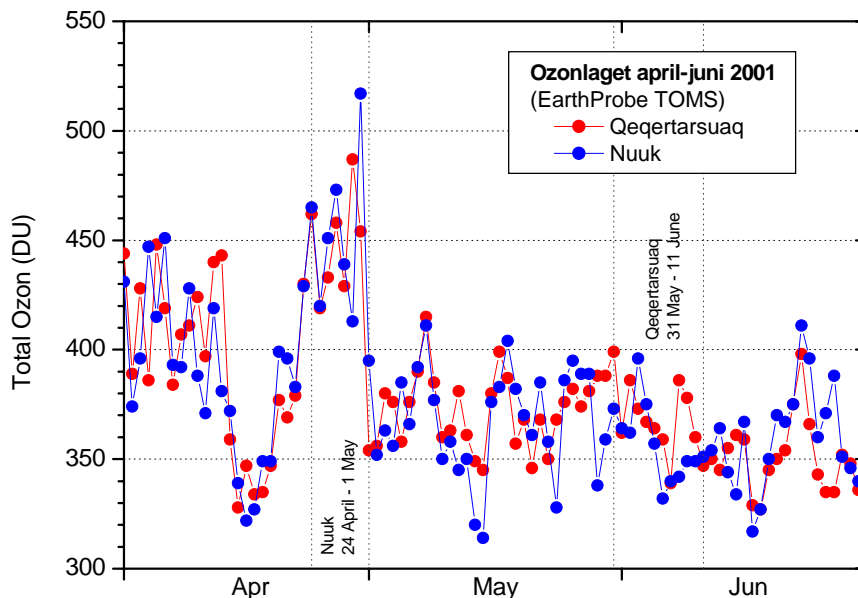


Figur 7. Resultater fra parametermodellen sammenlignet med målinger foretaget af ASISQ ved Qeqertarsuaq den 10. juni 2001. Til modelberegningerne er anvendt et ozonlag på 360 DU samt en albedo på 30%, idet der stadig var sneklædte områder på Disko. LST er lokal standard tid, dvs. Grønlandsk vintertid. UTC = LST + 3.

Ozonlaget og UV strålingen ved Grønland i april-juni 2001.

Til modellering af UV-strålingen skal der som input til strålingsmodellen anvendes en værdi for ozonlagets tykkelse. Vi anvendte målinger af ozonlagets tykkelse fra TOMS instrumentet på NASA's Earth Probe satellit. I Kangerlussuaq (Sdr. Strømfjord), ca. 200

km sydligere, har DMI et såkaldt Brewer instrument, der dagligt måler ozonlagets tykkelse. Sammenlignes målingerne fra Brewer instrumentet i Kangerlussuaq med Earth Probe TOMS målinger over Kangerlussuaq finder vi, at TOMS instrumentet i middel systematisk måler 5.6 DU højere end Brewer instrumentet. Vi ved desuden, at TOMS-instrumentet har haft (mindre) problemer siden foråret 2001. Da vi samtidig er sikre på Brewer-instrumentets kalibrering, har vi derfor korrigeret TOMS-målingerne for Qeqertarsuaq og Nuuk med -5.6 DU.



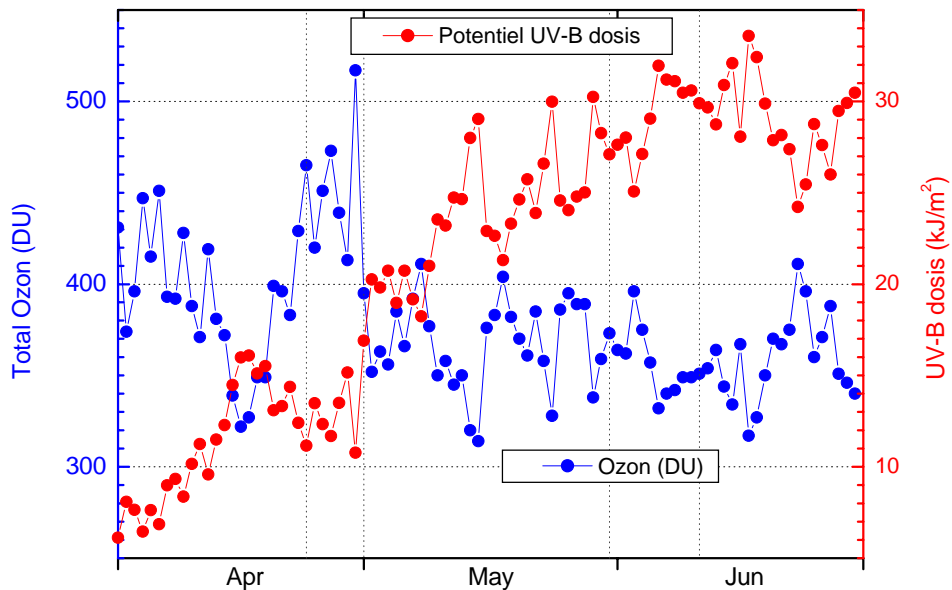
Figur 8. Ozonlagets tykkelse over hhv. Nuuk og Qeqertarsuaq i perioden april-juni 2001. Målekampagner ved Nuuk og Qeqertarsuaq er vist med lodrette stiplede linier.

Figur 8 viser, at der er to større ændringer i ozonlagets tykkelse over Vestgrønland i april-maj 2001. Den første markante ændring sker midt i april måned, hvor et stabilt højtryk medfører et forholdsvis tyndt ozonlag på omkring 330 DU, hvilket er ca. 100 DU under normalværdierne for denne årstid. Højtrykket bliver sidst i april afløst af udpræget lavtryksvejr med ozonlagstykkelser lidt over normalen for årstiden. Omkring 1. maj 2001 var der en markant ændring, idet tykkelsen af ozonlaget faldt næsten 150 DU i løbet af få dage. Dette fald har bevirket en markant forøgelse af UV-stråling: den potentielle daglige dosis i de første dage af maj er omkring 50% højere end den potentielle daglige dosis i de sidste dage af april som vist i figur 9. Faldet i ozonlagets tykkelse hænger sammen med et vejrskift. Satellitmålinger af ozonlagets tykkelse over Grønland under kampagneperioderne (hhv. 24. april – 1. maj og 31. maj – 11. juni) er vist i appendix B.

Beregning af UV-stråling i vandsøjlen.

Parametermodellen er først anvendt til at beregne den spektrale irradians (et UV spektrum) ved havoverfladen, $E_{\lambda}(0)$, for en skyfri himmel hver time (fra 00:30 til 23:30 LST) for alle dage under feltkampagnen. Hertil er anvendt en aktuell værdi for ozonlagets tykkelse den pågældende dag (satellit målinger, EP-TOMS), solens position (zenith-vinkel) på det pågældende tidspunkt, en albedo på 30% samt et lille indhold af aerosoler (aerosol-optiskdybde på 0.1 ved 368 nm) karakteristisk for Grønlandske forhold. Dernæst er den spektrale

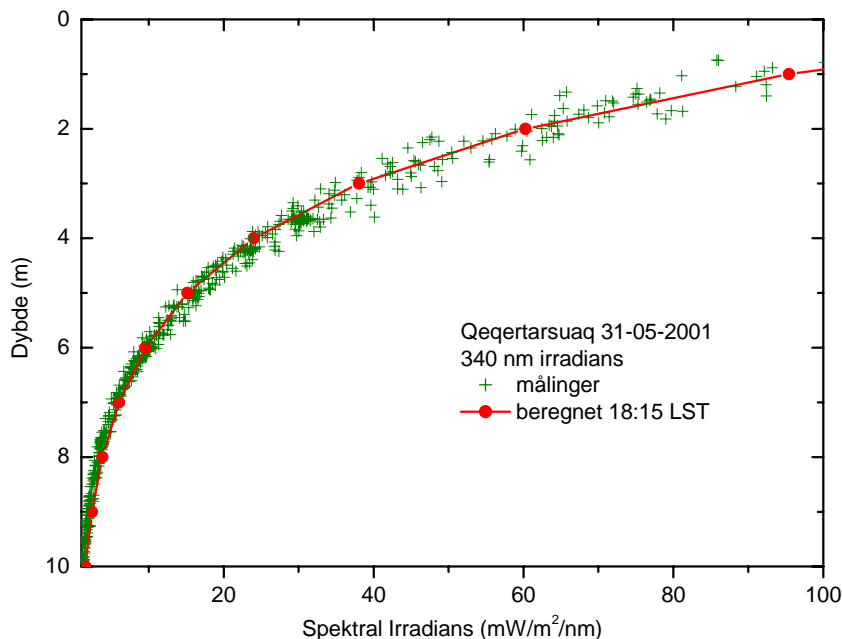
irradians beregnet i vandet for dybder på indtil 16 meter, i spring på 1 meter, ved hjælp af de målte ekstinktionskoefficienter (figur 4), der ved hjælp af et eksponentielt fit til de diskrete målinger ved 305, 320, 340 og 380 nm blev beregnet for samtlige bølgelængder



Figur 9. Den potentielle UV-B stråling (280-315nm) ved Nuuk beregnet ved hjælp af parametermodellen ud fra satellitmålinger af ozonlagets tykkelse som den daglige UV-B dosis i perioden april-juni 2001. Med potentiel refereres til skyfri himmel. Skyer påvirker den daglige dosis således, at den altid vil være mindre end eller lig med den daglige dosis under skyfri himmel.

mellem 290 og 400 nm i spring på 1 nm – altså $E_{\lambda}(z) = T_{\lambda} E_{\lambda}(0) A \exp[-K_d(\lambda) z]$, hvor $E_{\lambda}(z)$ er den spektrale irradians i dybden z , T_{λ} er (Fresnel-) transmittansen gennem luft-vand overgangen, $E_{\lambda}(0)$ er den spektrale irradians umiddelbart over havoverfladen, A er en konstant bestemt ved fit af de målte ekstinktionskoefficienter $K_d(\lambda)$ ved 305, 320, 340 og 380 nm (figur 4), og z er dybden i meter. Fresnel-transmittansen gennem luft-vand overgangen er givet ved $4/(1+n(\lambda))^2$, hvor $n(\lambda)$ er brydningsindex for vand, og hvor brydningsindex for luft er sat til 1.0. Forinden beregning af $E_{\lambda}(z)$ blev $E_{\lambda}(0)$ i en iterativ proces skaleret (multiplikationsfaktor uafhængig af bølgelængden) således, at den cie-vægtede irradians E_{CIE} på havoverfladen inden for 2% stemte overens med ASIAQ's målinger af E_{CIE} . Herved er der opnået to vigtige mål: dels er der taget hensyn til skyer og dels er der kompenseret for parametermodellens undervurdering af $E_{\lambda}(0)$ for store zenith-vinkler. I figur 10 er målinger og beregninger sammenlignet.

Af figur 10 fremgår det, at den simple model med eksponentielt aftagende irradians (ekstinktionskoefficient uafhængig af dybden) bevirker, at irradiansen bliver svagt undervurderet ved dybder mellem 2 og 4 meter, at der er god overensstemmelse ved 5 og 6 meters dybde, og at irradiansen bliver svagt overvurderet ved dybder mellem 7 og 9 meter. At der ikke er endnu bedre overensstemmelse mellem målinger og beregninger skyldes alene den simple model med dybdeuafhængig ekstinktionskoefficient. Da eksponeringen i vandsøjlen estimeres ved hjælp af H_d , der alligevel kun er en tilnærmet vurdering af den reelle eksponering, må det forventes, at ovennævnte afvigelser af den beregnede irradians fra den målte irradians ikke bidrager til en væsentligt større usikkerhed i vurderingen af den reelle eksponering.



Figur 10. Sammenligninger af parametermodellens resultat for 340 nm samt en eksponentiel aftagen med dybden af irradiansen med ekstinktionskoefficient $K_d=0.45$ med målinger af irradiansen ved 340 nm for dybder indtil 10 meter. Målingerne blev foretaget mellem kl. 18:12 og 18:20 LST mens den beregnede irradians er for kl. 18:15 LST. LST er Local Standard Time.

Referencer

1. D. Hanelt et al. Light regime in an Arctic fjord: a study related to stratospheric ozone depletion as a basis for determination of UV effects on algal growth. *Marine Biology* 138, 649-658, 2001.
2. LibRadTran/UVSPEC strålingstransportmodel : <http://www.LibRadTran.org>
3. PF Schippnick, AES Green. Analytical Characterization of spectral actinic flux and spectral irradiance in the middle ultraviolet. *Photochem.Photobiol.* vol35, 89-101, 1982.
4. AES Green, KR Cross, LA Smith. Improved analytic characterization of ultraviolet skylight. *Photochem.Photobiol.* vol31, 59-65, 1980.
5. AES Green, T Sawada, EP Shettle. The middle ultraviolet reaching the ground. *Photochem.Photobiol.* vol19, 251-259, 1974.
6. Report of the WMO/STUK intercomparison of Erythemally-weighted solar UV radiometers, spring-summer 1995, Helsinki, Finland. WMO, Global Atmosphere Watch report no. 112. TD no. 781. World Meteorological Organization, Geneva, 1997.
7. Report of the LAP/COST/WMO intercomparison of Erythema radiometers. Thessaloniki, Greece, 13-23 September 1999. WMO, Global Atmosphere Watch report no. 141. TD no. 1051. World Meteorological Organization, Geneva, 2001.
8. Bais AF, et al. SUSPEN intercomparison of ultraviolet spectroradiometers. *J. Geophys. Res.* vol. 106, D12, 12509-12525, 2001.
9. Seckmeyer G, et al. Instruments to measure solar ultraviolet radiation. 1: Spectral instruments. WMO, Global Atmosphere Watch report no. 125. World Meteorological Organization, Geneva, 2001.

Appendix A.

Radiometriske begreber.

I rapporten er anvendt en række begreber fra radiometrien. Disse præciseres i nedenstående oversigt.

Irradians, radians og skalar irradians.

Irradians eller *bestrålingsstyrke* betegnes E og har enheden W/m^2 . Irradiansen angiver effekttheden eller fluxtheden på den *bestrålede* flade. Fladen er oftest horizontal, men kan i princippet have enhver orientering. Når fladen er horisontal tales ofte om den *globale irradians* eller *globalstrålingen*. Radians, der betegnes L og har enheden $W/(m^2 sr)$, angiver effekten i et strålebundt i en bestemt retning pr. kilde-arealenhed og pr. rumvinkelenhed.

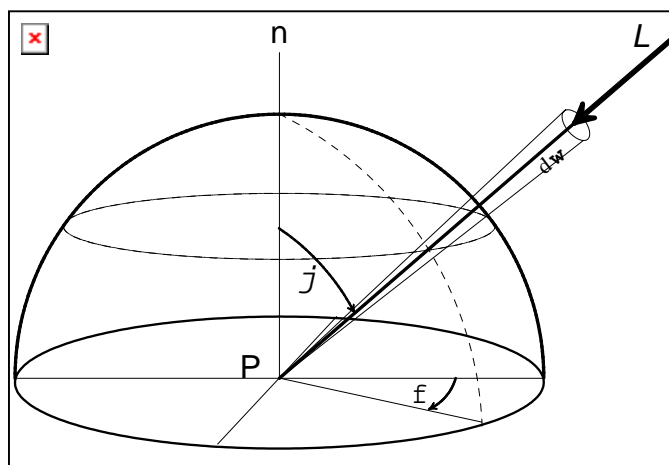
De spektrale afledede betegnes hhv. den spektrale irradians, $E_\lambda \equiv dE/d\lambda$ og den spektrale radians $L_\lambda \equiv dL/d\lambda$, og har derfor enhederne $W/(nm^2)$ hhv. $W/(m^2 nm sr)$

I forhold til en (imaginær) horisontal flade betegnes med E_d og E_u hhv. den nedadrettede (*down*) og opadrettede (*up*) irradians. For målinger ved jordoverfladen er E_d det samme som den (spektrale) globale irradians. E_d og E_u anvendes ofte i vand eller i atmosfæren.

Sammenhængen mellem irradians og radians fremgår af figur A1. Den nedadrettede irradians i punktet P er givet ved

$$E_d = \int_{2\pi} \cos\theta L(\theta, \varphi) d\omega$$

hvor $L(\theta, \varphi)$ er radiansen af strålingen, der kommer fra retningen givet ved de polare vinkler θ (zenithvinkel) og φ (azimuthvinkel), mens $d\omega$ er et rumvinkelement i denne retning ($d\omega = \sin\theta d\theta d\varphi$). Der integreres over den 'øvre' halvkugle – indikeret med 2π . Vi ser, at irradiansen fremkommer ved integration af radiansen vægtet med $\cos\theta$.



Figur A1. Geometri til illustration af irradians i punktet P.

Af samme grund skal instrumenter, der måler irradians, have en vinkelrespons til rettet stråling som cosinus til indfaldsvinklen (cosinus-respons). Det er imidlertid ikke let at fremstille instrumenter der har en nøjagtig cosinus-respons; de fleste instrumenter's respons er for lille når indfaldsvinklen er stor. Instrumenter der måler irradians måler kun stråling, der kommer 'oppefra' (øverste halvkugle), men ikke den stråling der kommer 'nedefra'.

For mikroorganismer der eksponeres for stråling i vandet, eller for partikler/molekyler der eksponeres for stråling i havet eller i atmosfæren, og påvirkes heraf, eller afstedkommer reaktioner på grund heraf, er det imidlertid den totale stråling fra alle retninger der giver aktionen og bestemmer reaktionen. Den skalare irradians E_0 i punktet P givet ved

$$E_0 = \int_{4\pi} L(\theta, \varphi) d\omega$$

og hvor 4π indikerer, at der integreres over både den 'øvre' og 'nedre' halvkugle – altså over en 'kugle' omkring P – er derfor den størrelse der er relevant. Det bemærkes, at E_0 fremkommer ved en integration af den uvægtede radian. E_0 kaldes ofte den aktiniske flux.

Det er vanskeligt at fremstille instrumenter der måler den skalare irradians, bl.a. fordi det er vanskeligt at fremstille 'input-optik' der har den ønskede vinkluafhængige respons.

Eksponering – dosis.

Eksponering (*eng*: radiant exposure), eller dosis, betegnes H , har enheden J/m^2 , og beregnes som det tidslige integral af irradiansen, f.eks.

$$H_d = \int_T E_d(t) dt$$

hvor T angiver eksponeringstidsrummet.

For eksponering af partikler i havet eller partikler/molekyler i atmosfæren er den korrekte eksponering imidlertid givet ved

$$H_0 = \int_T E_0(t) dt$$

idet det er den skalare irradians E_0 der er bestemmende for aktion-reaktion.

I mange sammenhænge vil irradiansen, der optræder i integralerne ovenfor, ofte være en vægtet irradians, fremkommet som en vægtning af den spektrale irradians med en biologisk vægtfunktion (virkningsspektrum) der beskriver en bestemt biologisk reaktion (se nedenfor).

H_0 er således altid større end H_d . Der findes imidlertid ikke kommercielle instrumenter til måling af den skalare irradians i UV-området, og derfor anvendes oftest irradians-

instrumenter (f.eks. som PUV 500) til undervandsmålinger, og H_d må anvendes som et (tilnærmet) mål for eksponeringen.

Ekstinktion.

Hvis $E_d(z)$ betegner irradiansen i dybden z ved en given bølgelængde, er den såkaldte vertikale ekstinktionskoefficient $K_d(z)$ givet ved

$$K_d(z) = \frac{1}{E_d} \frac{dE_d}{dz} = \frac{d \ln(E_d)}{dz}$$

Hvis $K_d(z)$ ikke afhænger af dybden, er $E_d(z) = E_d(0) \exp(-K_d z)$, hvor $E_d(0)$ er irradiansen umiddelbart under havoverfladen, og irradiansen ved den pågældende bølgelængde aftager derfor eksponentielt med dybden. Hvis $K_d(z)$ afhænger af dybden beregnes den for dybdeintervallet $[z_1, z_2]$ ved hjælp af

$$K_d = \frac{\ln[E_d(z_2) - E_d(z_1)]}{(z_1 - z_2)}$$

APPENDIX B.

Ozonlaget og UV strålingen ved Grønland i april-juni 2001.

Solhøjden og ozonlagets tykkelse er afgørende for den potentielle UV-stråling ved havets overflade. Skyforhold spiller derudover en afgørende rolle for den aktuelle stråling. For at få et overblik over den potentielle UV-stråling ved havniveau har vi derfor undersøgt ozonlagets udvikling omkring de to målekampagner, og dernæst beregnet den potentielle UV-stråling ved havniveau for disse perioder:

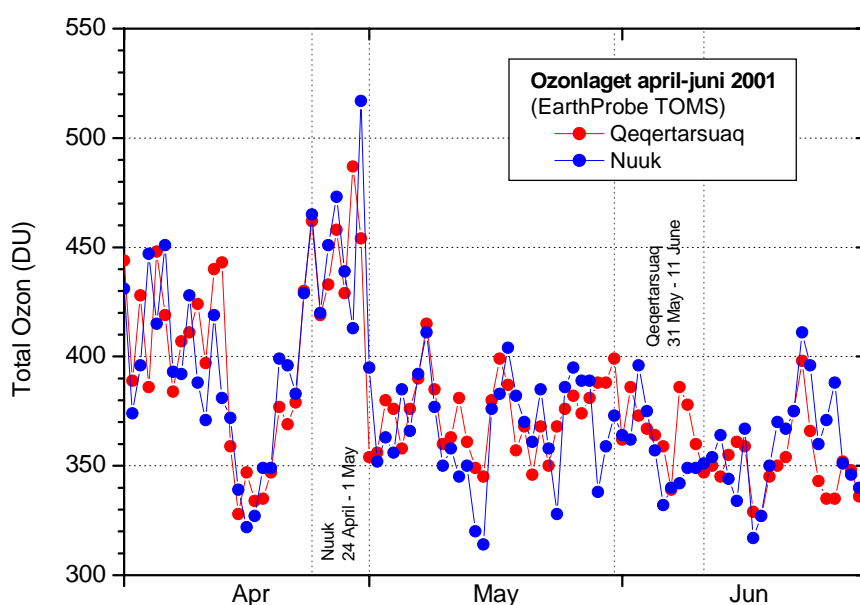
- målekampagne i Nuuk: 24. april – 1. maj 2001 og
- målekampagne i Qeqertarsuaq: 31. maj – 11. juni 2001.

Ozonlaget.

Satellitmålinger af ozonlaget over Grønland er vist på de følgende sider i en periode omkring de to kampagneperioder: henholdsvis i figur B1-a til B1-l for perioden 24. april til 5. maj 2001 og i figur B3-a til B3-l for perioden 31. maj til 11. juni. Målingerne er fra GOME-instrumentet på ERS-2 (ESA), såkaldt assimilerede GOME målinger (aGOME). Som oversigt for de to lokationer, er figur 8 gentaget nedenfor.

UV-strålingen.

Den CIE-vægtede UV-stråling, E_{CIE} , ved lokal middag og for skyfri himmel er beregnet ud fra ozonlaget målt fra GOME ved hjælp af UVSPEC-modellen. Den er vist i form af UV-index'et, hvor $UVindex = 40 * E_{CIE} (W/m^2)$, i de to kampagneperioder i figurene B2-a til B2-l (24. april til 5. maj 2001) og B4-a til B4-l (31. maj til 11. juni).



Figur B0 (samme som figur 8). Ozonlagets variationer i ved Nuuk og Qeqertarsuaq 2001.

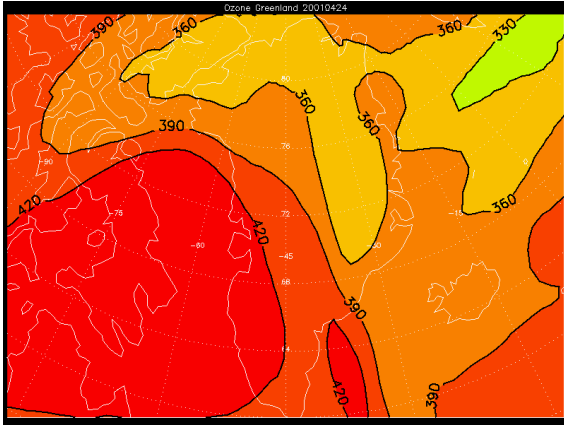


Figure B1-a. aGOME ozon 24-04-2001.

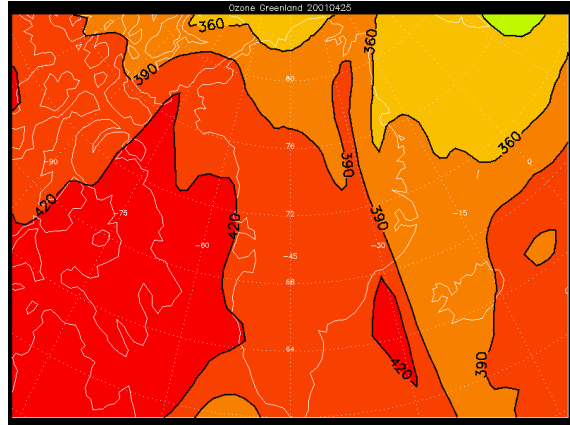


Figure B1-b. aGOME ozon 25-04-2001.

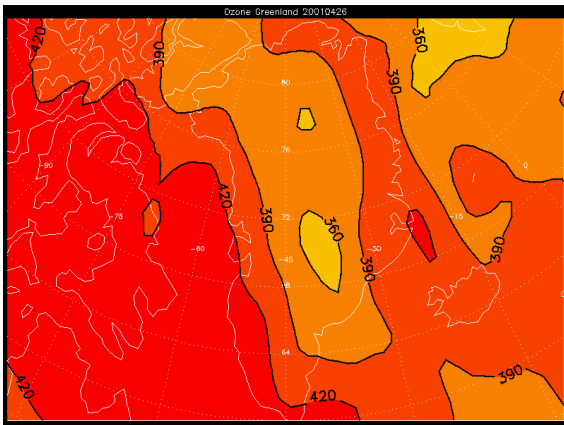


Figure B1-c. aGOME ozon 26-04-2001.

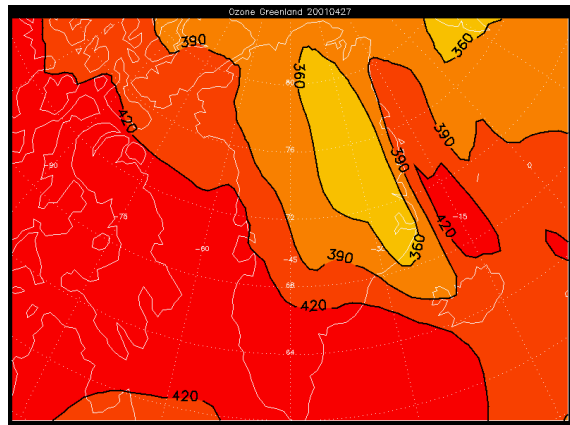


Figure B1-d. aGOME ozon 27-04-2001.

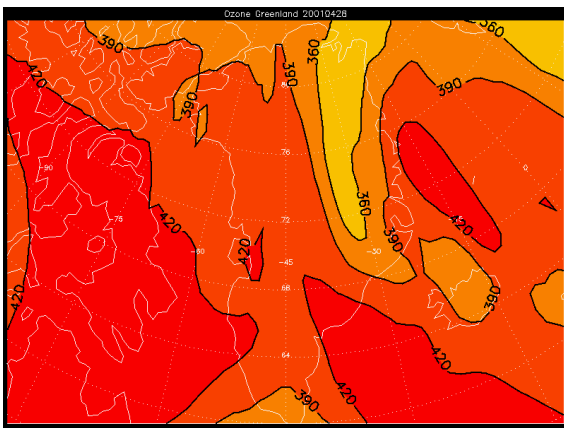


Figure B1-e. aGOME ozon 28-04-2001.

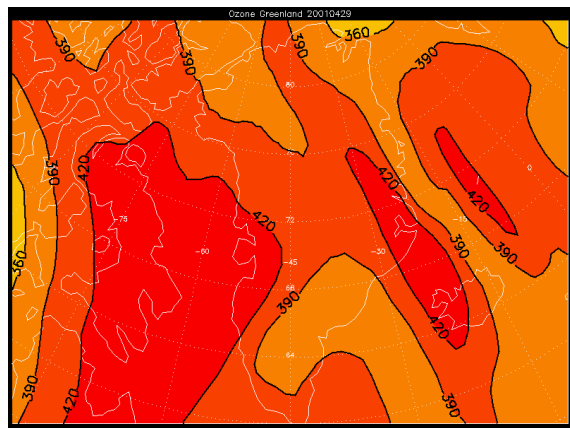
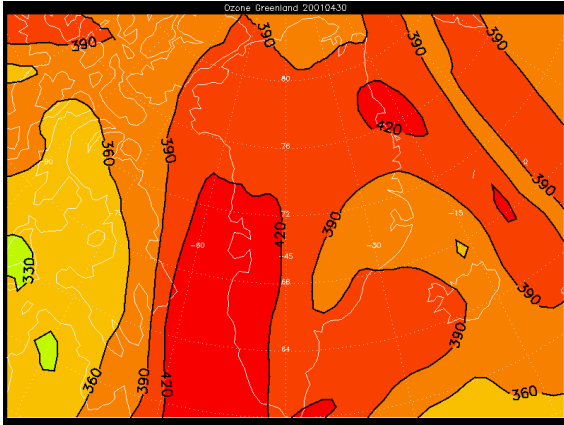
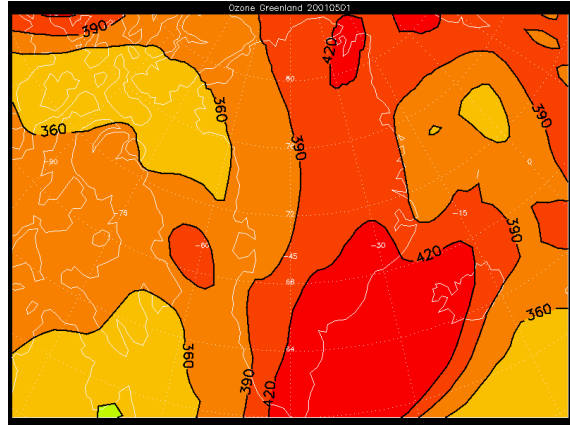


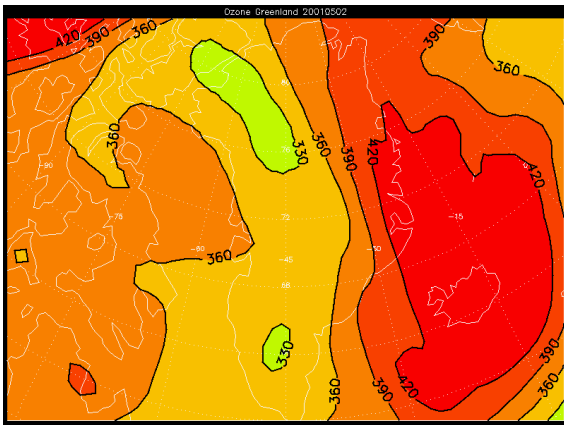
Figure B1-f. aGOME ozon 29-04-2001.



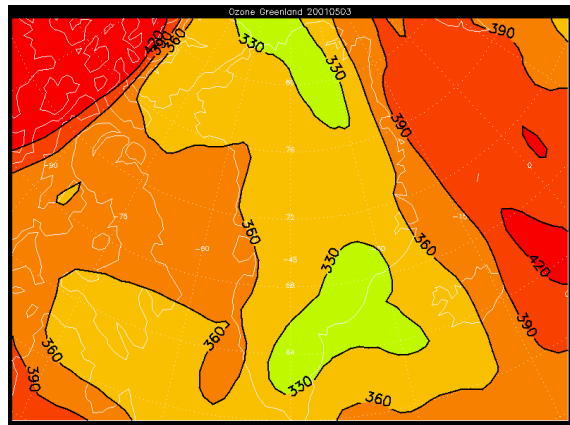
Figur B1-g. aGOME ozon 30-04-2001.



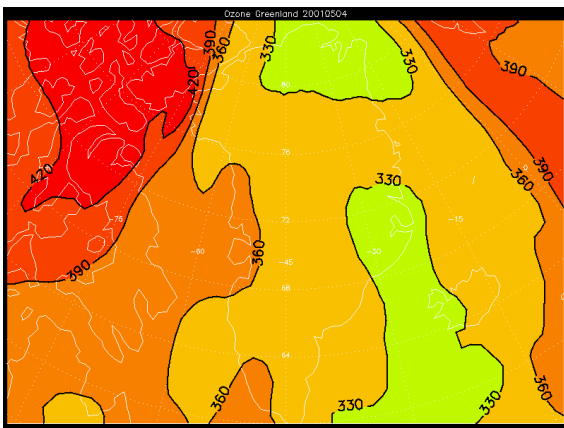
Figur B1-h. aGOME ozon 01-05-2001.



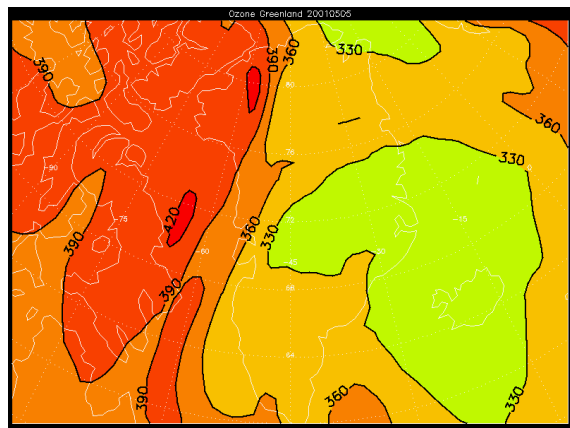
Figur B1-i. aGOME ozon 02-05-2001.



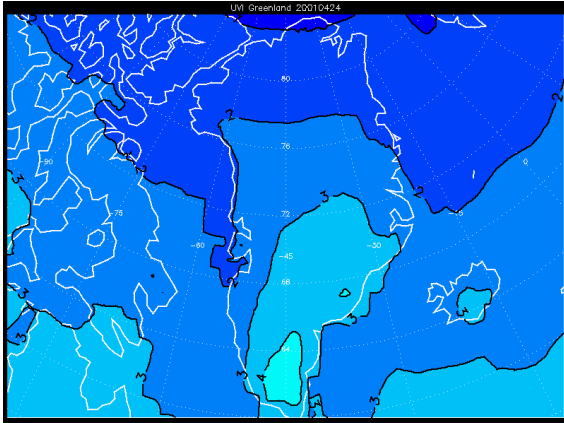
Figur B1-j. aGOME ozon 03-05-2001.



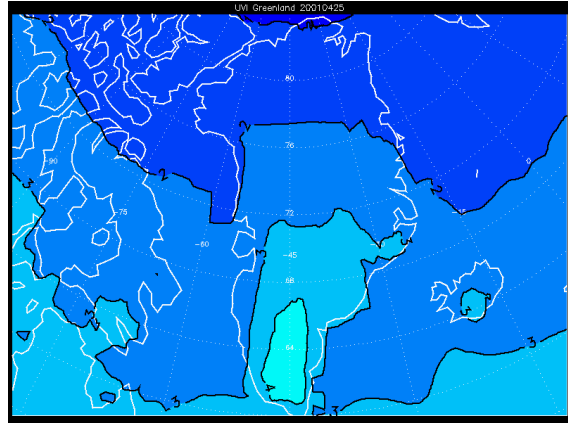
Figur B1-k. aGOME ozon 04-05-2001.



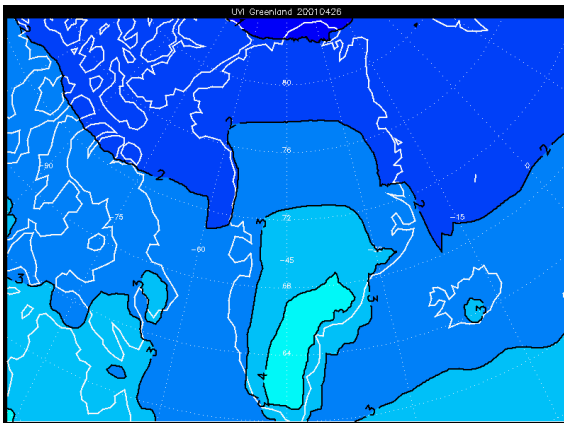
Figur B1-l. aGOME ozon 05-05-2001.



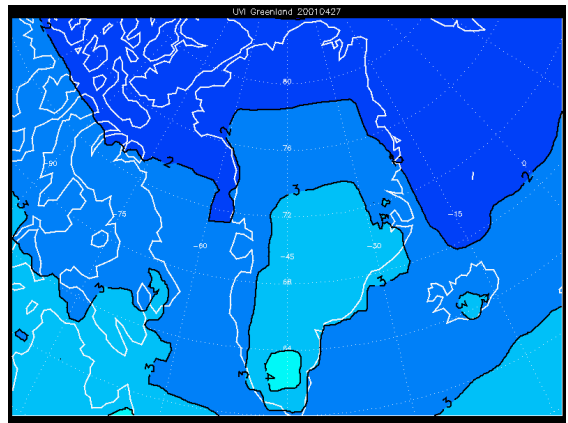
Figur B2-a. Max. UV-index 24-04-2001.



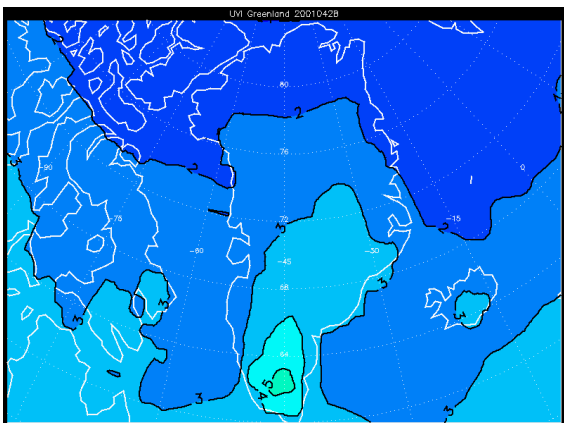
Figur B2-b. Max. UV-index 25-04-2001.



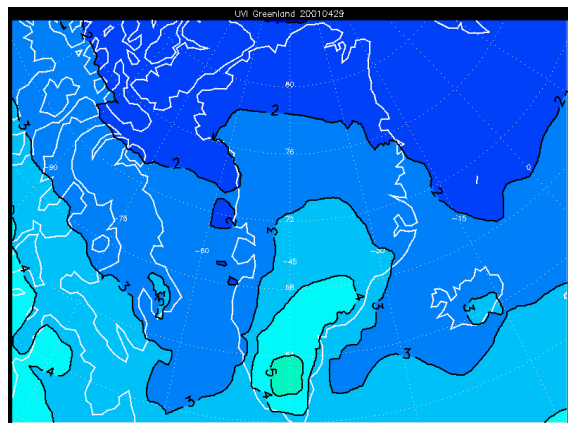
Figur B2-c. Max. UV-index 26-04-2001.



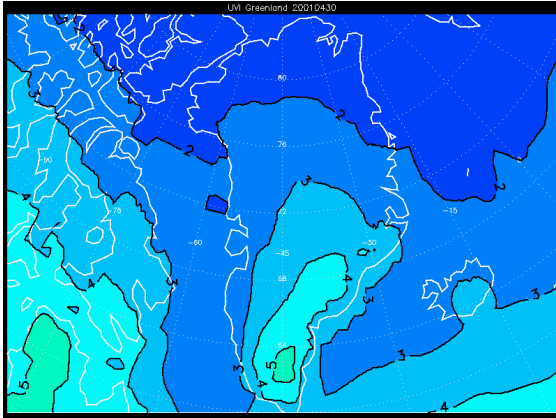
Figur B2-d. Max. UV-index 27-04-2001.



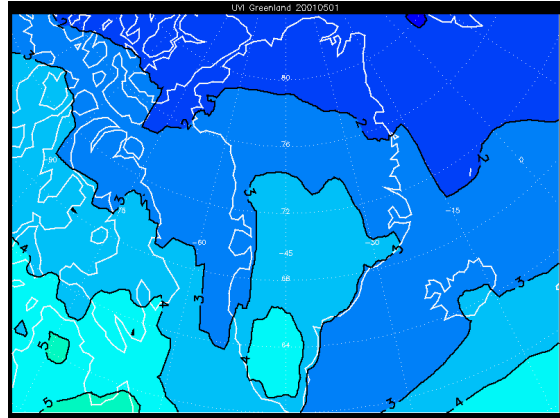
Figur B2-e. Max. UV-index 28-04-2001.



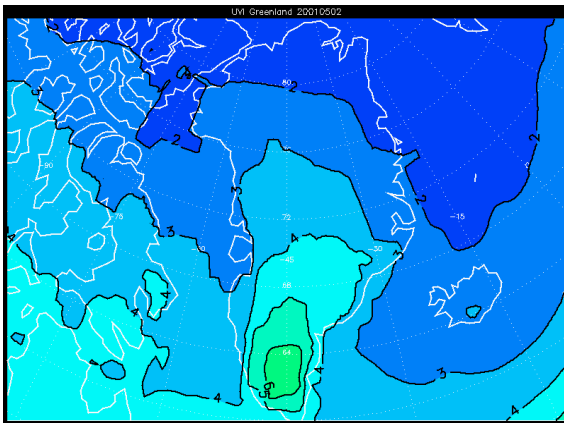
Figur B2-f. Max. UV-index 29-04-2001.



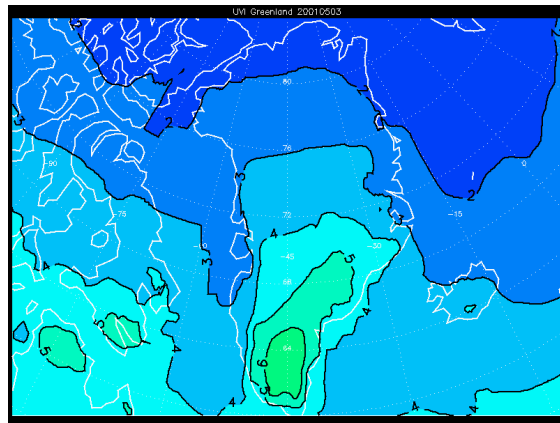
Figur B2-g. Max. UV-index 30-04-2001.



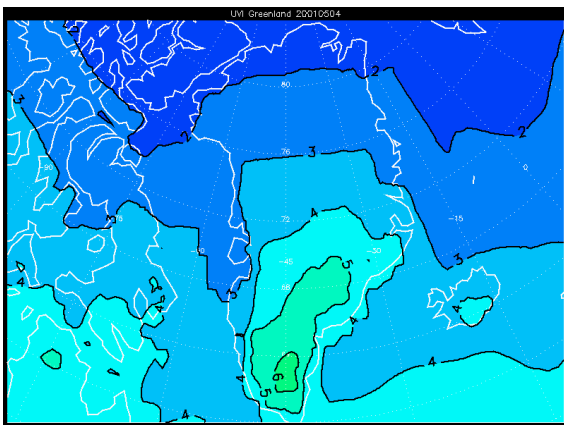
Figur B2-h. Max. UV-index 01-05-2001.



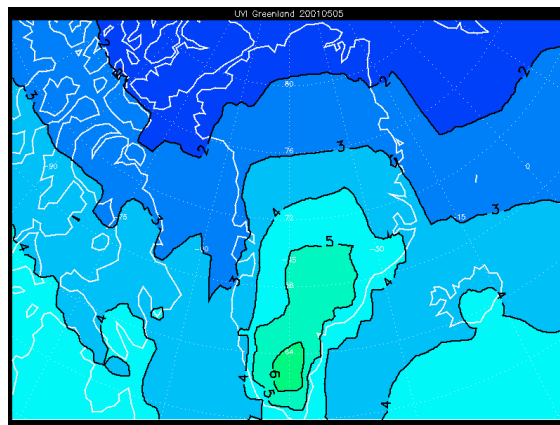
Figur B2-i. Max. UV-index 02-05-2001.



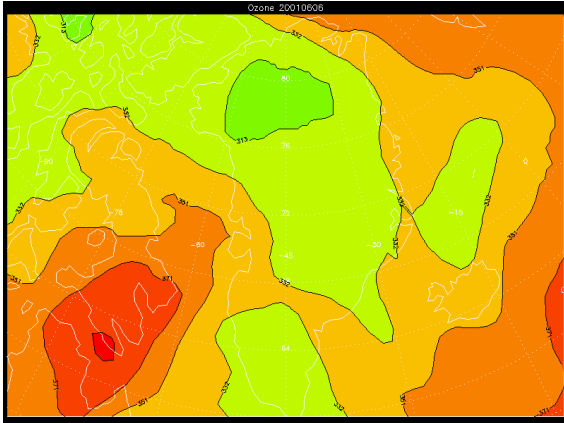
Figur B2-j. Max. UV-index 03-05-2001.



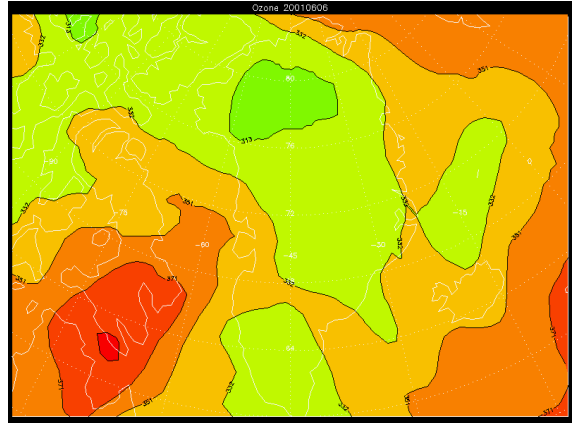
Figur B2-k. Max. UV-index 04-05-2001.



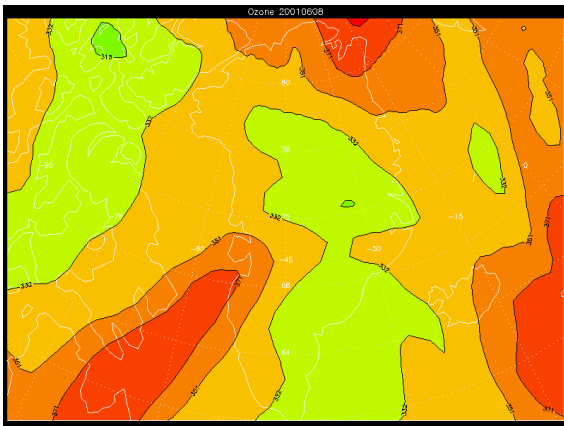
Figur B2-l. Max. UV-index 05-05-2001.



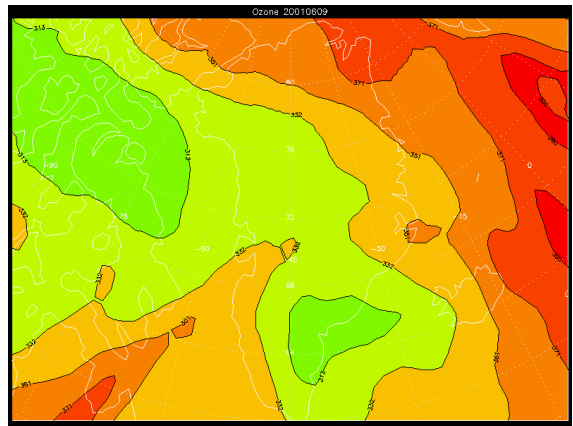
Figur B3-g. aGOME ozon 06-06-2001.



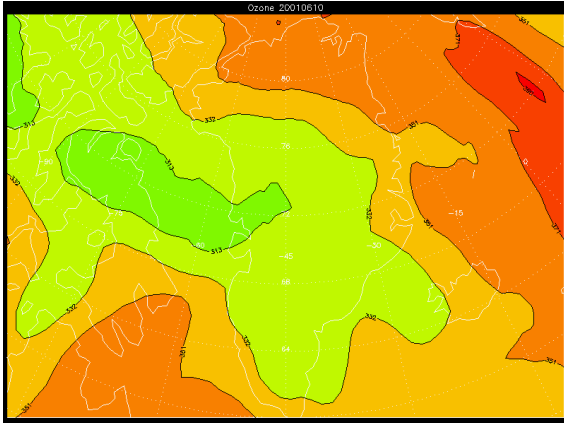
Figur B3-h. aGOME ozon 07-06-2001.



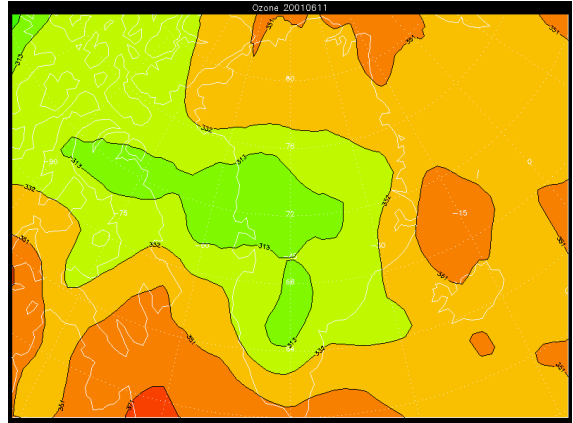
Figur B3-i. aGOME ozon 08-06-2001.



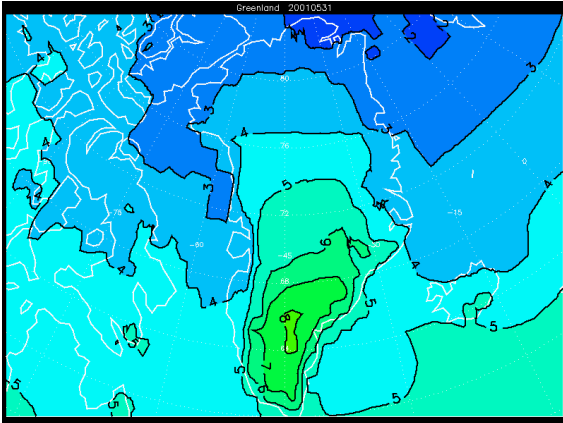
Figur B3-j. aGOME ozon 09-06-2001.



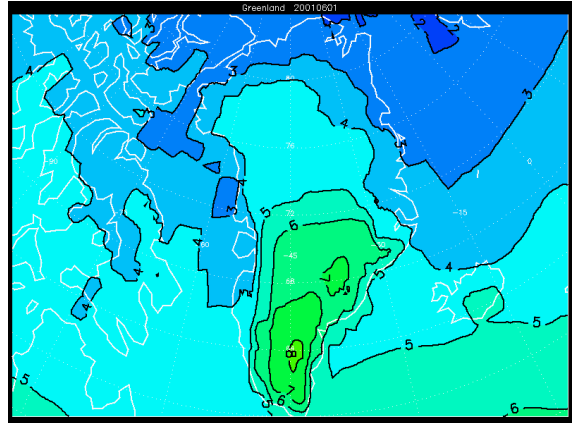
Figur B3-k. aGOME ozon 10-06-2001.



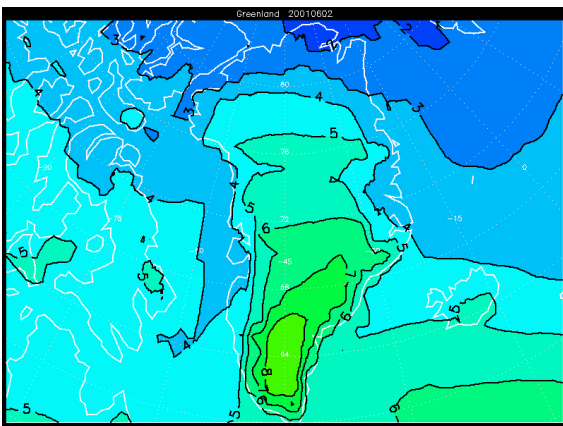
Figur B3-l. aGOME ozon 11-06-2001.



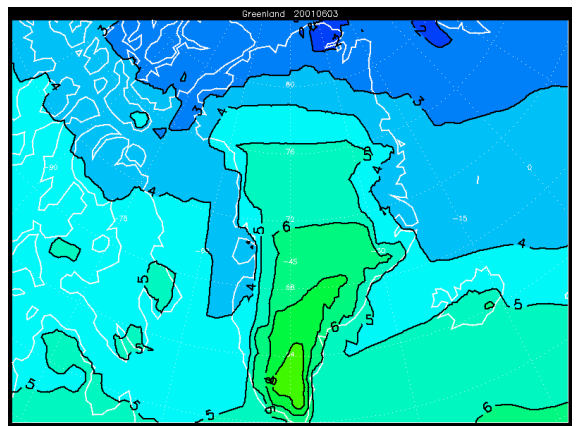
Figur B4-a. Max. UV-index 31-05-2001.



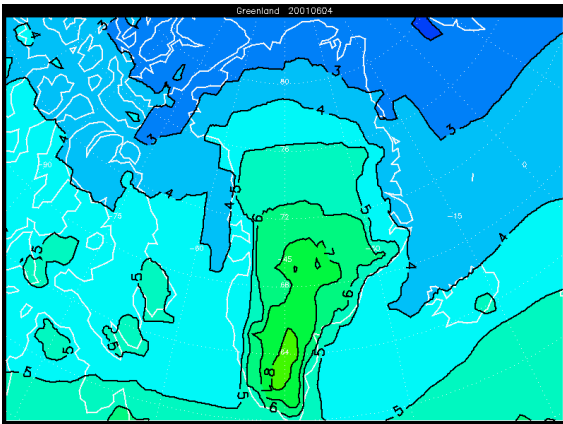
Figur B4-b. Max. UV-index 01-06-2001.



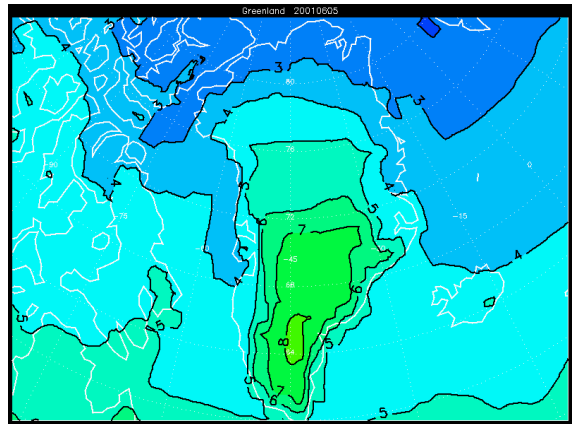
Figur B4-c. Max. UV-index 02-06-2001.



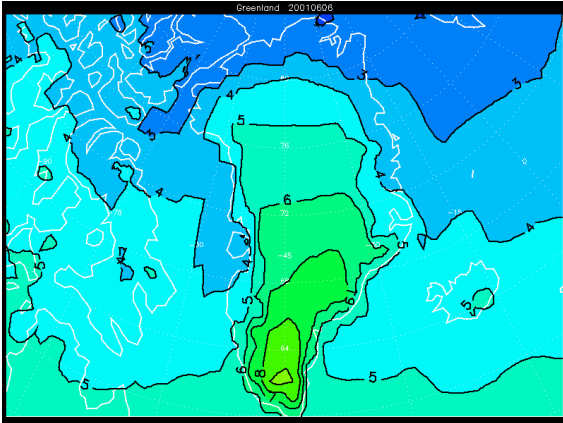
Figur B4-d. Max. UV-index 03-06-2001.



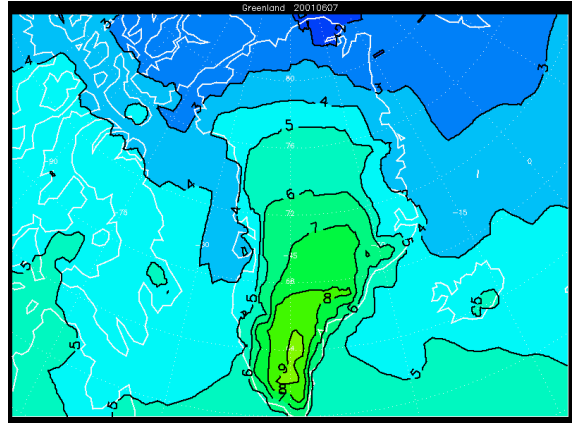
Figur B4-e. Max. UV-index 04-06-2001.



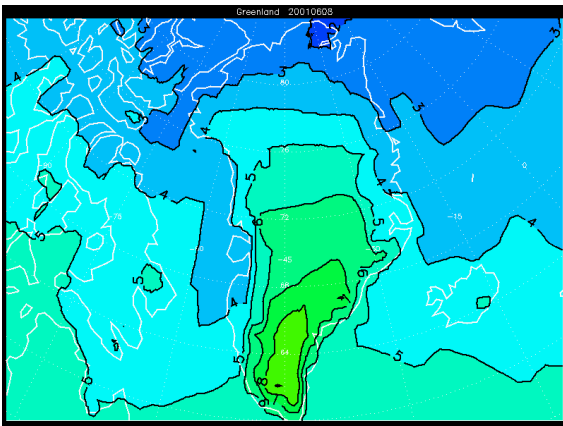
Figur B4-f. Max. UV-index 05-06-2001.



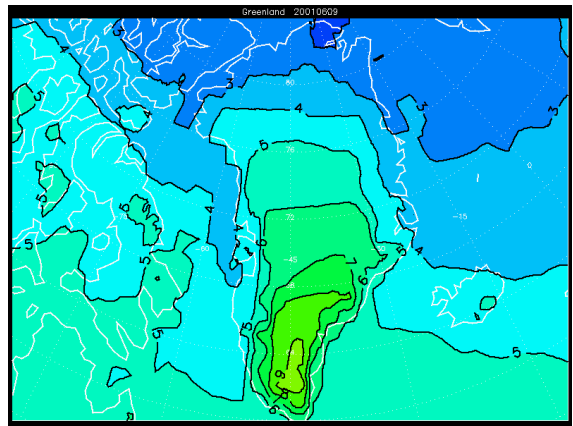
Figur B4-g. Max. UV-index 06-06-2001.



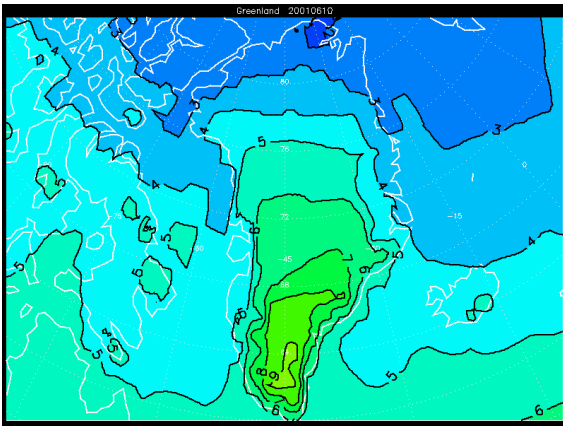
Figur B4-h. Max. UV-index 07-06-2001.



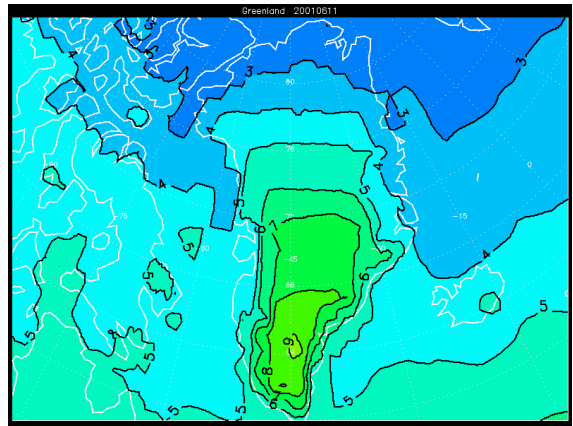
Figur B4-i. Max. UV-index 08-06-2001.



Figur B4-j. Max. UV-index 09-06-2001.



Figur B4-k. Max. UV-index 10-06-2001.

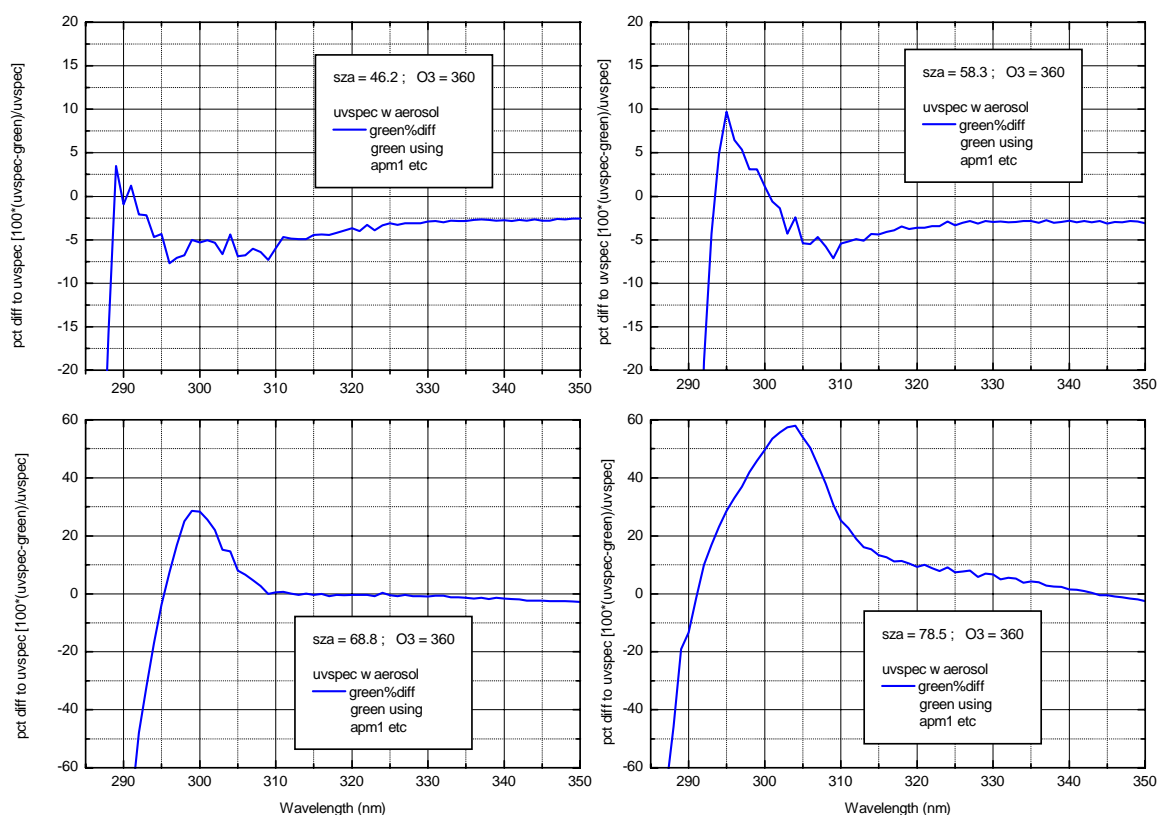


Figur B4-l. Max. UV-index 11-06-2001.

APPENDIX C.

Sammenligning af modeller til beregning af UV stråling.

Mens parametermodellen har fordele i form af hurtighed og flexibilitet ved programmering, har den dog fejl i forhold til strålingstransportmodeller, især ved lave solhøjder (store zenitvinkler). Det skyldes modellens approximationer til jordens krumning. Selvom parametermodellen giver gode resultater for den vægtede CIE-irradians ved moderate og store solhøjder, er dens spektrale resultater alligevel ikke de samme som strålingstransportmodellens. Det ses nedenfor i figur C1. Ved solhøjder over 20° afviger parametermodellens vægtede CIE-irradians højst med 5% fra den vægtede CIE-irradians beregnet med strålingstransportmodellen UVSPEC (figur 6), men som det fremgår af figur C1 dækker dette over store forskelle i den spektrale irradians: vægtningen af den spektrale irradians med CIE-vægtspektret udkompenserer imidlertid for nogle af disse fejl. Det ses tydeligt, at parametermodellen ved lave solhøjder (stor zenitvinkel), hvor der stort set ikke kan måles stråling under ca. 290 nm, systematisk giver for lave spektrale værdier, hvilket medfører en for lille vægtet irradians. For effekt-vurderinger har dette imidlertid ikke den store betydning fordi den vægtede irradians er så lille, at den ikke har den store betydning sammenlignet med effekterne ved større solhøjder.



Figur C1. Afvigelse i procent af parametermodellens spektrale irradians fra den spektrale irradians beregnet ved hjælp af strålingstransportmodellen UVSPEC. Der er vist resultater fra fire solhøjder (zenitvinkler). Begge modeller har anvendt samme solspektrum uden for atmosfæren

APPENDIX D.

Modelresultater for UV-strålingen i vandsøjlen ved Qeqertarsuaq.

Globalstråling og den CIE-vægtede daglige dosis er målt af ASIAQ. Til sammenligning er den potentielle daglige CIE-vægtede dosis beregnet ud fra ozonlagets tykkelse og solhøjden. Målinger og beregninger er vist i figur D1.

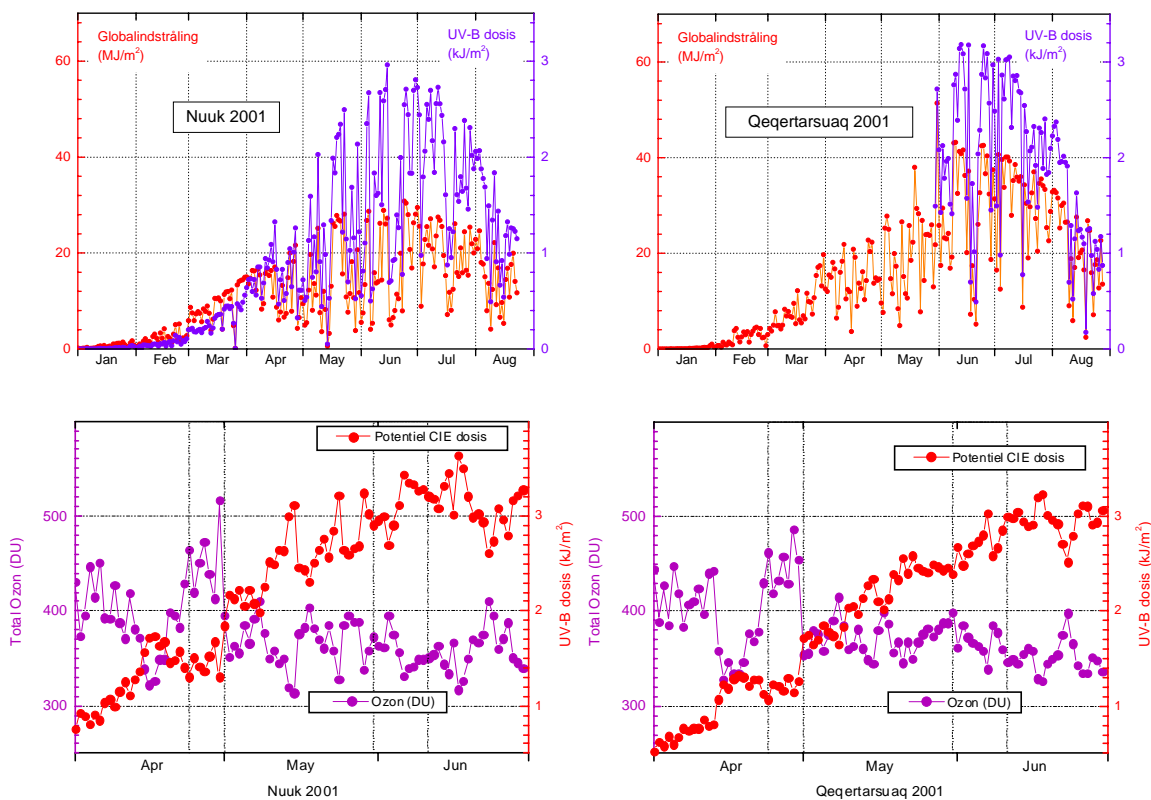
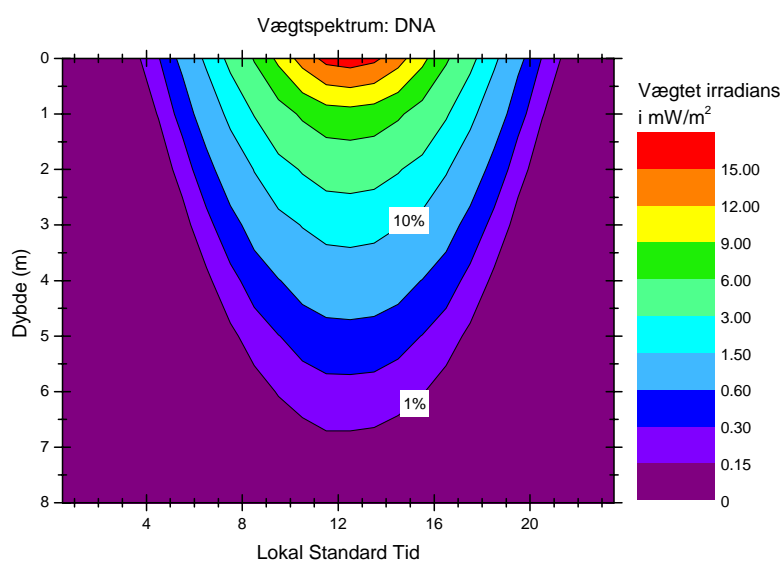
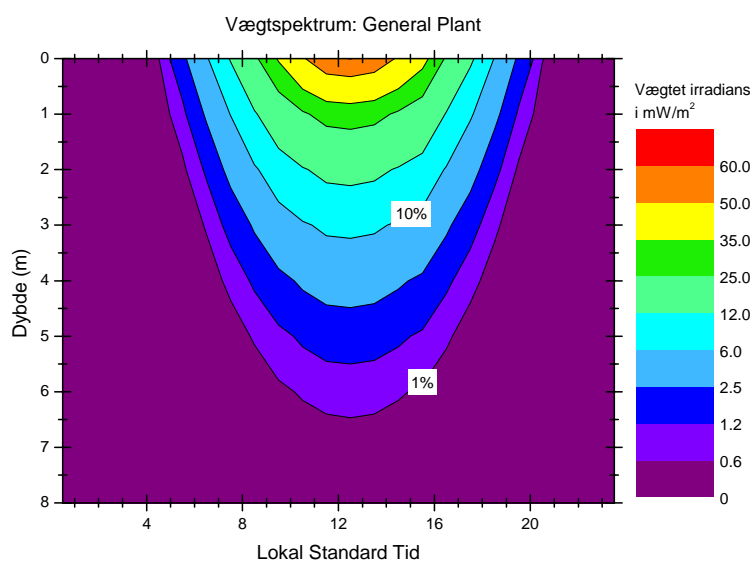
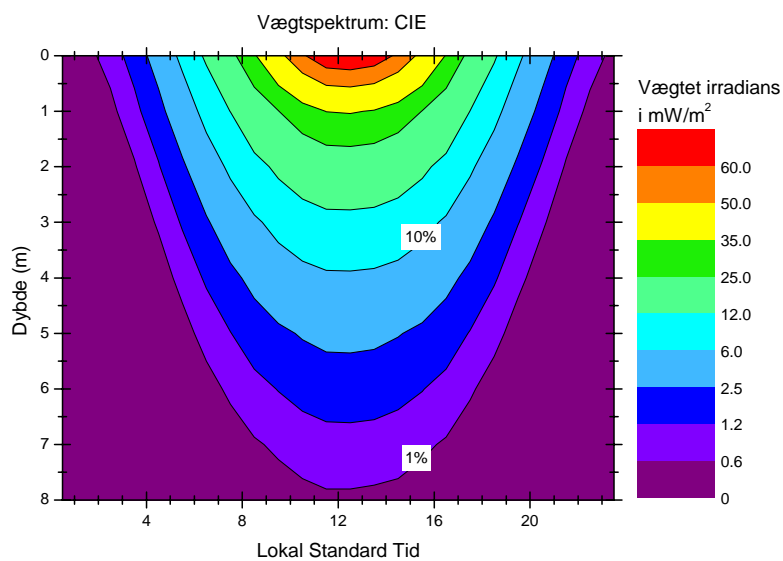


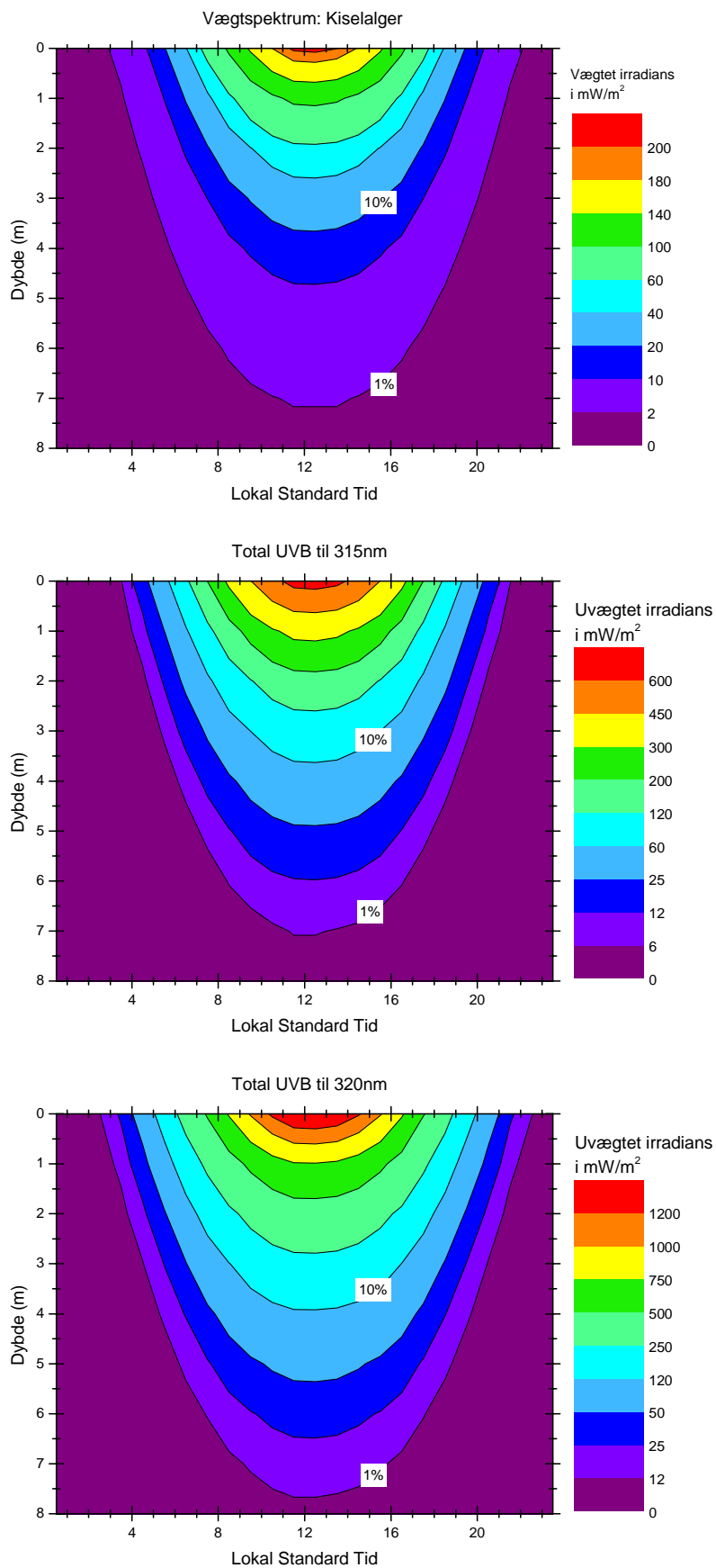
Figure D1. ASIAQ's målinger af den daglige globale indstråling samt den CIE-vægtede daglige dosis for Nuuk og Qeqertarsuaq 2001 samt den beregnede potentielle CIE-vægtede daglige dosis. Bemærk forskellig tidsakse. Der er god overensstemmelse mellem beregninger og målinger i Qeqertarsuaq, hvor der ofte er godt vejr (juni) mens der er mere skyet i Nuuk, hvilket ses klart af forskellen mellem beregnede og målte værdier.

Beregningerne af UV-strålingen i vandsøjlen er foretaget i dybderne 1-16 meter for flere vægtspektre, og der er ligeledes foretaget beregning af den vægtede- og uvægtede daglige dosis. Alle beregnede data for Qeqertarsuaq er vedlagt. Beregningerne er illustreret for den 10. juni 2001 ved Qeqertarsuaq i figur D2 og D3, en næsten skyfri dag, ved konturplot, der viser irradiansen som funktion af dybde og tid på dagen.

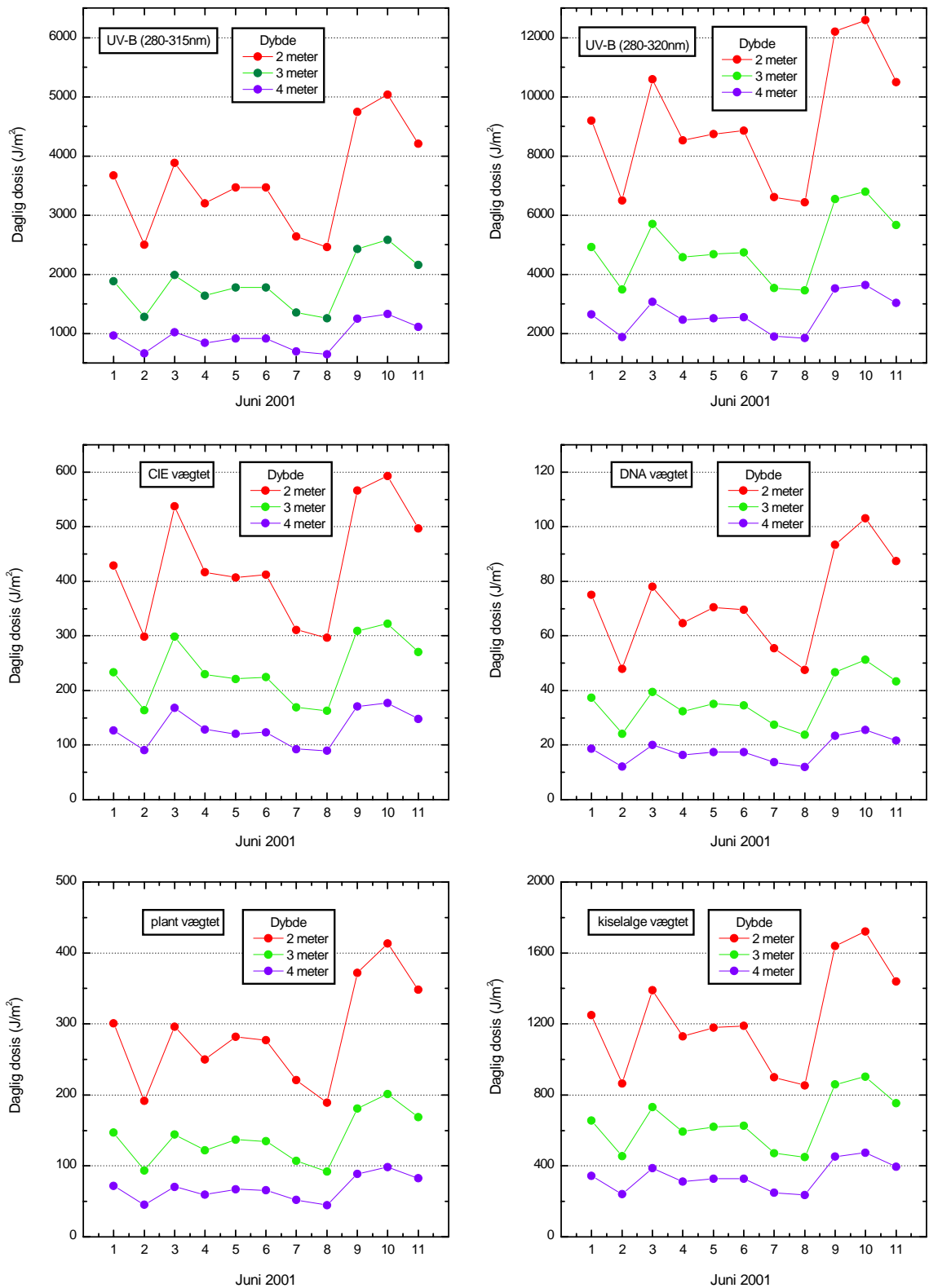
Figur D4 viser uvægtede og vægtede doser i dybderne 2, 3 og 4 meter.



Figur D2. Beregnet vægtet irradians den 10. juni ved Qeqertarsuaq (næsten skyfri) som funktion af dybde og tidspunkt på dagen. Her CIE, Plant og DNA vægtet irradians.



Figur D3. Beregnet vægtet irradians den 10. juni ved Qeqertarsuaq (næsten skyfri) som funktion af dybde og tidspunkt på dagen. Her vægtet irradians for kiselalger samt uvægtet total UV-B til hhv. 315 og 320 nm.



Figur D4. Resultater for Qeqertarsuaq i dybder 2, 3 og 4 meter. Den daglige dosis er vist dels for uvægtet UV-B dosis, hhv. 280-315nm og 280-320nm, dels for vægтет dosis efter vægтspektrene CIE, DNA, plant, og kiselalger.

ACTION SPECTRUM : total to 320 irradiances in mW/m2

sza	88.70	88.09	86.23	83.26	79.33	74.69	69.57	64.27	59.09	54.40	50.59	48.06	47.13	47.94	50.37	54.11	58.75	63.90	69.19	74.32	78.99	82.95	85.98	87.89
utc	03:30	04:30	05:30	06:30	07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	20:30	21:30	22:30	23:30	23:30	00:30	01:30	02:30
lst	00:30	01:30	02:30	03:30	04:30	05:30	06:30	07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	19:30	20:30	21:30	22:30	23:30
0+	4.6940	6.0141	12.2420	29.7847	82.1748	184.7554	396.2201	653.1366	920.3214	1206.1590	1467.9566	1712.4048	1801.4044	1608.3799	1255.3625	607.8775	273.6884	142.7644	62.5769	52.5933	28.9499	12.8476	4.5922	2.2779
0	3.3632	4.3091	8.7714	21.3399	58.8729	132.3565	283.8279	467.8379	659.1855	863.8815	1051.3551	1226.4066	1290.1388	1151.9041	899.0930	435.3761	196.0302	102.2609	44.8260	37.6770	20.7406	9.2049	3.2902	1.6321
1	1.8387	2.3555	4.7915	11.6354	31.9934	71.6252	152.9241	251.0393	352.4685	460.6134	559.4182	651.7421	685.3104	612.1161	478.3481	232.1003	104.7951	54.8580	24.1445	20.3824	11.2676	5.0177	1.7971	0.8921
2	1.0058	1.2884	2.6191	6.3487	17.4009	38.8005	82.4991	134.9104	188.7945	246.0707	298.2832	347.1062	364.8360	325.9856	255.0305	123.9746	56.1205	29.4737	13.0216	11.0380	6.1265	2.7372	0.9822	0.4879
3	0.5506	0.7052	1.4326	3.4664	9.4718	21.0397	44.5604	72.6064	101.2923	131.6981	159.3590	185.2429	194.6318	173.9631	136.2382	66.3423	30.1042	15.8585	7.0315	5.9836	3.3339	1.4942	0.5372	0.2670
4	0.3015	0.3862	0.7840	1.8939	5.1598	11.4197	24.0964	39.1291	54.4308	70.6078	85.2968	99.0520	104.0362	93.0165	72.9150	35.5637	16.1740	8.5446	3.8013	3.2468	1.8156	0.8162	0.2940	0.1462
5	0.1652	0.2116	0.4293	1.0354	2.8129	6.2039	13.0447	21.1151	29.2927	37.9176	45.7355	53.0617	55.7138	49.8265	39.0933	19.0959	8.7028	4.6099	2.0574	1.7634	0.9895	0.4461	0.1610	0.0801
6	0.0906	0.1160	0.2352	0.5664	1.5346	3.3733	7.0693	11.4084	15.7866	20.3941	24.5639	28.4742	29.8884	26.7371	20.9949	10.2696	4.6895	2.4902	1.1147	0.9586	0.5397	0.2440	0.0882	0.0439
7	0.0497	0.0636	0.1289	0.3100	0.8377	1.8357	3.8349	6.1712	8.5193	10.9852	13.2137	15.3049	16.0606	14.3708	11.2930	5.5311	2.5303	1.3468	0.6046	0.5215	0.2946	0.1335	0.0483	0.0241
8	0.0273	0.0349	0.0707	0.1698	0.4576	0.9998	2.0824	3.3420	4.6033	5.9255	7.1187	8.2392	8.6438	7.7360	6.0836	2.9832	1.3670	0.7292	0.3282	0.2840	0.1609	0.0731	0.0265	0.0132
9	0.0150	0.0192	0.0388	0.0930	0.2502	0.5449	1.1318	1.8118	2.4904	3.2004	3.8405	4.4419	4.6589	4.1705	3.2819	1.6111	0.7395	0.3953	0.1783	0.1547	0.0879	0.0401	0.0145	0.0073
10	0.0082	0.0105	0.0213	0.0510	0.1368	0.2972	0.6157	0.9832	1.3488	1.7308	2.0747	2.3981	2.5147	2.2515	1.7728	0.8712	0.4005	0.2145	0.0970	0.0844	0.0481	0.0220	0.0080	0.0040
11	0.0045	0.0058	0.0117	0.0280	0.0749	0.1622	0.3352	0.5341	0.7314	0.9371	1.1222	1.2963	1.3591	1.2171	0.9589	0.4717	0.2171	0.1165	0.0528	0.0461	0.0263	0.0120	0.0044	0.0022
12	0.0025	0.0032	0.0064	0.0153	0.0410	0.0886	0.1826	0.2904	0.3970	0.5080	0.6077	0.7016	0.7355	0.6587	0.5193	0.2557	0.1178	0.0633	0.0288	0.0251	0.0144	0.0066	0.0024	0.0012
13	0.0014	0.0017	0.0035	0.0084	0.0225	0.0484	0.0996	0.1580	0.2157	0.2757	0.3295	0.3802	0.3985	0.3569	0.2815	0.1387	0.0640	0.0345	0.0157	0.0137	0.0079	0.0036	0.0013	0.0007
14	0.0008	0.0010	0.0019	0.0046	0.0123	0.0265	0.0544	0.0861	0.1173	0.1497	0.1788	0.2063	0.2161	0.1936	0.1528	0.0754	0.0348	0.0188	0.0086	0.0075	0.0043	0.0020	0.0007	0.0004
15	0.0004	0.0005	0.0011	0.0025	0.0068	0.0145	0.0297	0.0469	0.0638	0.0814	0.0972	0.1120	0.1174	0.1052	0.0830	0.0410	0.0189	0.0102	0.0047	0.0041	0.0024	0.0011	0.0004	0.0002
16	0.0002	0.0003	0.0006	0.0014	0.0037	0.0079	0.0162	0.0256	0.0348	0.0443	0.0528	0.0609	0.0638	0.0572	0.0451	0.0223	0.0103	0.0056	0.0026	0.0023	0.0013	0.0006	0.0002	0.0001

Daily Doses (J/m2) vs DEPTH:

z	CIE	PLANT	DNA	ALG	to315	to320
0+	2.10E+0003	1.79E+0003	4.36E+0002	6.40E+0003	1.96E+0004	4.51E+0004
0	1.50E+0003	1.28E+0003	3.12E+0002	4.59E+0003	1.40E+0004	3.23E+0004
1	7.99E+0002	6.20E+0002	1.52E+0002	2.39E+0003	7.17E+0003	1.72E+0004
2	4.29E+0002	3.01E+0002	7.51E+0001	1.25E+0003	3.67E+0003	9.20E+0003
3	2.33E+0002	1.47E+0002	3.73E+0001	6.55E+0002	1.88E+0003	4.92E+0003
4	1.27E+0002	7.15E+0001	1.86E+0001	3.44E+0002	9.65E+0002	2.64E+0003
5	7.10E+0001	3.49E+0001	9.41E+0000	1.82E+0002	4.96E+0002	1.42E+0003
6	3.99E+0001	1.71E+0001	4.80E+0000	9.59E+0001	2.55E+0002	7.62E+0002
7	2.26E+0001	8.36E+0000	2.47E+0000	5.08E+0001	1.31E+0002	4.10E+0002
8	1.30E+0001	4.11E+0000	1.29E+0000	2.70E+0001	6.77E+0001	2.21E+0002
9	7.54E+0000	2.02E+0000	6.77E+0001	1.43E+0001	3.49E+0001	1.19E+0002
10	4.42E+0000	9.93E+0001	3.61E+0001	7.66E+0000	1.80E+0001	6.47E+0001
11	2.62E+0000	4.90E+0001	1.95E+0001	4.10E+0000	9.33E+0000	3.50E+0001
12	1.56E+0000	2.42E+0001	1.06E+0001	2.19E+0000	4.83E+0000	1.90E+0001
13	9.40E+0001	1.19E+0001	5.90E+0002	1.18E+0000	2.50E+0000	1.03E+0001
14	5.71E+0001	5.92E+0002	3.31E+0002	6.32E+0001	1.30E+0000	5.60E+0000
15	3.49E+0001	2.93E+0002	1.88E+0002	3.40E+0001	6.72E+0001	3.04E+0000
16	2.14E+0001	1.45E+0002	1.08E+0002	1.83E+0001	3.49E+0001	1.66E+0000

ACTION SPECTRUM : total to 320 irradiances in mW/m2

sza	88.56	87.96	86.11	83.14	79.22	74.58	69.46	64.16	58.98	54.29	50.47	47.93	47.00	47.81	50.24	53.97	58.62	63.76	69.06	74.18	78.85	82.82	85.85	87.76
utc	03:30	04:30	05:30	06:30	07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	19:30	20:30	21:30	22:30	23:30	00:30	01:30	02:30
lst	00:30	01:30	02:30	03:30	04:30	05:30	06:30	07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	19:30	20:30	21:30	22:30	23:30
0+	1.2527	1.6136	2.0707	6.3425	21.0674	76.6264	146.6801	207.3124	453.2469	770.5639	1079.3194	1013.8136	1025.3382	897.4168	853.1903	762.2471	632.6933	417.3368	255.1732	120.2187	48.9145	20.7093	8.7280	4.0980
0	0.8976	1.1562	1.4836	4.5443	15.0937	54.8952	105.0747	148.4998	324.6478	551.9098	773.0298	726.0999	734.3492	642.7352	611.0706	545.9515	453.1786	298.9409	182.7932	86.1243	35.0444	14.8378	6.2536	2.9363
1	0.4910	0.6325	0.8111	2.4798	8.2104	29.7402	56.6847	79.7932	173.8424	294.7186	411.9630	386.4759	390.6980	342.0843	325.6142	291.4866	242.6127	160.5849	98.5802	46.6433	19.0569	8.0951	3.4182	1.6061
2	0.2688	0.3462	0.4437	1.3541	4.4697	16.1280	30.6164	42.9365	93.2423	157.6674	219.9765	206.1310	208.2994	182.4444	173.8501	155.9133	130.1004	86.3877	53.2289	25.2863	10.3713	4.4194	1.8696	0.8791
3	0.1472	0.1896	0.2428	0.7399	2.4352	8.7543	16.5554	23.1355	50.0898	84.4947	117.6806	110.1564	111.2739	97.4935	92.9951	83.5422	69.8760	46.5368	28.7746	13.7213	5.6488	2.4143	1.0232	0.4814
4	0.0807	0.1039	0.1330	0.4046	1.3277	4.7561	8.9619	12.4822	26.9482	45.3557	63.0667	58.9761	59.5539	52.1942	49.8328	44.8381	37.5862	25.1021	15.5723	7.4525	3.0789	1.3198	0.5603	0.2638
5	0.0442	0.0570	0.0729	0.2213	0.7244	2.5862	4.8564	6.7429	14.5186	24.3844	33.8549	31.6300	31.9296	27.9915	26.7485	24.1030	20.2464	13.5571	8.4364	4.0512	1.6794	0.7219	0.3070	0.1446
6	0.0243	0.0312	0.0399	0.1212	0.3955	1.4074	2.6343	3.6468	7.8325	13.1291	18.2025	16.9917	17.1476	15.0365	14.3805	12.9760	10.9208	7.3307	4.5751	2.2041	0.9166	0.3951	0.1683	0.0793
7	0.0133	0.0171	0.0219	0.0664	0.2161	0.7665	1.4303	1.9745	4.2309	7.0789	9.8015	9.1422	9.2236	8.0900	7.7429	6.9956	5.8982	3.9684	2.4835	1.2001	0.5007	0.2163	0.0923	0.0435
8	0.0073	0.0094	0.0120	0.0364	0.1181	0.4178	0.7773	1.0702	2.2882	3.8219	5.2853	4.9262	4.9687	4.3590	4.1749	3.7765	3.1895	2.1506	1.3494	0.6540	0.2736	0.1185	0.0506	0.0239
9	0.0040	0.0052	0.0066	0.0199	0.0646	0.2279	0.4228	0.5807	1.2390	2.0660	2.8539	2.6581	2.6804	2.3520	2.2542	2.0413	1.7267	1.1666	0.7338	0.3566	0.1496	0.0650	0.0278	0.0131
10	0.0022	0.0028	0.0036	0.0109	0.0354	0.1244	0.2302	0.3154	0.6716	1.1182	1.5429	1.4362	1.4479	1.2708	1.2186	1.1047	0.9358	0.6335	0.3994	0.1946	0.0819	0.0356	0.0153	0.0072
11	0.0012	0.0016	0.0020	0.0060	0.0194	0.0679	0.1254	0.1714	0.3644	0.6059	0.8352	0.7770	0.7831	0.6874	0.6596	0.5985	0.5077	0.3443	0.2176	0.1063	0.0448	0.0196	0.0084	0.0040
12	0.0007	0.0009	0.0011	0.0033	0.0106	0.0371	0.0684	0.0933	0.1979	0.3287	0.4526	0.4208	0.4241	0.3723	0.3575	0.3246	0.2758	0.1873	0.1186	0.0581	0.0246	0.0107	0.0046	0.0022
13	0.0004	0.0005	0.0006	0.0018	0.0058	0.0203	0.0373	0.0508	0.1076	0.1785	0.2456	0.2282	0.2299	0.2019	0.1939	0.1763	0.1499	0.1020	0.0647	0.0318	0.0135	0.0059	0.0025	0.0012
14	0.0002	0.0003	0.0003	0.0010	0.0032	0.0111	0.0204	0.0277	0.0586	0.0970	0.1334	0.1239	0.1248	0.1096	0.1053	0.0958	0.0816	0.0556	0.0353	0.0174	0.0074	0.0032	0.0014	0.0007
15	0.0001	0.0001	0.0002	0.0005	0.0017	0.0061	0.0111	0.0151	0.0319	0.0528	0.0725	0.0673	0.0678	0.0595	0.0572	0.0521	0.0444	0.0303	0.0193	0.0095	0.0040	0.0018	0.0008	0.0004
16	0.0001	0.0001	0.0001	0.0003	0.0010	0.0033	0.0061	0.0082	0.0174	0.0287	0.0394	0.0366	0.0369	0.0324	0.0311	0.0284	0.0242	0.0165	0.0106	0.0052	0.0022	0.0010	0.0004	0.0002

Daily Doses (J/m2) vs DEPTH:

z	CIE	PLANT	DNA	ALG	to315	to320
0+	1.44E+0003	1.13E+0003	2.74E+0002	4.40E+0003	1.33E+0004	3.18E+0004
0	1.03E+0003	8.09E+0002	1.96E+0002	3.15E+0003	9.52E+0003	2.28E+0004
1	5.52E+0002	3.93E+0002	9.67E+0001	1.65E+0003	4.87E+0003	1.21E+0004
2	2.99E+0002	1.92E+0002	4.80E+0001	8.65E+0002	2.50E+0003	6.50E+0003
3	1.64E+0002	9.35E+0001	2.41E+0001	4.55E+0002	1.28E+0003	3.49E+0003
4	9.05E+0001	4.57E+0001	1.21E+0001	2.40E+0002	6.59E+0002	1.87E+0003
5	5.06E+0001	2.24E+0001	6.19E+0000	1.26E+0002	3.39E+0002	1.00E+0003
6	2.86E+0001	1.09E+0001	3.19E+0000	6.72E+0001	1.75E+0002	5.42E+0002
7	1.63E+0001	5.39E+0000	1.66E+0000	3.57E+0001	9.01E+0001	2.92E+0002
8	9.43E+0000	2.65E+0000	8.71E+0001	1.90E+0001	4.65E+0001	1.58E+0002
9	5.50E+0000	1.31E+0000	4.63E+0001	1.01E+0001	2.40E+0001	8.54E+0001
10	3.24E+0000	6.45E+0001	2.49E+0001	5.41E+0000	1.24E+0001	4.62E+0001
11	1.93E+0000	3.19E+0001	1.36E+0001	2.90E+0000	6.43E+0000	2.51E+0001
12	1.15E+0000	1.58E+0001	7.49E+0002	1.55E+0000	3.33E+0000	1.35E+0001
13	6.97E+0001	7.81E+0002	4.18E+0002	8.35E+0001	1.73E+0000	7.38E+0000
14	4.24E+0001	3.87E+0002	2.37E+0002	4.49E+0001	8.96E+0001	4.01E+0000
15	2.60E+0001	1.92E+0002	1.35E+0002	2.42E+0001	4.65E+0001	2.18E+0000
16	1.60E+0001	9.56E+0003	7.86E+0003	1.30E+0001	2.42E+0001	1.19E+0000

ACTION SPECTRUM : DNA irradiances in mW/m2. Table with columns: sza, utc, l st, 0+, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 and 25 data columns. Values range from 88.44 to 0.0000.

ACTION SPECTRUM : KISELALGER irradiances in mW/m2. Table with columns: sza, utc, l st, 0+, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 and 25 data columns. Values range from 88.44 to 0.0000.

ACTION SPECTRUM : total to 315 irradiances in mW/m2. Table with columns: sza, utc, l st, 0+, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 and 25 data columns. Values range from 88.44 to 0.0000.

ACTION SPECTRUM : total to 320 irradiances in mW/m2

sza	88.44	87.84	85.99	83.03	79.11	74.47	69.36	64.06	58.88	54.18	50.36	47.82	46.88	47.68	50.11	53.85	58.49	63.64	68.93	74.06	78.73	82.69	85.72	87.64
utc	03:30	04:30	05:30	06:30	07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	19:30	20:30	21:30	22:30	23:30	00:30	01:30	02:30
lst	00:30	01:30	02:30	03:30	04:30	05:30	06:30	07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	19:30	20:30	21:30	22:30	23:30
0+	3.6584	4.0368	7.9028	20.1953	52.2263	118.8677	208.0676	442.5363	805.6502	955.8706	1259.1341	1440.2145	1455.8482	1380.0108	1313.8108	1130.8481	923.5589	731.9479	400.4418	202.3545	86.8307	34.3904	1381.2463	7.0448
0	2.6213	2.8924	5.6623	14.4695	37.4169	85.1559	149.0480	316.9887	577.0566	684.6249	901.8044	1031.4767	1042.6668	988.3581	940.9625	809.9471	661.5077	524.2918	286.8526	144.9644	62.2085	24.6398	989.6575	5.0476
1	1.4335	1.5815	3.0939	7.8914	20.3398	46.1002	80.3430	170.1843	308.7326	365.2603	480.1502	548.5088	554.2171	525.5469	500.9369	432.0417	353.8281	281.3964	154.5724	78.4498	33.8050	13.4348	540.6813	2.7598
2	0.7844	0.8653	1.6916	4.3069	11.0659	24.9823	43.3621	91.5036	165.4574	195.2425	256.1691	292.3022	295.2246	280.0495	267.2283	230.8991	189.5817	151.2568	83.3976	42.4984	18.3856	7.3304	295.5824	1.5099
3	0.4295	0.4737	0.9255	2.3521	6.0252	13.5515	23.4309	49.2684	88.8161	104.5502	136.9345	156.0823	157.5837	149.5317	142.8309	123.6240	101.7441	81.4200	45.0505	23.0453	10.0075	4.0024	161.6900	0.8265
4	0.2353	0.2595	0.5066	1.2854	3.2831	7.3577	12.6753	26.5633	47.7490	56.0806	73.3315	83.5026	84.2766	79.9941	76.4815	66.3019	54.6883	43.8871	24.3638	12.5085	5.4514	2.1868	88.4998	0.4527
5	0.1290	0.1422	0.2775	0.7029	1.7902	3.9984	6.8644	14.3401	25.7081	30.1301	39.3384	44.7534	45.1536	42.8710	41.0244	35.6166	29.4387	23.6867	13.1907	6.7955	2.9718	1.1955	48.4669	0.2481
6	0.0707	0.0780	0.1521	0.3846	0.9769	2.1747	3.7213	7.7509	13.8605	16.2125	21.1374	24.0264	24.2340	23.0149	22.0414	19.1622	15.8690	12.7999	7.1490	3.6950	1.6212	0.6540	26.5571	0.1360
7	0.0388	0.0428	0.0834	0.2105	0.5334	1.1838	2.0194	4.1942	7.4827	8.7363	11.3751	12.9196	13.0276	12.3752	11.8607	10.3246	8.5656	6.9250	3.8785	2.0108	0.8850	0.3579	14.5592	0.0746
8	0.0213	0.0235	0.0457	0.1153	0.2915	0.6449	1.0969	2.2721	4.0446	4.7141	6.1305	6.9577	7.0141	6.6643	6.3917	5.5705	4.6293	3.7508	2.1062	1.0952	0.4834	0.1960	7.9856	0.0410
9	0.0117	0.0129	0.0251	0.0632	0.1593	0.3516	0.5963	1.2322	2.1889	2.5471	3.3086	3.7524	3.7819	3.5940	3.4493	3.0095	2.5049	2.0337	1.1448	0.5969	0.2642	0.1074	4.3821	0.0225
10	0.0064	0.0071	0.0138	0.0347	0.0872	0.1918	0.3245	0.6689	1.1859	1.3779	1.7879	2.0265	2.0420	1.9409	1.8639	1.6279	1.3570	1.1038	0.6228	0.3256	0.1445	0.0589	2.4058	0.0124
11	0.0035	0.0039	0.0076	0.0190	0.0477	0.1047	0.1767	0.3635	0.6432	0.7463	0.9674	1.0958	1.1039	1.0495	1.0084	0.8816	0.7359	0.5997	0.3391	0.1777	0.0791	0.0323	1.3214	0.0068
12	0.0019	0.0021	0.0042	0.0104	0.0261	0.0572	0.0963	0.1977	0.3492	0.4046	0.5240	0.5933	0.5976	0.5682	0.5462	0.4780	0.3995	0.3261	0.1848	0.0971	0.0433	0.0177	0.7260	0.0037
13	0.0011	0.0012	0.0023	0.0057	0.0143	0.0313	0.0525	0.1076	0.1898	0.2196	0.2842	0.3216	0.3238	0.3080	0.2962	0.2594	0.2171	0.1775	0.1008	0.0531	0.0237	0.0097	0.3991	0.0021
14	0.0006	0.0006	0.0013	0.0031	0.0079	0.0171	0.0287	0.0586	0.1032	0.1193	0.1543	0.1745	0.1757	0.1671	0.1608	0.1409	0.1181	0.0967	0.0550	0.0290	0.0130	0.0053	0.2195	0.0011
15	0.0003	0.0004	0.0007	0.0017	0.0043	0.0094	0.0157	0.0320	0.0562	0.0649	0.0838	0.0948	0.0954	0.0908	0.0874	0.0766	0.0643	0.0527	0.0300	0.0159	0.0071	0.0029	0.1207	0.0006
16	0.0002	0.0002	0.0004	0.0010	0.0024	0.0051	0.0086	0.0174	0.0306	0.0353	0.0456	0.0515	0.0519	0.0494	0.0475	0.0417	0.0350	0.0288	0.0164	0.0087	0.0039	0.0016	0.0664	0.0003

Daily Doses (J/m2) vs DEPTH:

z	CIE	PLANT	DNA	ALG	to315	to320
0+	2.50E+0003	1.75E+0003	4.41E+0002	7.06E+0003	2.06E+0004	5.17E+0004
0	1.79E+0003	1.25E+0003	3.16E+0002	5.05E+0003	1.47E+0004	3.70E+0004
1	9.75E+0002	6.08E+0002	1.56E+0002	2.65E+0003	7.56E+0003	1.98E+0004
2	5.37E+0002	2.96E+0002	7.81E+0001	1.39E+0003	3.88E+0003	1.06E+0004
3	2.99E+0002	1.44E+0002	3.94E+0001	7.33E+0002	1.99E+0003	5.70E+0003
4	1.68E+0002	7.05E+0001	2.01E+0001	3.87E+0002	1.02E+0003	3.07E+0003
5	9.59E+0001	3.45E+0001	1.03E+0001	2.05E+0002	5.27E+0002	1.65E+0003
6	5.52E+0001	1.69E+0001	5.38E+0000	1.08E+0002	2.71E+0002	8.91E+0002
7	3.21E+0001	8.30E+0000	2.84E+0000	5.79E+0001	1.40E+0002	4.81E+0002
8	1.89E+0001	4.08E+0000	1.51E+0000	3.09E+0001	7.23E+0001	2.60E+0002
9	1.12E+0001	2.01E+0000	8.19E+0000	1.65E+0001	3.73E+0001	1.41E+0002
10	6.71E+0000	9.91E+0000	4.49E+0000	8.83E+0000	1.93E+0001	7.64E+0001
11	4.05E+0000	4.90E+0000	2.49E+0000	4.73E+0000	1.00E+0001	4.15E+0001
12	2.47E+0000	2.42E+0000	1.40E+0000	2.54E+0000	5.18E+0000	2.25E+0001
13	1.51E+0000	1.19E+0000	8.00E+0000	1.37E+0000	2.69E+0000	1.22E+0001
14	9.31E+0000	5.94E+0000	4.62E+0000	7.37E+0000	1.39E+0000	6.67E+0000
15	5.77E+0000	2.95E+0000	2.70E+0000	3.98E+0000	7.24E+0000	3.63E+0000
16	3.59E+0000	1.46E+0000	1.60E+0000	2.15E+0000	3.76E+0000	1.98E+0000

ACTION SPECTRUM : total to 320 irradiances in mW/m2

sza	88.32	87.72	85.88	82.92	79.01	74.38	69.27	63.96	58.78	54.08	50.25	47.70	46.76	47.56	49.99	53.72	58.37	63.52	68.81	73.94	78.61	82.57	85.60	87.52
utc	03:30	04:30	05:30	06:30	07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	19:30	20:30	21:30	22:30	23:30	00:30	01:30	02:30
lst	00:30	01:30	02:30	03:30	04:30	05:30	06:30	07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	19:30	20:30	21:30	22:30	23:30
0+	5.8027	7.2357	13.7050	20.5016	62.8168	125.7881	214.3748	411.0340	588.2082	768.9941	953.4040	1203.3120	1215.9576	1108.3251	1143.2224	1005.2886	823.0022	592.8503	352.9189	156.4143	57.8341	19.7172	703.3103	3.5590
0	4.1577	5.1844	9.8195	14.6889	45.0041	90.1131	153.5652	294.4217	421.3084	550.7742	682.8327	861.8020	870.8529	793.7724	818.7800	720.0126	589.4789	424.6537	252.8083	112.0526	41.4341	14.1268	503.9168	2.5500
1	2.2732	2.8341	5.3641	8.0085	24.4553	48.7645	82.7434	158.0000	225.3048	293.7146	363.3945	458.0668	462.6739	421.8794	435.6857	383.8889	315.1552	227.8154	136.1674	60.6136	22.5072	7.7000	275.2313	1.3939
2	1.2436	1.5503	2.9321	4.3695	13.3003	26.4162	44.6400	84.9178	120.6961	156.9327	193.7946	243.9998	246.3535	224.7098	232.3181	205.0752	168.7877	122.4037	73.4369	32.8230	12.2365	4.2000	150.4258	0.7624
3	0.6808	0.8485	1.6038	2.3856	7.2393	14.3241	24.1124	45.7050	64.7635	84.0027	103.5513	130.2378	131.4445	119.9347	124.1215	109.7534	90.5479	65.8624	39.6543	17.7920	6.6581	2.2925	82.2656	0.4173
4	0.3729	0.4647	0.8777	1.3033	3.9434	7.7746	13.0395	24.6333	34.8053	45.0425	55.4336	69.6502	70.2710	64.1368	66.4382	58.8406	48.6520	35.4879	21.4376	9.6537	3.6257	1.2522	45.0167	0.2285
5	0.2044	0.2546	0.4806	0.7125	2.1497	4.2236	7.0592	13.2937	18.7328	24.1914	29.7270	37.3163	37.6368	34.3607	35.6248	31.5974	26.1802	19.1468	11.6024	5.2428	1.9759	0.6844	24.6477	0.1252
6	0.1120	0.1396	0.2633	0.3897	1.1727	2.2965	3.8257	7.1830	10.0966	13.0129	15.9679	20.0273	20.1932	18.4402	19.1342	16.9943	14.1079	10.3432	6.2862	2.8498	1.0775	0.3743	13.5025	0.0686
7	0.0615	0.0766	0.1444	0.2133	0.6402	1.2497	2.0754	3.8858	5.4491	7.0101	8.5906	10.7660	10.8522	9.9124	10.2932	9.1537	7.6127	5.5942	3.4093	1.5504	0.5881	0.2048	7.4008	0.0376
8	0.0337	0.0420	0.0792	0.1168	0.3497	0.6806	1.1270	2.1045	2.9446	3.7816	4.6285	5.7963	5.8412	5.3366	5.5454	4.9374	4.1131	3.0291	1.8509	0.8442	0.3211	0.1121	4.0585	0.0207
9	0.0185	0.0231	0.0434	0.0640	0.1911	0.3710	0.6125	1.1410	1.5931	2.0427	2.4973	3.1252	3.1487	2.8772	2.9918	2.6667	2.2250	1.6419	1.0057	0.4600	0.1755	0.0614	2.2267	0.0113
10	0.0102	0.0127	0.0238	0.0351	0.1045	0.2023	0.3332	0.6192	0.8629	1.1048	1.3492	1.6874	1.6997	1.5534	1.4421	1.2050	0.8909	0.5470	0.2508	0.0960	0.0337	1.2222	0.0062	0.0062
11	0.0056	0.0070	0.0131	0.0192	0.0572	0.1104	0.1814	0.3364	0.4679	0.5982	0.7299	0.9122	0.9187	0.8398	0.8743	0.7808	0.6533	0.4839	0.2978	0.1369	0.0525	0.0185	0.6712	0.0034
12	0.0031	0.0038	0.0072	0.0106	0.0313	0.0603	0.0989	0.1829	0.2540	0.3243	0.3953	0.4938	0.4972	0.4546	0.4735	0.4232	0.3546	0.2631	0.1622	0.0747	0.0287	0.0101	0.3687	0.0019
13	0.0017	0.0021	0.0040	0.0058	0.0172	0.0330	0.0539	0.0995	0.1380	0.1760	0.2143	0.2676	0.2694	0.2463	0.2567	0.2297	0.1927	0.1432	0.0884	0.0408	0.0157	0.0056	0.2026	0.0010
14	0.0009	0.0012	0.0022	0.0032	0.0094	0.0180	0.0294	0.0542	0.0751	0.0956	0.1163	0.1452	0.1461	0.1336	0.1393	0.1248	0.1048	0.0780	0.0483	0.0223	0.0086	0.0031	0.1114	0.0006
15	0.0005	0.0006	0.0012	0.0017	0.0052	0.0099	0.0161	0.0296	0.0409	0.0520	0.0632	0.0788	0.0794	0.0726	0.0757	0.0678	0.0570	0.0425	0.0263	0.0122	0.0047	0.0017	0.0613	0.0003
16	0.0003	0.0004	0.0007	0.0010	0.0028	0.0054	0.0088	0.0161	0.0223	0.0283	0.0344	0.0429	0.0431	0.0395	0.0412	0.0369	0.0311	0.0232	0.0144	0.0067	0.0026	0.0009	0.0337	0.0002

Daily Doses (J/m2) vs DEPTH:

z	CIE	PLANT	DNA	ALG	to315	to320
0+	1.98E+0003	1.48E+0003	3.69E+0002	5.75E+0003	1.71E+0004	4.16E+0004
0	1.42E+0003	1.06E+0003	2.64E+0002	4.12E+0003	1.22E+0004	2.98E+0004
1	7.65E+0002	5.15E+0002	1.30E+0002	2.15E+0003	6.25E+0003	1.59E+0004
2	4.17E+0002	2.50E+0002	6.47E+0001	1.13E+0003	3.20E+0003	8.53E+0003
3	2.30E+0002	1.22E+0002	3.24E+0001	5.94E+0002	1.64E+0003	4.57E+0003
4	1.29E+0002	5.96E+0001	1.64E+0001	3.13E+0002	8.45E+0002	2.46E+0003
5	7.27E+0001	2.91E+0001	8.40E+0000	1.66E+0002	4.35E+0002	1.32E+0003
6	4.15E+0001	1.42E+0001	4.34E+0000	8.79E+0001	2.24E+0002	7.12E+0002
7	2.40E+0001	7.00E+0000	2.27E+0000	4.67E+0001	1.15E+0002	3.84E+0002
8	1.40E+0001	3.44E+0000	1.20E+0000	2.49E+0001	5.96E+0001	2.08E+0002
9	8.25E+0000	1.69E+0000	6.44E+0001	1.32E+0001	3.08E+0001	1.12E+0002
10	4.91E+0000	8.35E+0001	3.49E+0001	7.09E+0000	1.59E+0001	6.09E+0001
11	2.95E+0000	4.12E+0001	1.92E+0001	3.80E+0000	8.23E+0000	3.30E+0001
12	1.78E+0000	2.04E+0001	1.07E+0001	2.04E+0000	4.26E+0000	1.79E+0001
13	1.09E+0000	1.00E+0001	6.06E+0002	1.10E+0000	2.21E+0000	9.74E+0000
14	6.66E+0001	4.99E+0002	3.47E+0002	5.90E+0001	1.15E+0001	5.30E+0000
15	4.11E+0001	2.48E+0002	2.01E+0002	3.18E+0001	5.95E+0001	2.88E+0000
16	2.55E+0001	1.23E+0002	1.17E+0002	1.72E+0001	3.09E+0001	1.57E+0000

ACTION SPECTRUM : total to 320 irradiances in mW/m2

sza	88.21	87.61	85.78	82.82	78.92	74.29	69.18	63.88	58.69	53.99	50.16	47.60	46.65	47.45	49.87	53.61	58.25	63.40	68.70	73.82	78.49	82.46	85.49	87.41
utc	03:30	04:30	05:30	06:30	07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	19:30	20:30	21:30	22:30	23:30	00:30	01:30	02:30
lst	00:30	01:30	02:30	03:30	04:30	05:30	06:30	07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	19:30	20:30	21:30	22:30	23:30
0+	3.1096	3.8135	6.9860	17.1428	53.2164	121.5244	231.9997	434.5726	741.5440	894.3680	1247.7176	1454.3063	1622.1228	1339.6452	1157.1236	904.6365	672.0415	515.1660	252.6118	119.5123	59.9278	29.3752	11.0133	6.8028
0	2.2281	2.7324	5.0054	12.2823	38.1259	87.0582	166.1899	311.2811	531.1342	640.5679	893.6181	1041.5579	1161.7386	959.4379	828.7327	647.9204	481.3506	369.0076	180.9541	85.6162	42.9339	21.0464	7.8909	4.8742
1	1.2180	1.4935	2.7339	6.6951	20.7130	47.1001	89.5238	167.0058	283.9651	341.5123	475.4492	553.4671	617.0562	509.7935	440.8642	345.3589	257.2769	197.9093	97.4392	46.3010	23.3161	11.4691	4.3092	2.6640
2	0.6663	0.8169	1.4942	3.6522	11.2626	25.5089	48.2869	89.7371	152.0847	182.4279	253.4918	294.7461	328.4756	271.4700	235.0214	184.4463	137.7552	106.3085	52.5371	25.0663	12.6734	6.2546	2.3548	1.4570
3	0.3647	0.4470	0.8171	1.9936	6.1290	13.8292	26.0766	48.2883	81.5881	97.6282	135.4196	157.2892	175.2223	144.8593	125.5370	98.6902	73.8829	57.1884	28.3621	13.5842	6.8943	3.4133	1.2876	0.7973
4	0.1997	0.2448	0.4471	1.0890	3.3379	7.5044	14.0988	26.0202	43.8382	52.3378	72.4786	84.0997	93.6554	77.4493	67.1817	52.8981	39.6891	30.8074	15.3294	7.3690	3.7535	1.8640	0.7045	0.4366
5	0.1094	0.1341	0.2448	0.5952	1.8193	4.0761	7.6312	14.0395	23.5900	28.1042	38.8602	45.0493	50.1517	41.4847	36.0164	28.4006	21.3528	16.6181	8.2948	4.0011	2.0451	1.0186	0.3857	0.2392
6	0.0600	0.0735	0.1341	0.3255	0.9923	2.2159	4.1350	7.5846	12.7122	15.1149	20.8701	24.1733	26.9031	22.2595	19.3409	15.2721	11.5043	8.9754	4.4932	2.1745	1.1151	0.5569	0.2112	0.1311
7	0.0329	0.0403	0.0735	0.1781	0.5416	1.2056	2.2428	4.1024	6.8596	8.1411	11.2261	12.9926	14.4557	11.9634	10.4026	8.2246	6.2067	4.8535	2.4365	1.1828	0.6084	0.3047	0.1158	0.0719
8	0.0181	0.0221	0.0403	0.0975	0.2958	0.6565	1.2177	2.2214	3.7062	4.3911	6.0476	6.9940	7.7797	6.4398	5.6035	4.4356	3.3529	2.6276	1.3225	0.6439	0.3322	0.1668	0.0635	0.0395
9	0.0099	0.0121	0.0221	0.0534	0.1616	0.3578	0.6617	1.2042	2.0049	2.3716	3.2625	3.7705	4.1930	3.4715	3.0227	2.3953	1.8135	1.4241	0.7185	0.3508	0.1815	0.0914	0.0348	0.0217
10	0.0054	0.0067	0.0121	0.0293	0.0884	0.1951	0.3599	0.6534	1.0858	1.2825	1.7624	2.0355	2.2631	1.8740	1.6327	1.2952	0.9820	0.7726	0.3907	0.1913	0.0992	0.0501	0.0191	0.0119
11	0.0030	0.0037	0.0067	0.0161	0.0484	0.1065	0.1959	0.3549	0.5887	0.6944	0.9532	1.1003	1.2231	1.0130	0.8831	0.7012	0.5324	0.4196	0.2127	0.1044	0.0543	0.0274	0.0105	0.0065
12	0.0016	0.0020	0.0037	0.0088	0.0265	0.0582	0.1068	0.1930	0.3195	0.3764	0.5162	0.5955	0.6618	0.5482	0.4782	0.3800	0.2889	0.2281	0.1158	0.0570	0.0297	0.0151	0.0058	0.0036
13	0.0009	0.0011	0.0020	0.0048	0.0145	0.0318	0.0582	0.1050	0.1736	0.2042	0.2799	0.3227	0.3586	0.2971	0.2592	0.2062	0.1569	0.1241	0.0631	0.0311	0.0163	0.0083	0.0032	0.0020
14	0.0005	0.0006	0.0011	0.0027	0.0079	0.0174	0.0318	0.0572	0.0944	0.1109	0.1519	0.1751	0.1945	0.1612	0.1407	0.1120	0.0853	0.0676	0.0344	0.0170	0.0089	0.0045	0.0017	0.0011
15	0.0003	0.0003	0.0006	0.0015	0.0044	0.0095	0.0173	0.0312	0.0514	0.0603	0.0825	0.0951	0.1056	0.0875	0.0764	0.0609	0.0464	0.0368	0.0188	0.0093	0.0049	0.0025	0.0010	0.0006
16	0.0002	0.0002	0.0003	0.0008	0.0024	0.0052	0.0095	0.0170	0.0280	0.0328	0.0449	0.0517	0.0574	0.0476	0.0416	0.0331	0.0253	0.0201	0.0103	0.0051	0.0027	0.0014	0.0005	0.0003

Daily Doses (J/m2) vs DEPTH:

z	CIE	PLANT	DNA	ALG	to315	to320
0+	1.99E+0003	1.68E+0003	4.08E+0002	6.06E+0003	1.85E+0004	4.28E+0004
0	1.42E+0003	1.20E+0003	2.92E+0002	4.34E+0003	1.32E+0004	3.07E+0004
1	7.57E+0002	5.81E+0002	1.43E+0002	2.26E+0003	6.77E+0003	1.64E+0004
2	4.07E+0002	2.82E+0002	7.05E+0001	1.18E+0003	3.47E+0003	8.74E+0003
3	2.21E+0002	1.37E+0002	3.50E+0001	6.21E+0002	1.78E+0003	4.68E+0003
4	1.21E+0002	6.70E+0001	1.75E+0001	3.27E+0002	9.12E+0002	2.51E+0003
5	6.76E+0001	3.27E+0001	8.86E+0000	1.72E+0002	4.69E+0002	1.35E+0003
6	3.80E+0001	1.60E+0001	4.52E+0000	9.11E+0001	2.41E+0002	7.25E+0002
7	2.16E+0001	7.85E+0000	2.33E+0000	4.83E+0001	1.24E+0002	3.90E+0002
8	1.24E+0001	3.85E+0000	1.22E+0000	2.56E+0001	6.41E+0001	2.11E+0002
9	7.20E+0000	1.89E+0000	6.41E+0001	1.36E+0001	3.31E+0001	1.13E+0002
10	4.22E+0000	9.33E+0001	3.42E+0001	7.28E+0000	1.71E+0001	6.16E+0001
11	2.50E+0000	4.60E+0001	1.85E+0001	3.89E+0000	8.83E+0000	3.33E+0001
12	1.49E+0000	2.27E+0001	1.01E+0001	2.08E+0000	4.57E+0000	1.81E+0001
13	9.00E+0001	1.12E+0001	5.61E+0002	1.12E+0000	2.37E+0000	9.81E+0000
14	5.46E+0001	5.56E+0002	3.15E+0002	6.01E+0001	1.23E+0000	5.33E+0000
15	3.34E+0001	2.76E+0002	1.80E+0002	3.23E+0001	6.37E+0001	2.90E+0000
16	2.05E+0001	1.36E+0002	1.03E+0002	1.74E+0001	3.31E+0001	1.58E+0000

ACTION SPECTRUM : total to 320 irradiances in mW/m2

sza	88.10	87.51	85.68	82.73	78.83	74.20	69.10	63.80	58.61	53.90	50.06	47.50	46.55	47.34	49.76	53.50	58.14	63.29	68.59	73.71	78.38	82.35	85.38	87.31
utc	03:30	04:30	05:30	06:30	07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	19:30	20:30	21:30	22:30	23:30	00:30	01:30	02:30
lst	00:30	01:30	02:30	03:30	04:30	05:30	06:30	07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	19:30	20:30	21:30	22:30	23:30
0+	3.6457	3.2654	8.0913	37.3686	64.8194	165.3895	301.7140	509.8683	885.1398	891.8161	853.1946	799.3946	1248.2247	1072.9294	1378.2669	1395.9161	1059.9786	642.6426	385.8675	198.8742	84.1331	34.0853	13.0419	7.1077
0	2.6121	2.3397	5.7973	26.7734	46.4385	118.4819	216.1277	365.2127	633.9816	638.7365	611.0562	572.5141	893.9533	768.4146	987.1097	999.7795	759.2065	460.3149	276.4078	142.4688	60.2749	24.4208	9.3443	5.0926
1	1.4277	1.2786	3.1656	14.5902	25.2210	64.0790	116.3825	195.8675	338.8211	340.4025	324.9829	304.1024	474.6299	408.1279	524.9028	532.6930	405.6247	246.7823	148.7814	77.0184	32.7224	13.3041	5.1016	2.7829
2	0.7809	0.6992	1.7298	7.9568	13.7096	34.6931	62.7525	105.2085	181.3993	181.7689	173.2049	161.8879	252.5636	217.2503	279.7162	284.3889	217.1045	132.5120	80.1905	41.6815	17.7803	7.2533	2.7872	1.5217
3	0.4273	0.3826	0.9458	4.3423	7.4585	18.8024	33.8777	56.5951	97.2820	97.2426	92.4974	86.3606	134.6811	115.8867	149.3586	152.1124	116.4000	71.2598	43.2760	22.5811	9.6694	3.9572	1.5237	0.8326
4	0.2340	0.2095	0.5174	2.3714	4.0609	10.2002	18.3110	30.4870	52.2544	52.1147	49.4903	46.1608	71.9633	61.9391	79.9040	81.5060	62.5085	38.3752	23.3828	12.2456	5.2628	2.1605	0.8335	0.4558
5	0.1282	0.1147	0.2832	1.2958	2.2127	5.5388	9.9084	16.4448	28.1108	27.9763	26.5270	24.7194	38.5243	33.1670	42.8240	43.7467	33.6194	20.6940	12.6487	6.6471	2.8666	1.1803	0.4562	0.2497
6	0.0703	0.0629	0.1551	0.7085	1.2066	3.0103	5.3674	8.8817	15.1442	15.0420	14.2426	13.2607	20.6601	17.7915	22.9902	23.5177	18.1081	11.1737	6.8497	3.6114	1.5626	0.6452	0.2498	0.1368
7	0.0385	0.0345	0.0850	0.3877	0.6584	1.6375	2.9105	4.8027	8.1699	8.0998	7.6592	7.1255	11.0984	9.5596	12.3622	12.6619	9.7669	6.0406	3.7133	1.9638	0.8524	0.3529	0.1369	0.0750
8	0.0211	0.0189	0.0466	0.2122	0.3595	0.8914	1.5798	2.6000	4.4131	4.3678	4.1251	3.8348	5.9714	5.1446	6.6575	6.8269	5.2748	3.2694	2.0150	1.0688	0.4653	0.1931	0.0750	0.0412
9	0.0116	0.0104	0.0256	0.1162	0.1964	0.4857	0.8583	1.4091	2.3868	2.3585	2.2249	2.0669	3.2177	2.7727	3.5904	3.6859	2.8523	1.7715	1.0945	0.5822	0.2542	0.1058	0.0412	0.0226
10	0.0064	0.0057	0.0140	0.0637	0.1074	0.2648	0.4668	0.7645	1.2924	1.2751	1.2016	1.1156	1.7363	1.4965	1.9390	1.9926	1.5442	0.9609	0.5950	0.3173	0.1389	0.0579	0.0226	0.0124
11	0.0035	0.0031	0.0077	0.0349	0.0587	0.1445	0.2541	0.4152	0.7006	0.6902	0.6498	0.6029	0.9382	0.8088	1.0485	1.0785	0.8370	0.5217	0.3238	0.1731	0.0760	0.0318	0.0124	0.0068
12	0.0019	0.0017	0.0042	0.0192	0.0322	0.0789	0.1384	0.2257	0.3802	0.3741	0.3518	0.3263	0.5076	0.4376	0.5677	0.5844	0.4541	0.2836	0.1763	0.0945	0.0416	0.0174	0.0068	0.0037
13	0.0011	0.0009	0.0023	0.0105	0.0176	0.0431	0.0754	0.1228	0.2065	0.2029	0.1907	0.1768	0.2750	0.2371	0.3077	0.3170	0.2466	0.1542	0.0961	0.0516	0.0228	0.0096	0.0037	0.0021
14	0.0006	0.0005	0.0013	0.0058	0.0097	0.0236	0.0412	0.0669	0.1123	0.1102	0.1035	0.0959	0.1491	0.1286	0.1670	0.1722	0.1341	0.0840	0.0524	0.0282	0.0125	0.0052	0.0021	0.0011
15	0.0003	0.0003	0.0007	0.0032	0.0053	0.0129	0.0225	0.0364	0.0611	0.0599	0.0562	0.0521	0.0810	0.0698	0.0907	0.0936	0.0730	0.0458	0.0286	0.0154	0.0068	0.0029	0.0011	0.0006
16	0.0002	0.0002	0.0004	0.0017	0.0029	0.0071	0.0123	0.0199	0.0333	0.0326	0.0306	0.0283	0.0440	0.0380	0.0493	0.0509	0.0397	0.0250	0.0156	0.0084	0.0037	0.0016	0.0006	0.0003

Daily Doses (J/m2) vs DEPTH:

z	CIE	PLANT	DNA	ALG	to315	to320
0+	2.00E+0003	1.64E+0003	4.02E+0002	6.09E+0003	1.85E+0004	4.34E+0004
0	1.43E+0003	1.18E+0003	2.87E+0002	4.36E+0003	1.32E+0004	3.11E+0004
1	7.65E+0002	5.70E+0002	1.41E+0002	2.28E+0003	6.77E+0003	1.66E+0004
2	4.12E+0002	2.77E+0002	6.96E+0001	1.19E+0003	3.47E+0003	8.86E+0003
3	2.25E+0002	1.35E+0002	3.46E+0001	6.26E+0002	1.78E+0003	4.74E+0003
4	1.23E+0002	6.59E+0001	1.74E+0001	3.29E+0002	9.13E+0002	2.55E+0003
5	6.90E+0001	3.22E+0001	8.82E+0000	1.74E+0002	4.69E+0002	1.37E+0003
6	3.89E+0001	1.57E+0001	4.51E+0000	9.20E+0001	2.42E+0002	7.36E+0002
7	2.22E+0001	7.73E+0000	2.33E+0000	4.88E+0001	1.24E+0002	3.97E+0002
8	1.27E+0001	3.80E+0000	1.22E+0000	2.59E+0001	6.42E+0001	2.14E+0002
9	7.43E+0000	1.87E+0000	6.45E+0001	1.38E+0001	3.32E+0001	1.15E+0002
10	4.36E+0000	9.20E+0001	3.45E+0001	7.38E+0000	1.71E+0001	6.26E+0001
11	2.59E+0000	4.54E+0001	1.87E+0001	3.95E+0000	8.86E+0000	3.39E+0001
12	1.55E+0000	2.24E+0001	1.02E+0001	2.11E+0000	4.59E+0000	1.84E+0001
13	9.35E+0001	1.11E+0001	5.72E+0002	1.13E+0000	2.38E+0000	9.99E+0000
14	5.68E+0001	5.50E+0002	3.23E+0002	6.10E+0001	1.23E+0000	5.43E+0000
15	3.48E+0001	2.73E+0002	1.84E+0002	3.28E+0001	6.40E+0001	2.95E+0000
16	2.14E+0001	1.35E+0002	1.06E+0002	1.77E+0001	3.32E+0001	1.61E+0000

ACTION SPECTRUM : total to 320 irradiances in mW/m2

sza	88.00	87.41	85.59	82.64	78.75	74.12	69.02	63.72	58.54	53.82	49.98	47.41	46.45	47.24	49.66	53.39	58.04	63.19	68.48	73.61	78.28	82.25	85.28	87.21
utc	03:30	04:30	05:30	06:30	07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	19:30	20:30	21:30	22:30	23:30	00:30	01:30	02:30
lst	00:30	01:30	02:30	03:30	04:30	05:30	06:30	07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	19:30	20:30	21:30	22:30	23:30
0+	5.3188	5.2681	15.0128	37.9633	102.2510	223.6898	358.0996	565.4347	816.5290	904.6988	1139.1471	909.7090	738.5003	701.3158	631.8392	506.0105	562.2413	461.7060	180.9171	70.1328	43.0338	18.4200	7.2428	4.0972
0	3.8109	3.7745	10.7563	27.1991	73.2542	160.2441	256.5134	405.0058	584.8264	647.9489	815.8364	651.5047	528.8869	502.2595	452.5107	362.4055	402.6948	330.7057	129.5934	50.2405	30.8299	13.1971	5.1893	2.9356
1	2.0814	2.0612	5.8687	14.8082	39.7418	86.5613	137.9503	216.9097	312.1015	344.8002	433.2362	345.5296	280.3713	266.3547	240.2589	192.8038	214.8353	177.0475	69.6630	27.1264	16.7184	7.1826	2.8308	1.6030
2	1.1376	1.1263	3.2043	8.0684	21.5806	46.8121	74.2908	116.3610	166.8704	183.8641	230.5770	183.6812	148.9811	141.5817	127.8513	102.7891	114.8310	94.9423	37.5002	14.6633	9.0746	3.9122	1.5453	0.8759
3	0.6222	0.6159	1.7507	4.3994	11.7291	25.3433	40.0608	62.5189	89.3787	98.2380	122.9765	97.8584	79.3408	75.4241	68.1790	54.9083	61.4884	50.9936	20.2137	7.9351	4.9301	2.1325	0.8441	0.4789
4	0.3405	0.3370	0.9571	2.4006	6.3802	13.7347	21.6296	33.6401	47.9535	52.5858	65.7191	52.2432	42.3422	40.2637	36.4304	29.3862	32.9813	27.4298	10.9098	4.2987	2.6807	1.1633	0.4614	0.2620
5	0.1864	0.1845	0.5236	1.3108	3.4734	7.4508	11.6923	18.1265	25.7691	28.1981	35.1865	27.9454	22.6417	21.5361	19.5028	15.7549	17.7191	14.7757	5.8954	2.3311	1.4589	0.6350	0.2524	0.1434
6	0.1021	0.1011	0.2866	0.7162	1.8924	4.0458	6.3277	9.7802	13.8687	15.1458	18.8725	14.9757	12.1299	11.5404	10.4593	8.4609	9.5341	7.9701	3.1894	1.2653	0.7945	0.3468	0.1381	0.0786
7	0.0560	0.0554	0.1569	0.3915	1.0318	2.1988	3.4282	5.2837	7.4747	8.1479	10.1393	8.0394	6.5098	6.1949	5.6187	4.5510	5.1375	4.3046	1.7274	0.6875	0.4331	0.1896	0.0756	0.0431
8	0.0307	0.0304	0.0860	0.2142	0.5630	1.1961	1.8592	2.8579	4.0341	4.3898	5.4560	4.3228	3.4994	3.3309	3.0232	2.4516	2.7721	2.3278	0.9366	0.3738	0.2362	0.1037	0.0414	0.0236
9	0.0168	0.0167	0.0471	0.1172	0.3074	0.6512	1.0093	1.5476	2.1800	2.3684	2.9403	2.3280	1.8841	1.7937	1.6291	1.3225	1.4978	1.2602	0.5083	0.2035	0.1289	0.0567	0.0227	0.0129
10	0.0092	0.0091	0.0259	0.0642	0.1679	0.3548	0.5485	0.8390	1.1795	1.2795	1.5868	1.2556	1.0159	0.9674	0.8791	0.7144	0.8102	0.6830	0.2761	0.1108	0.0704	0.0311	0.0125	0.0071
11	0.0051	0.0050	0.0142	0.0352	0.0918	0.1935	0.2983	0.4553	0.6389	0.6921	0.8575	0.6781	0.5486	0.5224	0.4750	0.3864	0.4388	0.3706	0.1501	0.0604	0.0385	0.0170	0.0068	0.0039
12	0.0028	0.0028	0.0078	0.0193	0.0502	0.1056	0.1624	0.2473	0.3465	0.3748	0.4640	0.3667	0.2966	0.2825	0.2570	0.2092	0.2379	0.2013	0.0817	0.0330	0.0210	0.0093	0.0038	0.0021
13	0.0015	0.0015	0.0043	0.0106	0.0275	0.0576	0.0885	0.1345	0.1881	0.2032	0.2513	0.1985	0.1606	0.1530	0.1392	0.1134	0.1291	0.1094	0.0445	0.0180	0.0115	0.0051	0.0021	0.0012
14	0.0008	0.0008	0.0024	0.0058	0.0151	0.0315	0.0482	0.0732	0.1022	0.1103	0.1363	0.1076	0.0870	0.0829	0.0755	0.0616	0.0702	0.0595	0.0243	0.0098	0.0063	0.0028	0.0011	0.0006
15	0.0005	0.0005	0.0013	0.0032	0.0082	0.0172	0.0263	0.0399	0.0556	0.0599	0.0740	0.0584	0.0472	0.0450	0.0410	0.0334	0.0382	0.0324	0.0132	0.0054	0.0035	0.0015	0.0006	0.0004
16	0.0003	0.0003	0.0007	0.0018	0.0045	0.0094	0.0144	0.0217	0.0303	0.0326	0.0402	0.0317	0.0256	0.0244	0.0223	0.0182	0.0208	0.0177	0.0072	0.0029	0.0019	0.0008	0.0003	0.0002

Daily Doses (J/m2) vs DEPTH:

z	CIE	PLANT	DNA	ALG	to315	to320
0+	1.53E+0003	1.31E+0003	3.24E+0002	4.62E+0003	1.41E+0004	3.24E+0004
0	1.09E+0003	9.39E+0002	2.32E+0002	3.31E+0003	1.01E+0004	2.32E+0004
1	5.81E+0002	4.55E+0002	1.12E+0002	1.72E+0003	5.16E+0003	1.23E+0004
2	3.11E+0002	2.21E+0002	5.54E+0001	9.01E+0002	2.64E+0003	6.61E+0003
3	1.69E+0002	1.07E+0002	2.74E+0001	4.72E+0002	1.35E+0003	3.54E+0003
4	9.27E+0001	5.22E+0001	1.37E+0001	2.48E+0002	6.94E+0002	1.90E+0003
5	5.15E+0001	2.55E+0001	6.90E+0000	1.31E+0002	3.57E+0002	1.01E+0003
6	2.89E+0001	1.24E+0001	3.51E+0000	6.90E+0001	1.83E+0002	5.47E+0002
7	1.64E+0001	6.10E+0000	1.80E+0000	3.66E+0001	9.44E+0001	2.95E+0002
8	9.42E+0000	2.99E+0000	9.38E+0001	1.94E+0001	4.87E+0001	1.59E+0002
9	5.47E+0000	1.47E+0000	4.93E+0001	1.03E+0001	2.51E+0001	8.59E+0001
10	3.20E+0000	7.22E+0001	2.63E+0001	5.51E+0000	1.29E+0001	4.64E+0001
11	1.90E+0000	3.56E+0001	1.42E+0001	2.94E+0000	6.70E+0000	2.51E+0001
12	1.13E+0000	1.76E+0001	7.74E+0002	1.58E+0000	3.47E+0000	1.36E+0001
13	6.82E+0001	8.67E+0002	4.28E+0002	8.45E+0001	1.80E+0000	7.40E+0000
14	4.14E+0001	4.29E+0002	2.40E+0002	4.54E+0001	9.31E+0001	4.02E+0000
15	2.53E+0001	2.13E+0002	1.36E+0002	2.44E+0001	4.83E+0001	2.18E+0000
16	1.56E+0001	1.05E+0002	7.87E+0003	1.32E+0001	2.50E+0001	1.19E+0000

Date = 08-06-2001

Latitude = 69.25
Longitude = 53.50
Altitude = 0.00
Ozone = 386
Albedo = 0.30
Aerosol Tau = 0.10

Comparison of modelled and measured clear irradiances (mW/m2):

Table with columns for parameters (Sol ar Zenith Angle, Time(UTC), Time(LST), Measured_ASIAQ, Clear_sky_model, Adapted_model, # Direct Hits (within 5%), # iterated) and 33 data points representing different times and models.

Below are weighted irradiances at depths 0-16 m. Units are mW/m2

First 3 lines are column labels: sza(top)/utc(mi dde)/l st(bottom), first column is depth in m
0+ in first column indicates values in AIR others in WATER

For the calculations the following was used:

Fresnel transmittance[k]: = 0.56134 + 0.00103 * lambda[k] - 2.25453E-6 * sqrt(lambda[k]) + 1.73058E-9 * lambda[k] * sqrt(lambda[k])
Kd: = 0.31801 + 26607.08556 * exp(-lambda[k]/27.76165) fit from UVB profiling data.
Edn[k]: = Gdn[k] * exp(-Kd * row) downwelling irradiance at depth=row.

ACTION SPECTRUM : CIE irradiances in mW/m2

Table showing CIE irradiance data for wavelengths from 0.300 to 0.700 micrometers. Columns include wavelength, 0+ (air), and 33 numbered rows representing different depths and models.

ACTION SPECTRUM : PLANT irradiances in mW/m2

Table showing PLANT irradiance data for wavelengths from 0.300 to 0.700 micrometers. Columns include wavelength, 0+ (air), and 33 numbered rows representing different depths and models.

ACTION SPECTRUM : total to 320 irradiances in mW/m2

sza	87.91	87.33	85.51	82.57	78.68	74.05	68.95	63.65	58.47	53.75	49.90	47.33	46.37	47.15	49.56	53.30	57.94	63.09	68.38	73.51	78.18	82.15	85.19	87.12
utc	03:30	04:30	05:30	06:30	07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	19:30	20:30	21:30	22:30	23:30	00:30	01:30	02:30
lst	00:30	01:30	02:30	03:30	04:30	05:30	06:30	07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	19:30	20:30	21:30	22:30	23:30
0+	4.3771	4.5300	8.3009	21.8306	37.3227	88.3567	113.3720	200.1890	377.5547	638.4044	588.2854	1019.9295	1050.9683	834.6588	1206.9767	660.8968	648.1044	618.2462	297.7436	165.6187	80.2299	30.4561	14.2888	7.4916
0	3.1362	3.2458	5.9476	15.6412	26.7395	63.2983	81.2138	143.3965	270.4304	457.2497	421.3398	730.4770	752.7022	597.7848	864.4547	473.3578	464.2142	442.8503	213.2868	118.6476	57.4796	21.8210	10.2379	5.3678
1	1.7155	1.7752	3.2504	8.5317	14.5384	34.2774	43.7949	77.0238	144.7638	244.0982	224.4768	388.6964	400.3465	318.0625	460.4780	252.6347	248.4171	237.7782	114.9647	64.2203	31.2386	11.8988	5.5941	2.9355
2	0.9390	0.9715	1.7775	4.6570	7.9111	18.5805	23.6455	41.4324	77.6225	130.5508	119.8328	207.2612	213.3862	169.5845	245.7794	135.0851	133.1610	127.8578	62.0448	34.7961	16.9915	6.4929	3.0587	1.6064
3	0.5142	0.5320	0.9726	2.5437	4.3082	10.0815	12.7814	22.3180	41.6872	69.9449	64.0911	110.7336	113.9629	90.5976	131.4333	72.3587	71.4939	68.8481	33.5246	18.8718	9.2495	3.5454	1.6734	0.8796
4	0.2818	0.2914	0.5325	1.3902	2.3479	5.4750	6.9166	12.0377	22.4218	37.5366	34.3396	59.2719	60.9790	48.4905	70.4116	38.8242	38.4434	37.1225	18.1349	10.2448	5.0389	1.9372	0.9160	0.4819
5	0.1545	0.1598	0.2917	0.7603	1.2805	2.9760	3.7469	6.5009	12.0770	20.1761	18.4300	31.7820	32.6867	25.9993	37.7850	20.8643	20.7015	20.0417	9.8206	5.5666	2.7471	1.0591	0.5017	0.2641
6	0.0847	0.0876	0.1599	0.4160	0.6988	1.6190	2.0318	3.5150	6.5138	10.8610	9.9071	17.0701	17.5507	13.9634	20.3092	11.2295	11.1629	10.8333	5.3237	3.0272	1.4987	0.5794	0.2749	0.1448
7	0.0465	0.0481	0.0877	0.2278	0.3816	0.8815	1.1029	1.9027	3.5178	5.8549	5.3337	9.1827	9.4386	7.5111	10.9327	6.0526	6.0273	5.8626	2.8888	1.6476	0.8182	0.3171	0.1507	0.0795
8	0.0255	0.0264	0.0481	0.1248	0.2086	0.4803	0.5992	1.0311	1.9022	3.1605	2.8756	4.9472	5.0837	4.0464	5.8937	3.2667	3.2584	3.1761	1.5690	0.8975	0.4470	0.1737	0.0827	0.0436
9	0.0140	0.0145	0.0264	0.0684	0.1140	0.2619	0.3258	0.5593	1.0297	1.7082	1.5525	2.6690	2.7420	2.1829	3.1816	1.7654	1.7636	1.7225	0.8530	0.4892	0.2443	0.0952	0.0454	0.0240
10	0.0077	0.0080	0.0145	0.0375	0.0624	0.1429	0.1773	0.3037	0.5581	0.9244	0.8392	1.4419	1.4810	1.1792	1.7197	0.9552	0.9556	0.9351	0.4641	0.2669	0.1336	0.0522	0.0249	0.0132
11	0.0042	0.0044	0.0080	0.0206	0.0342	0.0780	0.0966	0.1651	0.3028	0.5008	0.4542	0.7799	0.8009	0.6378	0.9307	0.5174	0.5184	0.5081	0.2527	0.1457	0.0731	0.0286	0.0137	0.0072
12	0.0023	0.0024	0.0044	0.0113	0.0187	0.0426	0.0527	0.0898	0.1644	0.2716	0.2461	0.4224	0.4337	0.3454	0.5043	0.2806	0.2815	0.2764	0.1377	0.0796	0.0400	0.0157	0.0075	0.0040
13	0.0013	0.0013	0.0024	0.0062	0.0103	0.0233	0.0287	0.0489	0.0894	0.1475	0.1335	0.2290	0.2351	0.1873	0.2735	0.1523	0.1530	0.1504	0.0751	0.0435	0.0219	0.0086	0.0041	0.0022
14	0.0007	0.0007	0.0013	0.0034	0.0056	0.0128	0.0157	0.0266	0.0486	0.0801	0.0725	0.1243	0.1276	0.1016	0.1485	0.0828	0.0832	0.0820	0.0410	0.0238	0.0120	0.0047	0.0023	0.0012
15	0.0004	0.0004	0.0007	0.0019	0.0031	0.0070	0.0086	0.0145	0.0265	0.0436	0.0394	0.0675	0.0693	0.0552	0.0807	0.0450	0.0453	0.0447	0.0224	0.0130	0.0066	0.0026	0.0013	0.0007
16	0.0002	0.0002	0.0004	0.0010	0.0017	0.0038	0.0047	0.0079	0.0144	0.0237	0.0214	0.0367	0.0377	0.0300	0.0439	0.0245	0.0247	0.0244	0.0122	0.0071	0.0036	0.0014	0.0007	0.0004

Daily Doses (J/m2) vs DEPTH:

z	CIE	PLANT	DNA	ALG	to315	to320
0+	1.43E+0003	1.11E+0003	2.71E+0002	4.35E+0003	1.30E+0004	3.14E+0004
0	1.02E+0003	7.97E+0002	1.94E+0002	3.11E+0003	9.36E+0003	2.25E+0004
1	5.49E+0002	3.87E+0002	9.57E+0001	1.63E+0003	4.79E+0003	1.20E+0004
2	2.97E+0002	1.89E+0002	4.76E+0001	8.54E+0002	2.46E+0003	6.43E+0003
3	1.63E+0002	9.21E+0001	2.38E+0001	4.49E+0002	1.26E+0003	3.45E+0003
4	9.02E+0001	4.50E+0001	1.20E+0001	2.37E+0002	6.49E+0002	1.85E+0003
5	5.05E+0001	2.20E+0001	6.13E+0000	1.25E+0002	3.34E+0002	9.95E+0002
6	2.86E+0001	1.08E+0001	3.16E+0000	6.63E+0001	1.72E+0002	5.36E+0002
7	1.64E+0001	5.31E+0000	1.64E+0000	3.52E+0001	8.87E+0001	2.89E+0002
8	9.46E+0000	2.61E+0000	8.65E+0001	1.88E+0001	4.58E+0001	1.56E+0002
9	5.53E+0000	1.29E+0000	4.60E+0001	1.00E+0001	2.36E+0001	8.44E+0001
10	3.26E+0000	6.34E+0001	2.48E+0001	5.35E+0000	1.22E+0001	4.57E+0001
11	1.94E+0000	3.13E+0001	1.35E+0001	2.86E+0000	6.33E+0000	2.48E+0001
12	1.16E+0000	1.55E+0001	7.47E+0002	1.54E+0000	3.28E+0000	1.34E+0001
13	7.04E+0001	7.67E+0002	4.18E+0002	8.25E+0001	1.70E+0000	7.30E+0000
14	4.29E+0001	3.81E+0002	2.37E+0002	4.44E+0001	8.82E+0001	3.97E+0000
15	2.63E+0001	1.89E+0002	1.35E+0002	2.39E+0001	4.58E+0001	2.16E+0000
16	1.62E+0001	9.39E+0003	7.89E+0003	1.29E+0001	2.38E+0001	1.18E+0000

ACTION SPECTRUM : total to 320 irradiances in mW/m2

sza	87.82	87.24	85.43	82.49	78.61	73.99	68.89	63.59	58.41	53.69	49.83	47.25	46.28	47.06	49.47	53.20	57.84	62.99	68.29	73.42	78.09	82.06	85.10	87.03
utc	03:30	04:30	05:30	06:30	07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	19:30	20:30	21:30	22:30	23:30	00:30	01:30	02:30
lst	00:30	01:30	02:30	03:30	04:30	05:30	06:30	07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	19:30	20:30	21:30	22:30	23:30
0+	5.7458	7.7039	14.4318	34.9407	89.7947	206.7077	407.5175	688.6916	1021.2130	1358.9982	1650.5255	1849.8565	1868.2394	1809.5394	1628.3421	1436.3711	1028.4853	703.0643	423.0532	218.8768	96.8626	39.3422	15.4825	8.4121
0	4.1169	5.5199	10.3403	25.0341	64.3322	148.0834	291.9224	493.3095	731.4563	973.3585	1182.1240	1324.8624	1338.0193	1295.9857	1166.2329	1028.7714	736.6613	503.6014	303.0491	156.8000	69.3953	28.1875	11.0931	6.0273
1	2.2514	3.0181	5.6494	13.6503	34.9633	80.1537	157.3437	264.8394	391.3461	519.3325	629.4463	704.5762	711.2570	689.1579	620.8746	548.7531	393.9945	270.2516	163.2636	84.8299	37.6978	15.3645	6.0595	3.2953
2	1.2320	1.6513	3.0885	7.4484	19.0177	43.4296	84.9128	142.3932	209.7357	277.6121	335.8434	375.4974	378.9019	367.2501	331.2154	293.2671	211.0869	145.2460	88.0683	45.9418	20.4962	8.3810	3.3121	1.8028
3	0.6745	0.9040	1.6895	4.0670	10.3527	23.5545	45.8791	76.6670	112.5862	148.6649	179.5351	200.5195	202.2604	196.1004	177.0341	157.0125	113.2774	78.1742	47.5640	24.9059	11.1528	4.5748	1.8115	0.9869
4	0.3695	0.4951	0.9247	2.2221	5.6400	12.7870	24.8171	41.3344	60.5291	79.7471	96.1505	107.2826	108.1758	104.9108	94.7976	84.2070	60.8836	42.1324	25.7183	13.5150	6.0735	2.4988	0.9914	0.5405
5	0.2026	0.2714	0.5064	1.2149	3.0749	6.9479	13.4388	22.3136	32.5894	42.8469	51.5823	57.5015	57.9612	56.2266	50.8498	45.2341	32.7716	22.7370	13.9216	7.3405	3.3099	1.3657	0.5428	0.2962
6	0.1111	0.1488	0.2775	0.6646	1.6776	3.7785	7.2849	12.0603	17.5707	23.0560	27.7176	30.8720	31.1093	30.1856	27.3207	24.3361	17.6646	12.2854	7.5439	3.9905	1.8052	0.7469	0.2974	0.1624
7	0.0609	0.0816	0.1521	0.3638	0.9159	2.0565	3.9529	6.5261	9.4858	12.4245	14.9170	16.6014	16.7243	16.2314	14.7017	13.1120	9.5343	6.6460	4.0921	2.1711	0.9852	0.4087	0.1630	0.0891
8	0.0335	0.0448	0.0834	0.1992	0.5003	1.1202	2.1469	3.5353	5.1275	6.7045	8.0397	8.9409	9.0048	8.7412	7.9228	7.0744	5.1526	3.5993	2.2218	1.1822	0.5380	0.2238	0.0894	0.0489
9	0.0184	0.0246	0.0458	0.1092	0.2735	0.6107	1.1671	1.9172	2.7749	3.6226	4.3391	4.8222	4.8554	4.7142	4.2756	3.8219	2.7879	1.9514	1.2075	0.6442	0.2940	0.1226	0.0491	0.0268
10	0.0101	0.0135	0.0251	0.0598	0.1496	0.3331	0.6350	1.0407	1.5034	1.9598	2.3449	2.6043	2.6217	2.5459	2.3104	2.0673	1.5102	1.0590	0.6568	0.3513	0.1608	0.0672	0.0269	0.0147
11	0.0055	0.0074	0.0138	0.0328	0.0819	0.1819	0.3458	0.5655	0.8154	1.0615	1.2688	1.4083	1.4174	1.3767	1.2500	1.1195	0.8190	0.5753	0.3576	0.1917	0.0880	0.0368	0.0148	0.0081
12	0.0031	0.0041	0.0076	0.0180	0.0448	0.0993	0.1885	0.3075	0.4427	0.5756	0.6873	0.7625	0.7673	0.7453	0.6771	0.6070	0.4446	0.3128	0.1948	0.1047	0.0482	0.0202	0.0081	0.0045
13	0.0017	0.0022	0.0042	0.0099	0.0246	0.0543	0.1028	0.1674	0.2406	0.3124	0.3728	0.4133	0.4158	0.4040	0.3672	0.3294	0.2416	0.1702	0.1062	0.0572	0.0264	0.0111	0.0045	0.0024
14	0.0009	0.0012	0.0023	0.0054	0.0135	0.0297	0.0561	0.0912	0.1309	0.1697	0.2024	0.2243	0.2256	0.2192	0.1993	0.1790	0.1314	0.0927	0.0580	0.0313	0.0145	0.0061	0.0025	0.0013
15	0.0005	0.0007	0.0013	0.0030	0.0074	0.0163	0.0306	0.0497	0.0713	0.0923	0.1100	0.1218	0.1225	0.1191	0.1083	0.0973	0.0715	0.0506	0.0317	0.0171	0.0079	0.0033	0.0014	0.0007
16	0.0003	0.0004	0.0007	0.0016	0.0041	0.0089	0.0167	0.0271	0.0388	0.0503	0.0598	0.0662	0.0666	0.0647	0.0589	0.0530	0.0390	0.0276	0.0173	0.0094	0.0043	0.0018	0.0007	0.0004

Daily Doses (J/m2) vs DEPTH:

z	CIE	PLANT	DNA	ALG	to315	to320
0+	2.74E+0003	2.20E+0003	5.35E+0002	8.35E+0003	2.53E+0004	5.98E+0004
0	1.96E+0003	1.57E+0003	3.83E+0002	5.98E+0003	1.81E+0004	4.28E+0004
1	1.05E+0003	7.65E+0002	1.88E+0002	3.12E+0003	9.26E+0003	2.29E+0004
2	5.66E+0002	3.72E+0002	9.33E+0001	1.64E+0003	4.74E+0003	1.22E+0004
3	3.09E+0002	1.81E+0002	4.66E+0001	8.60E+0002	2.43E+0003	6.55E+0003
4	1.71E+0002	8.86E+0001	2.35E+0001	4.53E+0002	1.25E+0003	3.52E+0003
5	9.52E+0001	4.33E+0001	1.19E+0001	2.39E+0002	6.43E+0002	1.89E+0003
6	5.38E+0001	2.12E+0001	6.12E+0000	1.26E+0002	3.31E+0002	1.01E+0003
7	3.07E+0001	1.04E+0001	3.17E+0000	6.72E+0001	1.71E+0002	5.49E+0002
8	1.77E+0001	5.12E+0000	1.66E+0000	3.58E+0001	8.81E+0001	2.96E+0002
9	1.03E+0001	2.52E+0000	8.81E+0001	1.91E+0001	4.55E+0001	1.60E+0002
10	6.06E+0000	1.24E+0000	4.73E+0001	1.01E+0001	2.35E+0001	8.67E+0001
11	3.60E+0000	6.14E+0001	2.57E+0001	5.45E+0000	1.21E+0001	4.70E+0001
12	2.16E+0000	3.03E+0001	1.41E+0001	2.92E+0000	6.30E+0000	2.55E+0001
13	1.30E+0000	1.50E+0001	7.89E+0002	1.57E+0000	3.27E+0000	1.38E+0001
14	7.92E+0001	7.44E+0002	4.46E+0002	8.43E+0001	1.69E+0000	7.52E+0000
15	4.85E+0001	3.69E+0002	2.55E+0002	4.54E+0001	8.79E+0001	4.09E+0000
16	2.99E+0001	1.84E+0002	1.47E+0002	2.45E+0001	4.57E+0001	2.23E+0000

ACTION SPECTRUM : total to 320 irradiances in mW/m2

sza	87.74	87.17	85.36	82.43	78.55	73.93	68.84	63.54	58.35	53.63	49.77	47.18	46.21	46.98	49.39	53.12	57.76	62.91	68.20	73.33	78.01	81.98	85.02	86.96
utc	03:30	04:30	05:30	06:30	07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	19:30	20:30	21:30	22:30	23:30	00:30	01:30	02:30
lst	00:30	01:30	02:30	03:30	04:30	05:30	06:30	07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	19:30	20:30	21:30	22:30	23:30
0+	6.7808	8.7442	16.0533	38.5596	97.7765	222.2116	433.7373	727.7594	1073.7592	1424.1061	1725.9097	1932.1615	1950.4224	1890.2749	1703.5374	1419.6088	1082.8085	715.3172	425.2379	217.9581	99.6854	39.4346	16.5862	8.8258
0	4.8584	6.2652	11.5020	27.6266	70.0496	159.1877	310.6995	521.2847	769.0792	1019.9719	1236.0915	1383.7826	1396.8514	1353.7822	1220.0651	1016.7466	775.5564	512.3690	304.6088	156.1394	71.4166	28.2533	11.8838	6.3236
1	2.6553	3.4236	6.2798	15.0522	38.0364	86.0782	167.2833	279.5368	410.9811	543.5282	657.3484	734.9655	741.5714	718.9631	648.7027	541.6567	414.2891	274.6327	163.9210	84.3852	38.7596	15.3879	6.4869	3.4552
2	1.4522	1.8720	3.4309	8.2072	20.6717	46.5956	90.1850	150.1337	220.0122	290.2114	350.3188	391.2277	394.5791	382.6758	345.6506	289.1364	221.7066	147.4379	88.3302	45.6562	21.0548	8.3872	3.5434	1.8891
3	0.7947	1.0242	1.8756	4.4781	11.2439	25.2490	48.6810	80.7532	117.9793	155.2456	187.0696	208.6899	210.3962	204.1115	184.5467	154.6329	118.8497	79.2720	47.6584	24.7282	11.4472	4.5748	1.9368	1.0335
4	0.4351	0.5607	1.0260	2.4451	6.1208	13.6953	26.3090	43.4963	63.3668	83.1942	100.0844	111.5402	112.4120	109.0849	98.7198	82.8471	63.8151	42.6828	25.7454	13.4068	6.2288	2.4970	1.0593	0.5658
5	0.2384	0.3071	0.5616	1.3359	3.3345	7.4355	14.2345	23.4599	34.0862	44.6576	53.6424	59.7271	60.1740	58.4083	52.9036	44.4619	34.3177	23.0132	13.9240	7.2757	3.3920	1.3638	0.5797	0.3099
6	0.1307	0.1683	0.3075	0.7303	1.8180	4.0406	7.7100	12.6693	18.3621	24.0097	28.7996	32.0388	32.2686	31.3294	28.3992	23.8998	18.4820	12.4240	7.5390	3.9521	1.8485	0.7454	0.3174	0.1698
7	0.0717	0.0923	0.1685	0.3995	0.9918	2.1976	4.1804	6.8503	9.9052	12.9280	15.4867	17.2149	17.3334	16.8327	15.2696	12.8665	9.9674	6.7156	4.0862	2.1487	1.0082	0.4076	0.1739	0.0931
8	0.0393	0.0506	0.0924	0.2187	0.5415	1.1962	2.2689	3.7082	5.3502	6.9710	8.3405	9.2643	9.3257	9.0582	8.2226	6.9366	5.3826	3.6343	2.2170	1.1692	0.5502	0.2230	0.0953	0.0511
9	0.0216	0.0278	0.0507	0.1197	0.2958	0.6517	1.2326	2.0096	2.8934	3.7639	4.4983	4.9931	5.0249	4.8817	4.4343	3.7448	2.9103	1.9690	1.2040	0.6367	0.3005	0.1221	0.0523	0.0280
10	0.0119	0.0153	0.0278	0.0656	0.1617	0.3553	0.6702	1.0902	1.5666	2.0349	2.4294	2.6949	2.7114	2.6346	2.3945	2.0243	1.5755	1.0679	0.6545	0.3470	0.1642	0.0669	0.0287	0.0154
11	0.0065	0.0084	0.0153	0.0360	0.0885	0.1938	0.3648	0.5920	0.8492	1.1015	1.3137	1.4564	1.4650	1.4238	1.2948	1.0956	0.8538	0.5797	0.3561	0.1893	0.0898	0.0367	0.0157	0.0085
12	0.0036	0.0046	0.0084	0.0197	0.0484	0.1058	0.1987	0.3218	0.4608	0.5969	0.7113	0.7881	0.7926	0.7704	0.7009	0.5936	0.4632	0.3151	0.1939	0.1033	0.0491	0.0201	0.0086	0.0046
13	0.0020	0.0025	0.0046	0.0108	0.0265	0.0578	0.1083	0.1751	0.2503	0.3238	0.3855	0.4270	0.4293	0.4174	0.3799	0.3220	0.2516	0.1714	0.1057	0.0564	0.0269	0.0110	0.0047	0.0026
14	0.0011	0.0014	0.0025	0.0059	0.0145	0.0316	0.0591	0.0953	0.1361	0.1759	0.2092	0.2316	0.2328	0.2264	0.2061	0.1749	0.1368	0.0933	0.0576	0.0308	0.0147	0.0061	0.0026	0.0014
15	0.0006	0.0008	0.0014	0.0033	0.0080	0.0173	0.0323	0.0519	0.0741	0.0956	0.1136	0.1257	0.1264	0.1229	0.1120	0.0950	0.0744	0.0508	0.0315	0.0169	0.0081	0.0033	0.0014	0.0008
16	0.0003	0.0004	0.0008	0.0018	0.0044	0.0095	0.0176	0.0283	0.0403	0.0520	0.0618	0.0683	0.0687	0.0668	0.0609	0.0517	0.0405	0.0277	0.0172	0.0092	0.0044	0.0018	0.0008	0.0004

Daily Doses (J/m2) vs DEPTH:

z	CIE	PLANT	DNA	ALG	to315	to320
0+	2.90E+0003	2.45E+0003	5.99E+0002	8.82E+0003	2.69E+0004	6.22E+0004
0	2.07E+0003	1.75E+0003	4.28E+0002	6.31E+0003	1.93E+0004	4.45E+0004
1	1.10E+0003	8.50E+0002	2.09E+0002	3.29E+0003	9.84E+0003	2.38E+0004
2	5.93E+0002	4.13E+0002	1.03E+0002	1.72E+0003	5.04E+0003	1.26E+0004
3	3.22E+0002	2.01E+0002	5.12E+0001	9.02E+0002	2.58E+0003	6.79E+0003
4	1.77E+0002	9.79E+0001	2.56E+0001	4.74E+0002	1.33E+0003	3.64E+0003
5	9.83E+0001	4.78E+0001	1.29E+0001	2.50E+0002	6.81E+0002	1.96E+0003
6	5.52E+0001	2.34E+0001	6.60E+0000	1.32E+0002	3.50E+0002	1.05E+0003
7	3.14E+0001	1.14E+0001	3.40E+0000	7.01E+0001	1.80E+0002	5.67E+0002
8	1.80E+0001	5.62E+0000	1.77E+0000	3.72E+0001	9.30E+0001	3.06E+0002
9	1.04E+0001	2.76E+0000	9.34E+0001	1.98E+0001	4.80E+0001	1.65E+0002
10	6.14E+0000	1.36E+0000	4.98E+0001	1.05E+0001	2.48E+0001	8.93E+0001
11	3.64E+0000	6.71E+0001	2.69E+0001	5.65E+0000	1.28E+0001	4.84E+0001
12	2.17E+0000	3.31E+0001	1.47E+0001	3.03E+0000	6.64E+0000	2.62E+0001
13	1.31E+0000	1.64E+0001	8.17E+0002	1.62E+0000	3.44E+0000	1.42E+0001
14	7.94E+0001	8.11E+0002	4.59E+0002	8.72E+0001	1.78E+0000	7.73E+0000
15	4.86E+0001	4.02E+0002	2.61E+0002	4.69E+0001	9.24E+0001	4.20E+0000
16	2.99E+0001	1.99E+0002	1.50E+0002	2.53E+0001	4.80E+0001	2.29E+0000

0+	7.0614	9.1112	17.0609	39.9307	104.2469	234.5750	419.7642	728.7965	1050.2544	1209.5884	1784.2607	1169.2463	1355.3000	1214.0956	1139.7210	1137.3116	1125.5876	776.9681	473.9568	249.8209	108.7751	43.4752	18.0191	9.2016
0	5.0595	6.5281	12.2238	28.6087	74.6844	168.0426	300.6863	522.0205	752.2334	866.3179	1277.8639	837.3829	970.6230	869.5015	816.2506	814.5489	806.1853	556.5207	339.5029	178.9627	77.9278	31.1479	12.9103	6.5929
1	2.7639	3.5655	6.6703	15.5777	40.5248	90.7962	161.7572	279.6842	401.6086	461.2096	678.9031	444.3199	514.7817	461.3155	433.5700	433.5188	430.2435	298.0264	182.5405	96.6420	42.2625	16.9536	7.0434	3.6006
2	1.5109	1.9487	3.6424	8.4887	22.0094	49.1137	87.1375	150.0889	214.8104	246.0411	361.4809	236.2998	273.6572	245.3156	230.8106	231.2046	230.0421	159.8606	98.2835	52.2479	22.9417	9.2349	3.8453	1.9677
3	0.8264	1.0657	1.9903	4.6292	11.9640	26.5951	47.0014	80.6667	115.0979	131.5095	192.8696	125.9419	145.7954	130.7358	123.1287	123.5474	123.2172	85.8828	52.9881	28.2780	12.4648	5.0342	2.1007	1.0760
4	0.4523	0.5832	1.0882	2.5262	6.5089	14.4161	25.3836	43.4183	61.7731	70.4208	103.1080	67.2609	77.8358	69.8156	65.8141	66.1414	66.1097	46.2078	28.6040	15.3209	6.7782	2.7463	1.1484	0.5888
5	0.2477	0.3193	0.5954	1.3795	3.5439	7.8220	13.7249	23.4020	33.2059	37.7743	55.2236	35.9907	41.6354	37.3549	35.2441	35.4709	35.5264	24.8964	15.4596	8.3092	3.6890	1.4992	0.6282	0.3223
6	0.1357	0.1749	0.3259	0.7538	1.9311	4.2481	7.4294	12.6300	17.8763	20.2956	29.6288	19.2933	22.3123	20.0232	18.9067	19.0541	19.1203	13.4319	8.3651	4.5107	2.0093	0.8189	0.3438	0.1766
7	0.0744	0.0959	0.1785	0.4122	1.0530	2.3092	4.0259	6.8250	9.6373	10.9215	15.9229	10.3602	11.9779	10.7514	10.1594	10.2514	10.3053	7.2560	4.5313	2.4510	1.0952	0.4476	0.1883	0.0968
8	0.0408	0.0526	0.0978	0.2255	0.5746	1.2563	2.1839	3.6925	5.2025	5.8857	8.5705	5.5722	6.4406	5.7823	5.4677	5.5236	5.5618	3.9245	2.4571	1.3329	0.5974	0.2448	0.1032	0.0531
9	0.0224	0.0289	0.0536	0.1234	0.3138	0.6841	1.1858	2.0000	2.8121	3.1763	4.6199	3.0016	3.4685	3.1146	2.9470	2.9804	3.0056	2.1250	1.3337	0.7255	0.3261	0.1340	0.0565	0.0291
10	0.0123	0.0158	0.0294	0.0676	0.1714	0.3728	0.6445	1.0844	1.5218	1.7164	2.4938	1.6192	1.8707	1.6801	1.5906	1.6102	1.6262	1.1519	0.7246	0.3952	0.1781	0.0734	0.0310	0.0160
11	0.0068	0.0087	0.0161	0.0370	0.0937	0.2033	0.3506	0.5886	0.8245	0.9286	1.3479	0.8747	1.0103	0.9075	0.8597	0.8711	0.8809	0.6251	0.3941	0.2155	0.0974	0.0402	0.0170	0.0088
12	0.0037	0.0048	0.0089	0.0203	0.0513	0.1109	0.1909	0.3198	0.4472	0.5030	0.7295	0.4731	0.5464	0.4909	0.4652	0.4718	0.4777	0.3395	0.2145	0.1175	0.0532	0.0220	0.0093	0.0048
13	0.0020	0.0026	0.0049	0.0111	0.0281	0.0606	0.1040	0.1739	0.2428	0.2728	0.3953	0.2562	0.2958	0.2658	0.2520	0.2558	0.2593	0.1846	0.1168	0.0642	0.0291	0.0121	0.0051	0.0026
14	0.0011	0.0014	0.0027	0.0061	0.0154	0.0331	0.0567	0.0947	0.1320	0.1481	0.2144	0.1389	0.1604	0.1441	0.1367	0.1389	0.1409	0.1005	0.0637	0.0351	0.0160	0.0066	0.0028	0.0015
15	0.0006	0.0008	0.0015	0.0034	0.0084	0.0181	0.0310	0.0516	0.0718	0.0805	0.1164	0.0754	0.0870	0.0782	0.0742	0.0755	0.0767	0.0547	0.0348	0.0192	0.0087	0.0036	0.0015	0.0008
16	0.0003	0.0004	0.0008	0.0018	0.0046	0.0099	0.0169	0.0281	0.0391	0.0438	0.0633	0.0410	0.0473	0.0425	0.0403	0.0410	0.0417	0.0298	0.0190	0.0105	0.0048	0.0020	0.0009	0.0004

Daily Doses (J/m2) vs DEPTH:

z	CIE	PLANT	DNA	ALG	to315	to320
0+	2.43E+0003	2.07E+0003	5.08E+0002	7.38E+0003	2.25E+0004	5.19E+0004
0	1.74E+0003	1.48E+0003	3.64E+0002	5.28E+0003	1.61E+0004	3.72E+0004
1	9.25E+0002	7.17E+0002	1.78E+0002	2.75E+0003	8.23E+0003	1.98E+0004
2	4.97E+0002	3.48E+0002	8.73E+0001	1.44E+0003	4.21E+0003	1.05E+0004
3	2.70E+0002	1.69E+0002	4.33E+0001	7.54E+0002	2.16E+0003	5.67E+0003
4	1.48E+0002	8.24E+0001	2.16E+0001	3.96E+0002	1.11E+0003	3.04E+0003
5	8.24E+0001	4.02E+0001	1.09E+0001	2.09E+0002	5.69E+0002	1.63E+0003
6	4.63E+0001	1.97E+0001	5.56E+0000	1.10E+0002	2.93E+0002	8.78E+0002
7	2.63E+0001	9.64E+0000	2.86E+0000	5.85E+0001	1.51E+0002	4.73E+0002
8	1.51E+0001	4.73E+0000	1.49E+0000	3.11E+0001	7.77E+0001	2.55E+0002
9	8.78E+0000	2.32E+0000	7.85E+0001	1.65E+0001	4.01E+0001	1.38E+0002
10	5.15E+0000	1.14E+0000	4.18E+0001	8.82E+0000	2.07E+0001	7.45E+0001
11	3.05E+0000	5.63E+0001	2.26E+0001	4.72E+0000	1.07E+0001	4.03E+0001
12	1.82E+0000	2.78E+0001	1.23E+0001	2.53E+0000	5.54E+0000	2.19E+0001
13	1.10E+0000	1.37E+0001	6.85E+0002	1.35E+0000	2.87E+0000	1.18E+0001
14	6.66E+0001	6.80E+0002	3.85E+0002	7.28E+0001	1.49E+0000	6.45E+0000
15	4.07E+0001	3.37E+0002	2.19E+0002	3.91E+0001	7.71E+0001	3.51E+0000
16	2.51E+0001	1.67E+0002	1.26E+0002	2.11E+0001	4.00E+0001	1.91E+0000

APPENDIX E.

Kalibrering af UV-instrumenter.

I perioden 31. april – 3. maj 2001 blev der foretaget en interkalibrering af DMI's og ASIAQ's UV-instrumenter i Kangerlussuaq. Ved samme lejlighed blev der foretaget målinger af instrumenternes vinkelrespons, og der blev foretaget en kalibrering af PUV500 undervandsinstrumentet. Kangerlussuaq blev valgt dels fordi DMI har et UV- og ozon-instrumentet placeret her, dels fordi der var de nødvendige faciliteter til rådighed såsom kalibreringsfaciliteter, måleudstyr og mørklægningsmuligheder, og dels fordi vejret normalt er bedre i Kangerlussuaq end i Nuuk.

DMI's UV-instrument i Kangerlussuaq er et spektroradiometer, der måler den spektrale globale irradians i bølgelængdeområdet 290-325 nm, mens ASIAQ's UV-instrumenter er bredbåndsinstrumenter af Roberson-Berger typen, der måler en vægtet irradians, der med god tilnærmelse svarer til den CIE-vægtede irradians.

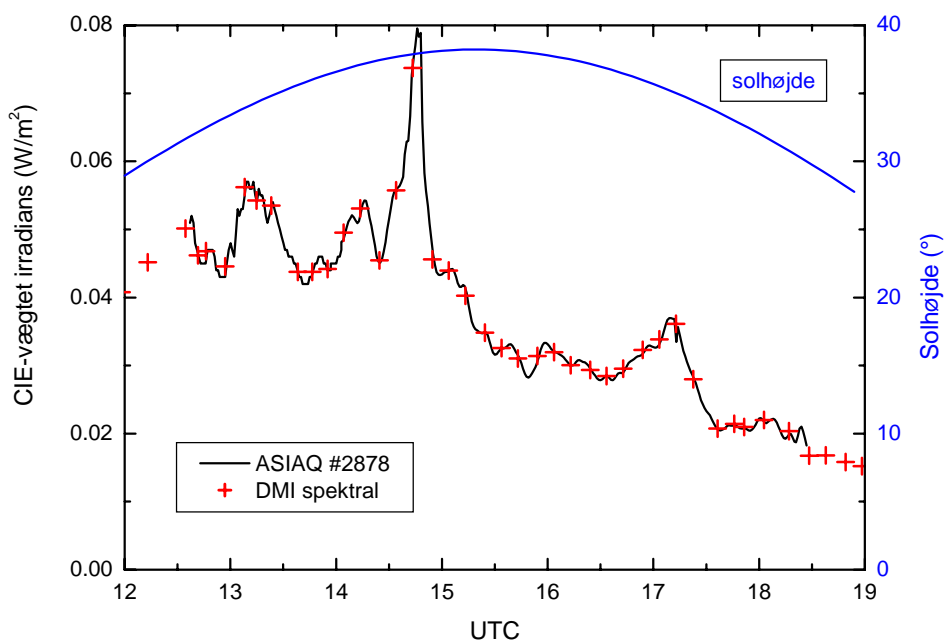
Det er vanskeligt at sammenligne målinger fra forskellige typer UV-instrumenter [6-8]. Det skyldes bl.a., at instrumenterne ikke har samme tidsopløsning, at de ikke har samme spektrale respons og at de ikke har samme vinkelrespons. Desuden er det problematisk at sammenligne målinger fra spektral-instrumenter med målinger fra bredbåndsinstrumenter fordi sidstnævnte ikke har en spektralrespons der præcist svarer til CIE vægtspektret; målinger fra bredbåndsinstrumenter skal derfor normalt korrigeres [6-7]. Derfor kræves ofte omfattende arbejde før data fra forskellige typer instrumenter kan sammenlignes tilfredsstillende. Af samme grund skal man ikke stille sine forventninger for højt ved den første sammeligning, idet det ofte ses, at målinger fra forskellig typer instrumenter kan afvige betydeligt fra hinanden. Det er ikke uhørt, at der kan være afvigelser på op mod 50%, med mindre instrumenterne på forhånd er velkalibrerede. Det er imidlertid altid ønskeligt, at forskellige instrument-typer ikke afviger mere en ca. 5% fra hinanden, når alle korrektioner er foretaget. Dette skal ses i lyset af at velkalibrerede spektroradiometre, der kan betragtes som referenceinstrumenter [8,9], i bedste fald kan fremvise en nøjagtighed på ca. 5%.

DMI's instrument, et såkaldt Brewer ozon spektrofotometer, der ved UV-målinger anvendes som spektroradiometer, er kalibreret vha. en 1000 W kvarts-halogen lampe, med sporbar kalibrering til Statens Provnings- og Forsknings-Institut i Borås, Sverige. Instrumentet bliver lejlighedsvis absolut-kalibreret vha. denne lampe, men bliver oftere (min. hver måned) relativ-kalibreret vha. en mindre 50 W kvarts-halogen lampe. Brewer-instrumentet har imidlertid en mindre ulempe idet det kun skanner UV-spektret til 325 nm, hvorefter det resterende (325-400 nm) bidrag til den CIE-vægtede irradians estimeres ved en parametrisering baseret på modelberegninger. Det medfører en ekstra usikkerhed ved målingen, der dog skønnes at være mindre end 1%. Generelt er usikkerheden ved de spektrale målinger med Brewer-instrumentet ca. 7% for solhøjder større end 20°. ASIAQ's instrumenter er alle bredbåndsinstrumenter af typen UV Biometer (type 501) fra firma Solar Light (USA). Denne instrumenttype kaldes ofte Robertson-Berger instrumenter, er blandt de mest udbredte i verden, og har deltaget i mange instrument-sammenligninger de seneste 10 år [6,7]. Der kan dog være forskelle blandt instrumenterne. Det skyldes oftest fabrikationsforskelle i det fosforlag der anvendes til

opkonvertering af UV-strålingen. Normalt anses usikkerheden ved disse instrumenter at være omkring 10% [6,7] når alle korrektioner er foretaget. De kalibreres normalt mod spektroradiometre som på forhånd er korrigeret for ufuldstændig vinkelrespons [6].

Den første sammenligning af målinger af den CIE-vægtede irradians fra DMI's og ASIAQ's instrumenter blev foretaget den 1. maj 2001 fra kl. ca. 13 UTC (kl. 10 lokaltid) til kl. ca. 19 UTC (kl. 16 lokaltid). Solhøjden var mellem 30 og 40 grader og ozonlaget var stabilt på ca. 410 DU. Vejret var ikke perfekt; det var let skyet med svagt tiltagende skydække. De følgende dage viste sig ikke at blive bedre rent vejræssigt og blev derfor anvendt til målinger af instrumenternes vinkelrespons, til kalibrering af DMI's instrument, og til kalibrering af PUV500-instrumentet, der blev anvendt til undervandsmålinger. Selv om vejret ikke var perfekt var sammenligningen alligevel meget opmuntrende.

ASIAQ's to instrumenter (samme type, samme fabrikat, serienummer 2863 og 2878) viste samme værdier inden for 1%. Det er i sig selv meget tilfredsstillende. I figur 1 er vist DMI's spektral-målinger vægtet med CIE-vægtspektret samt ASIAQ's målinger.

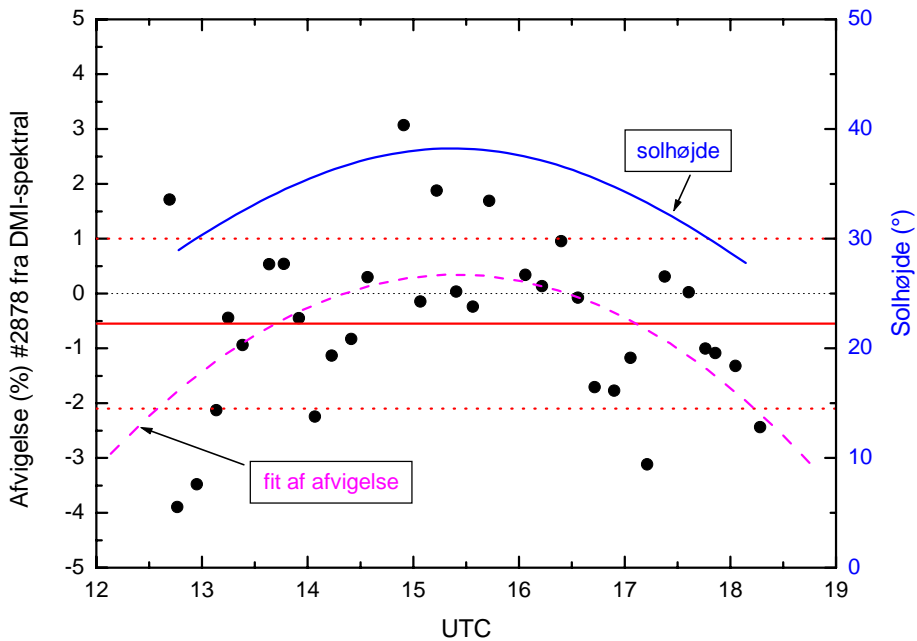


Figur E1. DMI's målinger af den spektrale irradians vægtet med CIE-vægtspektret (rødt plus) samt ASIAQ's målinger hvert minut med instrument #2878 (sort linie). DMI's spektrale målinger varer typisk ca. 5 minutter. Solhøjden, der er markeret ved blå linie, har skala til højre.

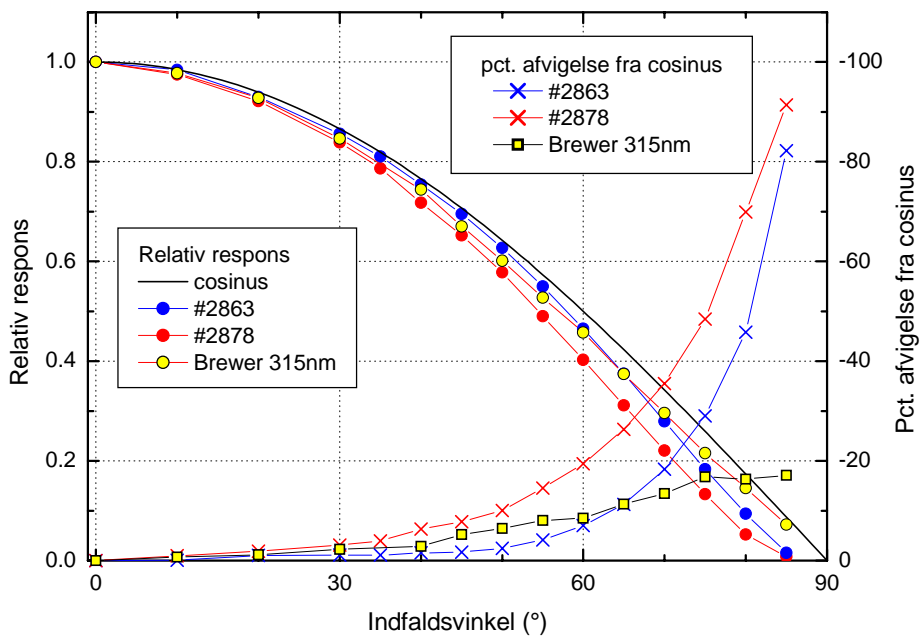
I stedet for sammenligningen vist i figur E1, er det mere instruktivt at se på forskellen mellem DMI's og ASIAQ's målinger. De er vist i figur E2. Selvom forskellen mellem målingerne ikke er statistisk signifikant, er der en korrelation med solhøjden. Det skyldes, at instrumenternes vinkelrespons ikke er ens. Derfor blev de efterfølgende dage anvendt til målinger af instrumenternes vinkelrespons så der fremover kan foretages korrektioner af de målte værdier.

ASIAQ's målinger var i gennemsnit 0,5% ($\pm 1,5\%$) lavere end DMI's spektrale målinger (figur E2). Det overraskende gode resultat betød, at det ikke umiddelbart var

nødvendigt at indføre korrektioner. Vi kan derfor konstatere, at DMI's og ASIAQ's målinger stemmer overens inden for måleusikkerheden.



Figur E2. I gennemsnit afviger ASIAQ's instrument #2878 med $-0,5\%$ ($\pm 1,5\%$) (rød linie hhv. stiplede røde linier) fra DMI's målinger. Et "fit" af forskellen med et andenordens polynomium (lilla stiplede linie) viser imidlertid en korrelation med solhøjden, der er markeret ved blå linie, og har skala til højre. Det skyldes, at instrumenter har forskellig vinkelrespons.



Figur E3. Vinkelrespons fra ASIAQ's instrumenter (#2863 og #2878) og DMI's spektral-instrument ved 315 nm samt idealrespons (cosinus). Med instrumenter monteret horisontalt til måling af irradians på en horisontal flade, svarer indfaldsvinkel til solens zenitvinkel.

Figur E3 viser vinkelresponsen fra instrumenterne samt den procentvise fejl fra en korrekt vinkelrespons. Det ses, at for zenitvinkler mindre end 60° er den procentvise fejl i vinkelresponsen for DMI's instrument og ASIAQ's instrument #2878 mindre end 10%, mens ASIAQ's instrument #2863 har en noget større fejl.

Forskellen i vinkelrespons mellem DMI's instrument og ASIAQ's instrument #2878 er årsag til noget af forskellen mellem instrumenternes visninger (fig. E2). En anden medvirkende årsag til forskellen mellem instrumenternes visninger (fig. E2) er, at ASIAQ's instrument ikke har en perfekt spektralrespons (svarende til CIE vægtspektret). For zenitvinkler mellem 50° og 60° (solhøjder mellem 30° og 40°) viser figur E3, at der højst er en forskel i vinkelrespons-fejl mellem #2878 og DMI' instrument på 5%, hvilket stemmer godt overens med resultaterne vist i figur E2. Da måleusikkerheden imidlertid er (mindst) af samme størrelse, er målingerne ikke blevet korrigeret for fejl i vinkelrespons. Der arbejdes videre med at karakterisere instrumenterne vha. korrektions-faktorer for solhøjde og, for ASIAQ's instrumenter, også for ozonlagstykkelse.

Calibration of Biospherical PUV500B/PUV510B (SN:19213/19214)

The instruments were calibrated against a 1000 W FEL lamp (Optronics F-188) calibrated by Statens Provnings och Forskningsanstalt (SP) in Borås, Sweden, in December 2000. The lamp was operated at 8 Amps by a constant current power supply (HP 6010B). The lamp current was measured as the voltage drop across a 0.1 ohm standard resistor (Burster, Germany) with a digital multimeter (HP 34301A) and was maintained with a precision of 10^{-5} throughout the calibration. The uncertainty in the lamp's spectral irradiance at the calibration distance (50cm) is estimated by SP to be $\pm 3\%$ at 300nm and $\pm 1.5\%$ at 500nm.

The calibration was performed in a darkroom with the lamp and instrument to be calibrated on an optical bench. The calibration distance was 973 mm and the lamp's spectral irradiance at this distance was calculated by the inverse square law using the actual distance from the lamp's filament. The uncertainty added by using this distance rather than 50cm is estimated to be less than 0.3%. Great care was taken to ensure that the front surface of the instrument to be calibrated was perpendicular to the (horizontal) beam from the lamp and that the center of the instrument was at the correct height over the optical bench (corresponding to the height of the center of the lamp's filament).

The temperature of the instrument to be calibrated was allowed to settle well before the calibration and the lamp was warmed up for 15 minutes before calibration in order to properly stabilize. The instrument's control software was used to log data during a calibration run of 5 minutes logging data every 15 seconds. The final instrument reading was then calculated as the average of the logged data.

Two new calibration files were made for the instrument:

- 1) CAL0501A.CLF is the file to be used when the PUV500 is submerged (usual mode) and
- 2) CAL0501B.CLF is the file to be used if both instruments are on the surface.

This lamp calibration generally showed that several of the channels had a diminished responsivity (which is to be expected). We have then assumed that change in responsivity would be the same for the solar based calibration. Therefore the calibration constants (scale factors) in the calibration files mentioned above are calculated from the changes in responsivity measured at this lamp calibration and the constants from the solar based calibration done by Biospherical.

The calibration file (either CAL0501A.CLF or CAL0501B.CLF) must be referenced in line 2 of the instruments configuration file (currently DEFAULTS.CFG) which is read on startup by the PRR-programs (PROFILE.EXE or TEST.EXE). We have made this change to the start-up configuration file so the programs now start up with the new calibration. Line 2 of DEFAULTS.CFG reads: "Calibration file", "C:\PROGRA~1\PRRPROG\CAL0501A.CLF"
Before the changes it read: "Calibration file", "C:\PROGRA~1\PRRPROG\19213_4.CL2"
(It can be edited with Notepad).

The details of the calibration are found in the following tables.

Date: 2. May 2001

Place: Kangerlussuaq, Greenland

Calibration of PUV500B (SN:19213)

	305nm	320nm	340nm	380nm	PAR
Original coefficients (solar cal. 12/12/97):					
Scalefactor [V/(uW/cm2/nm)]	0,71224	-0,13353	-0,05628	-0,04964	-11,53200
offset [V]	-0,00500	-0,00200	-0,00015	-0,00223	0,00016
Signal (light) [uW/cm2/nm]	0,14573	0,10221	0,18388	0,39872	0,00431
Signal (dark) [uW/cm2/nm]	-0,00920	0,00041	0,00344	-0,01407	0,00000
Signal (light) [V]	0,09879	-0,01565	-0,01050	-0,02202	-0,04954
Signal (dark) [V]	-0,01155	-0,00205	-0,00034	-0,00153	0,00012
Signal voltage	0,11035	-0,01359	-0,01016	-0,02049	-0,04966
Lamp Output @50cm	0,23540	0,37850	0,65470	1,57800	
Lamp Output @97,3cm	0,06216	0,09995	0,17288	0,41670	0,00000
NEW lamp based scalefactors (jun2001):					
Scalefactor [V/(uW/cm2/nm)] DRY	1,77517	-0,13600	-0,05874	-0,04917	
immersion coefficient	0,66200	0,66900	0,67300	0,68900	0,72400
Scalefactor [V/(uW/cm2/nm)] WET	1,17517	-0,09099	-0,03953	-0,03388	
Original lamp based scalefactors (10/22/97)					
	1,84635	-0,13799	-0,05894	-0,04897	-11,15316
change (%):	-3,85	-1,44	-0,34	0,42	
Original solar based scalefactors (12/12/97) DRY					
Original solar based scalefactors (12/12/97) WET	0,71224	-0,13353	-0,05628	-0,04964	
	0,47150	-0,08940	-0,03790	-0,03420	
New solar based scalefactors (jun2001) DRY					
New solar based scalefactors (jun2001) WET	0,68478	-0,13161			
	0,45332	-0,08812			

Date: 2. May 2001

Place: Kangerlussuaq, Greenland

Calibration of PUV510B (SN:19214)

	305nm	320nm	340nm	380nm	PAR
Original coefficients (solar cal. 12/16/97):					
Scalefactor [V/(uW/cm2/nm1)]	1,20670	-0,13460	-0,05870	-0,05030	-10,21670
offset [V]	0,01000	-0,00042	0,00097	-0,00240	-0,00020
Signal (light) [uW/cm2/nm1]	0,12728	0,09547	0,18099	0,42610	0,00426
Signal (dark) [uW/cm2/nm1]	0,00212	0,00145	0,00183	0,00709	0,00000
Signal (light) [V]	0,16359	-0,01327	-0,00965	-0,02383	-0,04372
Signal (dark) [V]	0,01256	-0,00062	0,00086	-0,00276	-0,00023
Signal voltage	0,15103	-0,01266	-0,01052	-0,02108	-0,04349
Lamp Output @50cm	0,23540	0,37850	0,65470	1,57800	
Lamp Output @97,3cm	0,06216	0,09995	0,17288	0,41670	0,00000
NEW lamp based scalefactors (jun2001):					
Scalefactor [V/(uW/cm2/nm1)]	2,42965	-0,12661	-0,06083	-0,05058	
Original lamp based scalefactors (10/22/97)					
	2,64385	-0,13706	-0,06394	-0,05201	-10,21670
change (%):	-8,10	-7,62	-4,86	-2,75	
Original solar based scalefactors (12/12/97)					
	1,20670	-0,13460	-0,05870	-0,05030	-10,21670
New solar based scalefactors (jun2001)					
	1,10894	-0,12434	-0,05585	-0,04892	

Influence of temperature on the dark readings of the PUV500 and PUV510.

We have examined the instrument dark readings in detail since we were concerned that they could be an issue as the instrument is not temperature stabilized. The instruments were both outside the lab building at Arktisk Station, Qeqertarsuaq (Godhavn), Greenland, and logging of the dark readings began about local midnight and ended about 12 hours later. Our findings are summarized in the figures below – all of which are rather instructive.

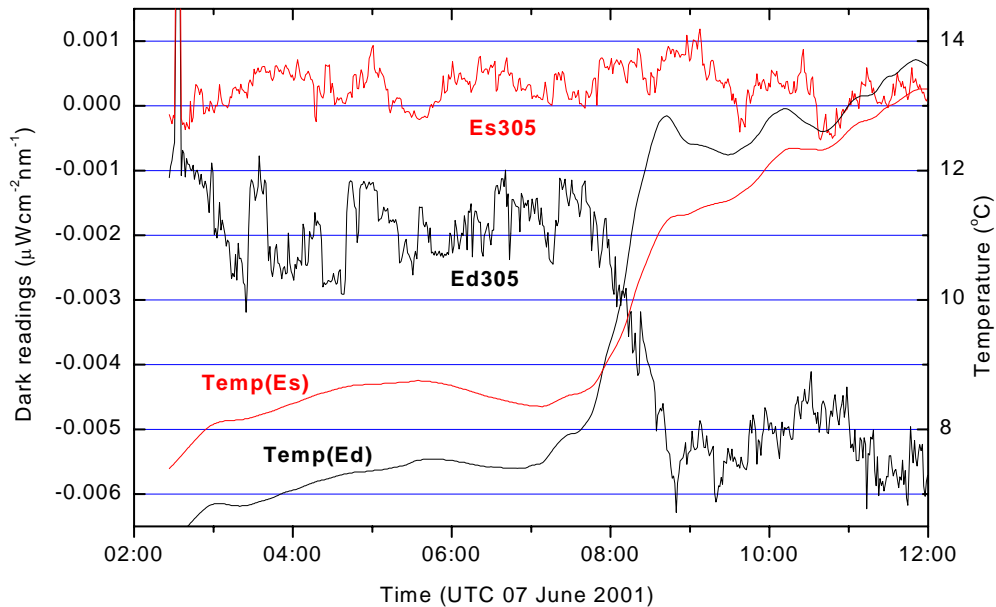


Figure 1. Dark reading of the 305nm channels (Es indicates readings from the surface instrument PUV510B while Ed indicates readings from PUV500B). The instrument's detector/filter temperature exhibits a rather sudden temperature rise around 08:00 UTC (weather change). Notice how sensitive the PUV500B's 305nm channel is to this change while the PUV510's 305nm channel is almost unaffected. Notice also the more erratic dark readings of the PUV500B which is noisier. These readings should be put in relation to a typical maximum daily surface reading of 1 to 2. The feature at about 02:30 is caused by exposure to daylight.

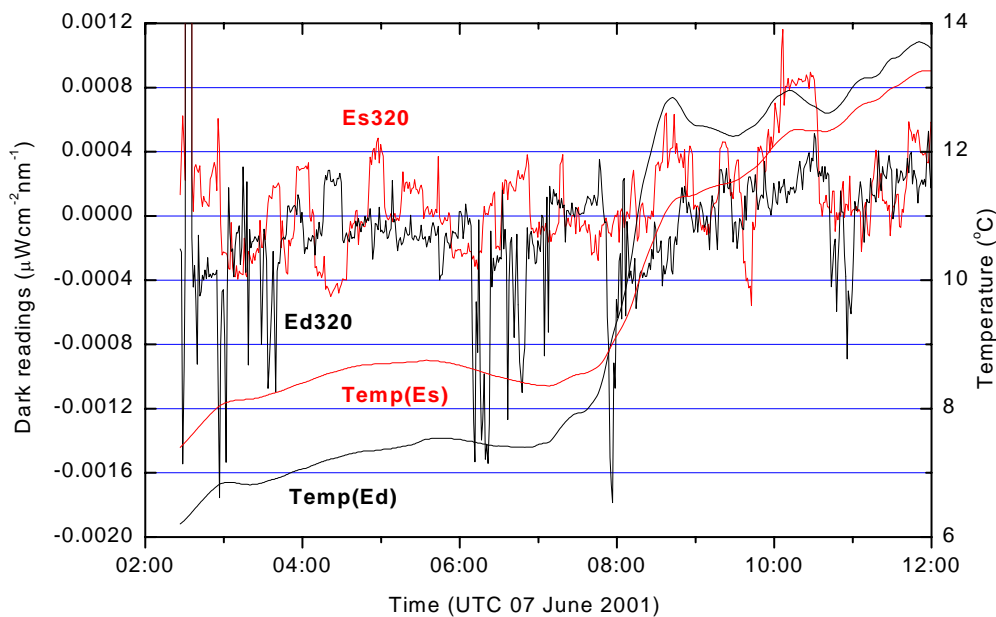


Figure 2. Same as in fig.1 but for the 320nm channels. There is almost no temperature effect but notice the more erratic readings of the PUV500B (sudden jumps).

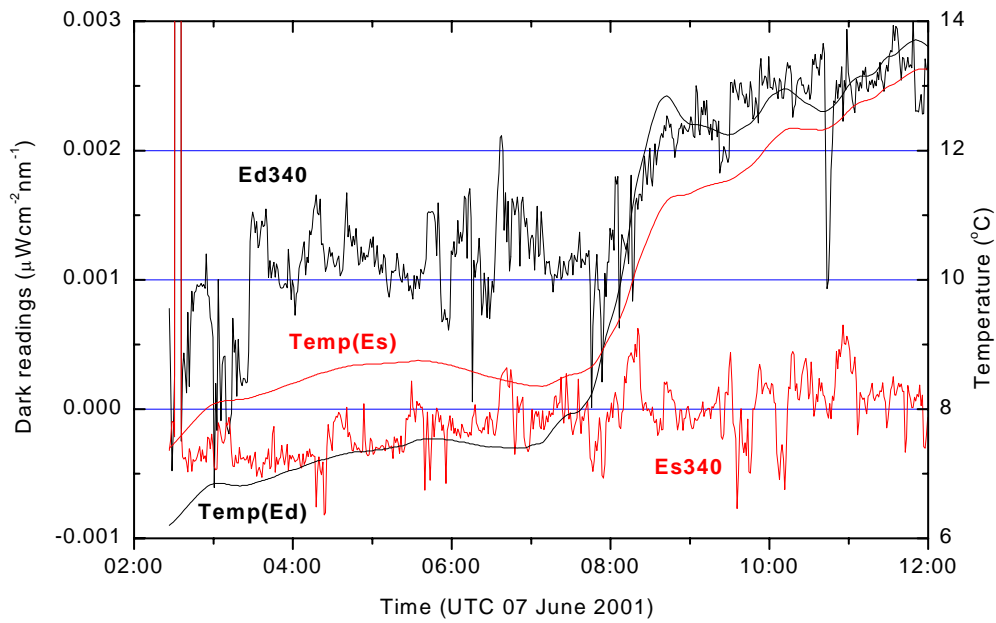


Figure 3. Same as fig. 1 but for the 340nm channels. The 340nm channel of the PUV500B is clearly affected by the temperature change while the PUV510B (deck instrument) is almost unaffected.

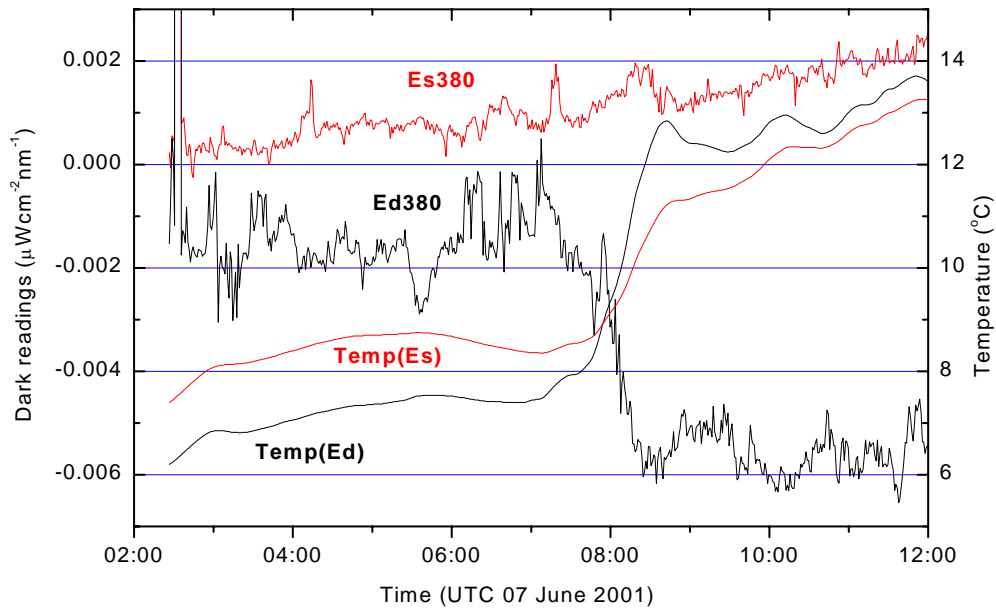


Figure 4. Same as fig. 1 but for the 380nm channels. The 380nm channel of the PUV500B is clearly affected by the temperature change while the PUV510B (deck instrument) is only slightly unaffected.

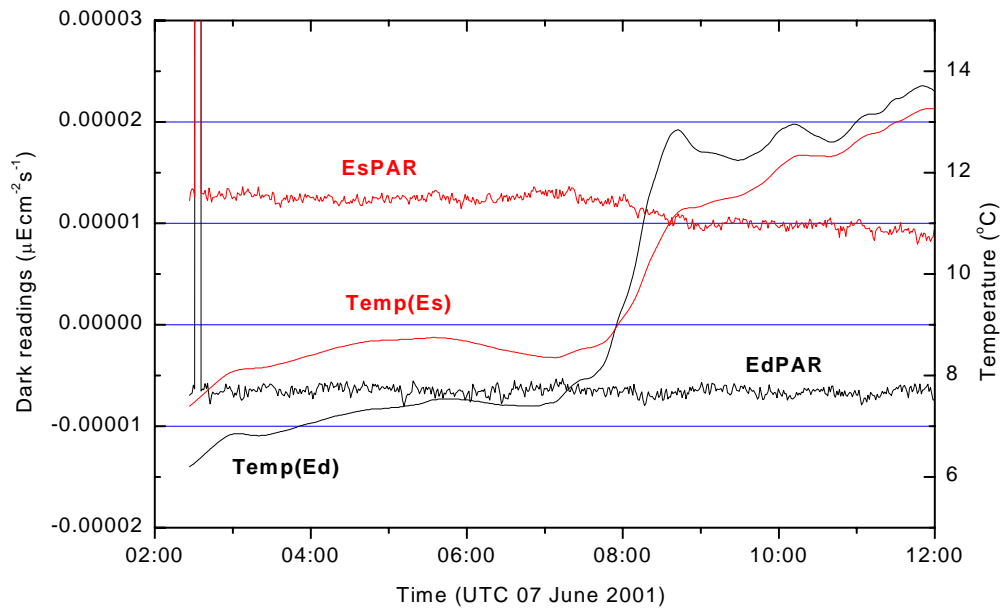


Figure 5. Same as fig. 1 but for the PARnm channels. As expected the PAR channels are almost unaffected by the changing temperature.

Conclusion.

The PUV500B dark readings are very sensitive to temperature changes and may take 15-20 minutes to settle to a new temperature. This should be taken into account when suddenly submerging the instrument into cold waters from a rather warm environment. The data also indicates that the detector/filter combinations of the instrument may exhibit a shift in response (calibration) when data are taken in cold waters and calibration is performed in a warm laboratory environment (this is well known for Si-photodiodes operating at the extreme of their long wavelength regime - above 1000nm). It is known that narrow band filters change their transmittance properties with changing temperature (particularly at the “edges”) and in combination with the fact that the vacuum photodiode (305nm channel) is operating at its long wavelength “tail” may result in a very temperature sensitive calibration of the 305nm channels. It would be instructive to have a calibration performed at rather different temperatures to examine this effect in detail.

These findings should only affect the absolute values reported by the PUV instruments. However, it should not be an issue for the relative measurements used for calculating attenuation coefficients from PUV500B measurements provided that the instrument is allowed to stabilize its temperature.