

UNIVERSITETET I OSLO
Fysisk Institutt

UV-stråling:

Modellering av skyers og bakkealbedoens effekt, samt analyse av langtidsendringer på Blindern og Ny-Ålesund

Masteroppgave i
fysikk,
Lektorprogrammet

Inger Helene
Hafsahl Karset

27. mai 2013



Sammendrag

Modellsimuleringer har blitt benyttet til å studere hvordan bakkens refleksjon og skyers optiske tykkelse, hver for seg og samlet, påvirker UV-strålingen ved bakken. Tilpasninger på formen til summen av en geometrisk, konvergent rekke så ut til å stemme godt overens med de modellerte verdiene for hvordan UV-strålingen varierer med bakkens refleksjon og skyenes optiske tykkelse. Tilsvarende modellerte verdier for utvalgte dager på Blindern (Oslo) og Ny-Ålesund (Svalbard) ble funnet. Til dette ble det benyttet UV-målinger fra et flerkanalsinstrument av typen GUV. De modellerte verdiene for bakkens refleksjon og skyenes optiske tykkelse for målingene på Blindern og Ny-Ålesund stemte godt overens med tilpasningene. UV-målinger fra og med 1995 og 1996, og frem til og med 2012, fra henholdsvis Blindern og Ny-Ålesund, ble benyttet til å finne ut om integrerte årsverdier og midlede månedsverdier for UV-strålingen ved bakken har endret seg over tid. Til komplettering av måledata ble det benyttet lineær interpolasjon og verdier fra omkringliggende dager, hvilket viste seg å være en god og enkel løsning da usikkerheten knyttet opp mot denne løsningen var lav, sammenliknet med usikkerheten til absoluttkalibreringen av instrumentet. Ingen av utviklingene til månedsmidlene eller årsverdiene for UV-strålingen ved bakken viste seg å være statistisk signifikante innen 2σ -nivået. Man så likevel antydninger til at de månedsmidlede verdiene for juli og august på Blindern har avtatt, at de tilsvarende verdiene for april, juni og september har økt, og at man har de stikk motsatte trendene på Ny-Ålesund. Utviklingen til de månedsmidlede verdiene til parameteren CMF, som sier hvor redusert UV-strålingen ved bakken er på grunn av skydekket, ble også funnet ved hjelp av UV-målingene. Resultatene viste statistisk signifikante reduksjoner innen 2σ -nivået i CMF-verdiene på Blindern i juli og i august, og på Ny-Ålesund i april. Dette tyder på at det månedsmidlede skydekket for de aktuelle månedene har økt. CMF-verdiene og verdiene for UV-strålingen ved bakken viste seg å samvariere godt, med korrelasjonskoeffisienter over 0,9, men med enkelte unntak for måneder hvor den totale ozonmengden avvek mye fra normalen. Følgelig ble det konkludert med at det først og fremst er variasjoner i skydekket som bidrar til de observerte variasjonene i de månedsmidlede verdiene for UV-strålingen ved bakken, men med unntak av måneder hvor ozonmengden er spesielt høy eller lav, som i april, 1997.

Forord

Det er med stolthet jeg leverer en faglig masteroppgave innen fysikk på lektorprogrammet, for det har ikke vært rent lite jobb utover det faglige for å komme hit jeg er i dag. Men etter utallige mailer, møter og turer innom studieinfo, viste det seg å gå i orden til slutt.

Aylin, takk for alle lunsjpauser og kaffepauser vi har hatt sammen. Hvordan skulle vi ha kommet oss gjennom dette uten muligheten til å få delt litt felles frustrasjon? Takk til Ida, Liv, og alle dere andre som har lært meg at livet på Blindern er mer enn bare studier, og at man lærer minst like mye gjennom diskusjoner over en lunsj som i en gruppetime.

Jeg vil få lov til å rette en stor takk til min veileder Arne Dahlback, som ikke bare har hjulpet meg gjennom disse atten ukene, men som også holdt emnet FYS4630 i høst, selv om jeg var den eneste studenten. Jeg vil også takke Bjørn Johnsen i Statens Strålevern for utfyllende forklaringer om instrumentusikkerheter, og Dag Langmyhr for hjelp med å få på plass den norske versjonen av referansestilen \LaTeX .

Takk til alle på avdelingen for meteorologi og oseanografi som gjorde meg interessert i atmosfærefysikk, og som lot meg fortsette å dyrke denne interessen, selv om jeg ikke var student hos dem.

Sist, men desisert ikke minst, fortjener Anders en stor takk for å ha holdt ut med en samboer som noen ganger har måttet la påskeferier og søndagsturer i parken vike for timer på lesesalen. Du bidrar mer enn du tror.

Blindern, 27. mai 2013
Inger Helene Hafsahl Karset

Innhold

1 Innledning	1
1.1 UV-stråling og dens biologiske effekt	1
1.2 Problemstilling	2
2 Teori	5
2.1 Kvantitative beskrivelser av stråling	5
2.2 UV-stråling	7
3 Instrumenter og modell	19
3.1 GUV-511 og GUV-541	19
3.2 Strålingstransportmodellen	25
4 Metoder	29
4.1 Modellering av albedo	29
4.2 Modellering av skyers optiske tykkelse	32
4.3 Analyse av langtidsendringer i erytemvektede doser og doserater . .	34
5 Resultater og diskusjon	39
5.1 Albedo	39
5.2 Skyers optiske tykkelse	43
5.3 Langtidsendringer i doser og doserater	48
6 Oppsummering og konklusjoner	55
Referanser	59
Vedlegg A Tabeller	65
Vedlegg B MATLAB- og Pythonprogrammer	81

Kapittel 1

Innledning

1.1 UV-stråling og dens biologiske effekt

Cirka 6% av solstrålingen som treffer toppen av jordens atmosfære er UV-stråling, det vil si elektromagnetisk stråling med bølgelengder under 400 nm (Johansen et al., 2011). UV-stråling kan ha store innvirkninger på levende organismer da den er svært energirik og absorberes raskt (Juzeniene et al., 2011). Eksempler på slike innvirkninger er ødeleggelse av DNA-molekyler, føflekkreft, andre typer hudkreft, erytem (solbrenthet), hornhinnebetennelse og grå stær (Bais & Lubin, 2007; Juzeniene et al., 2011). Forekomsten av både føflekkreft og andre typer hudkreft har i Norge økt med et gjevnt tempo fra 1950-tallet og frem til i dag (Kreftregisteret, 2012). Dette skyldes trolig endrede solvaner, både i solarium, ute i Norge og på ferier til lavere breddegrader hvor verdiene for UV-stråling ved bakken er større (Kreftforeningen, 2012).

Det er ikke bare negative effekter knyttet opp mot interaksjonen mellom UV-stråling og levende organismer. Produksjonen av Vitamin-D er et godt eksempel på dette. Vitamin-D har blant annet som oppgave å regulere opptaket av kalsium i kroppen (Holick, 2003). Med for lave verdier av Vitamin-D vil opptaket av kalsium reduseres, og risikoen for beinskjørhet vil øke (Holick, 2003). Vitamin-D finnes også i enkelte matvarer, men konsentrasjonene her er lave sett i forhold til hva kroppen selv klarer å produsere dersom huden blir eksponert for UV-stråling (Holick, 2003).

Få minutter ute i solen gir huden nok eksponering av UV-stråling til å produsere det daglige behovet for Vitamin-D, mens økt eksponering øker sannsynligheten for at alle de negative effektene skal inntreffe. Det er derfor, biologisk sett, ikke ønskelig med økte verdier av UV-stråling ved bakken.

1.2 Problemstilling

Mange ulike faktorer spiller inn på hvor mye UV-stråling som måles ved bakken. Blant disse finner vi jordens avstand til solen, solens posisjon på himmelen, mengden og tykkelsen til skyene, bakkens refleksjon og tykkelsen til ozonlaget. (Mer om dette i delkapittel 2.2).

I den første delen av denne oppgaven blir det, ved hjelp av modellsimuleringer, sett nærmere på hvordan bakkens refleksjon og skyenes optiske tykkelse påvirker mengden UV-stråling som måles ved bakken.

I geofysikken blir bakkens refleksjon omtalt som bakkealbedo, eller bare albedo (Thomas & Stamnes, 1999). En rekke studier (McKenzie & Paulin, 1998; Lenoble, Kylling & Smolskaia, 2004; Kylling, Persen, Mayer & Svenøe, 2000) har vist at økt albedo gir en økning i den nedgående UV-strålingen ved bakken. Årsaken til dette er at deler av strålingen som blir reflektert opp fra bakken vil gjennomgå Rayleighspredning hos luftmolekyler og dermed bli spredt ned igjen. Skyene, derimot, vil stort sett ha den motsatte effekten da deler av UV-strålingen som treffer skytoppen vil bli reflektert opp igjen. I denne oppgaven vil det bli forsøkt å finne tilpasninger til hvordan mengden UV-stråling ved bakken endrer seg med endret albedo, endret optisk skytykkelse, samt en kombinasjon av disse to. Det blir også forsøkt å estimere albedo og optisk skytykkelse for utvalgte dager på Blindern og på Ny-Ålesund. Endringer i skydekket og endringer i bakkens albedo er to av de mange konsekvensene som kan komme av menneskeskapte klimaendringer (Solomon et al., 2007; Sanchez-Lorenzo, Calbó & Wild, 2012). Det er følgelig interessant å vite mer om hvordan disse endringene vil påvirke UV-strålingen ved bakken.

I den andre delen av denne oppgaven blir års- og månedsutviklinger av UV-strålingen som måles ved bakken på Blindern og Ny-Ålesund funnet og studert.

Av faktorene som påvirker UV-stråling er det ozonlaget som har fått størst oppmerksomhet de siste tiårene da menneskeskapte utslipp av klor- og bromholdige gasser har vist seg å kunne redusere tykkelsen til ozonlaget. (Mer om dette i delkapittel 2.2). Siden konsentrasjonene til de klor- og bromholdige gassene nådde sitt toppnivå i atmosfæren ved årstusenskiftet, er det interessant å se om dette gjenspeiler seg i årsutviklingene over Blindern og Ny-Ålesund.

Utviklingen av månedsmidlede verdier for parameteren CMF (mer om denne i delkapittel 2.2), studeres også sammen med månedsmidlede verdier for UV-strålingen ved bakken. Det blir forsøkt funnet ut om eventuelle endringer i de månedsmidlede verdiene for UV-strålingen ved bakken kan skyldes endringer i skydekket, eller om

det ser ut til å være andre faktorer, som for eksempel endringer i ozonlaget, som er forklaringen.

Oppsummert vil følgende problemstillinger besvares i denne oppgaven:

1. Hvilken effekt har endringer i bakkealbedoen, endringer i skydekket, samt en kombinasjon av disse to, på UV-strålingen ved bakken?
2. Hvordan har årsverdier og månedsverdier for UV-strålingen som har blitt målt ved bakken endret seg på Blindern og Ny-Ålesund fra henholdsvis 1995 og 1996, og frem til i dag? Kan eventuelle endringer i skydekket forklare disse endringene?

Kapittel 2

Teori

Aller først blir det presentert generell teori om hvordan man kvantitativt kan beskrive stråling. Med mindre noe annet er spesifisert er denne teorien hentet fra Thomas og Stamnes (1999). Dette gjelder også for delkapittel 3.2. Deretter blir bakgrunnsteori om UV-stråling presentert. Her vil det spesielt bli lagt vekt på faktorene som påvirker hvor mye UV-stråling som måles ved bakken.

2.1 Kvantitative beskrivelser av stråling

Radians (intensitet) og irradians (flukstetthet) er begge mål på strålingsstyrke. Hvorvidt man skal benytte radians eller irradians avhenger av om man vil se på stråling fra en bestemt romvinkel eller stråling integrert over flere romvinkler.

Radians

Monokromatisk radians, I_ν , er et mål på hvor mye strålingsenergi dE med frekvensen $d\nu$ som kommer inn fra romvinkelen $d\omega$ i løpet av tiden dt og treffer normalt på arealet dA . Monokromatisk radians er gitt som

$$I_\nu = \frac{d^4E}{dA \cos\theta dt d\nu d\omega}, \quad (2.1)$$

og har enheten $\text{Wm}^{-2}\text{Hz}^{-1}\text{sr}^{-1}$. Senitvinkelen θ forteller hvor høyt på himmelen solen står, hvor $\theta = 90^\circ$ betyr at solen er ved horisonten, mens lavere verdier betyr at solen står høyere på himmelen. For å finne radiansen, I , må I_ν integreres over alle frekvenser,

$$I = \int_\nu I_\nu d\nu. \quad (2.2)$$

Enheden til radians er $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$.

Irradians

Monokromatisk irradians, F_ν , forteller hvor mye strålingsenergi dE med frekvensen $d\nu$ som kommer inn fra flere romvinkler og treffer arealet dA i løpet av tiden dt . Monokromatisk irradians er gitt som

$$F_\nu = \frac{d^3E}{dA dt d\nu}, \quad (2.3)$$

og har enheten $\text{Wm}^{-2}\text{Hz}^{-1}$. Sammenhengen mellom monokromatisk radians og monokromatisk irradians blir dermed

$$F_\nu = \int_\omega I_\nu \cos\theta \, d\omega. \quad (2.4)$$

For å finne irradiansen, F , må den monokromatiske irradiansen integreres over alle bølgelengder,

$$F = \int_\nu F_\nu \, d\nu. \quad (2.5)$$

Enheden til irradians er Wm^{-2} .

Strålingstransportlikningen

Jordens atmosfære kan både spre, absorbere og emittere stråling. Alle disse prosessene vil påvirke hvordan stråling transporteres gjennom atmosfæren. For å gjøre beregninger på denne transporten, benyttes strålingstransportlikningen

$$\frac{dI_\nu}{d\tau_s(\nu)} = \underbrace{-I_\nu}_{(A)} + \underbrace{(1 - a(\nu)) B_\nu(T)}_{(B)} + \underbrace{\frac{a(\nu)}{4\pi} \int_{4\pi} p(\hat{\Omega}', \hat{\Omega}) I_\nu(\hat{\Omega}') \, d\omega'}_{(C)}. \quad (2.6)$$

Uttrykket på venstre side av likhetstegnet sier hvor mye den monokromatiske radiansen, I_ν , i retningen $\hat{\Omega}$ endres når strålingen passerer strekningen s gjennom atmosfæren, mens leddene på høyre side er prosessene som bidrar til denne endringen. $\tau_s(\nu)$ er et mål på hvor ugjennomsiktig atmosfæren er, og kalles for optisk dybde. $\tau_s(\nu)$ er gitt som

$$\tau_s(\nu) = \int_0^s k(\nu) \, ds', \quad (2.7)$$

hvor $k(\nu)$ er ekstinksjonskoeffisienten som sier hvor mye strålingen reduseres med per meter atmosfære den passerer, enten gjennom spredning eller absorpsjon, mens s er strekningen strålingen tilbakelegger. I restem av oppgaven skal vi ikke se på $\tau_s(\nu)$, men $\tau(\nu)$, som kalles vertikal optisk tykkelse, eller normal optisk tykkelse, og er et mål på hvor ugjennomsiktig atmosfæren er i den vertikale retningen. $\tau(\nu)$

finnes på samme måte som $\tau_s(\nu)$, men i stedet for å integrere over strekningen s , integreres det over dens vertikalkomponent. Av forenklinger kommer vi bare til å bruke symbolet τ , og navnet optisk tykkelse.

Prosessene som bidrar til å endre radiansen i Likning (2.6) er tredelte:

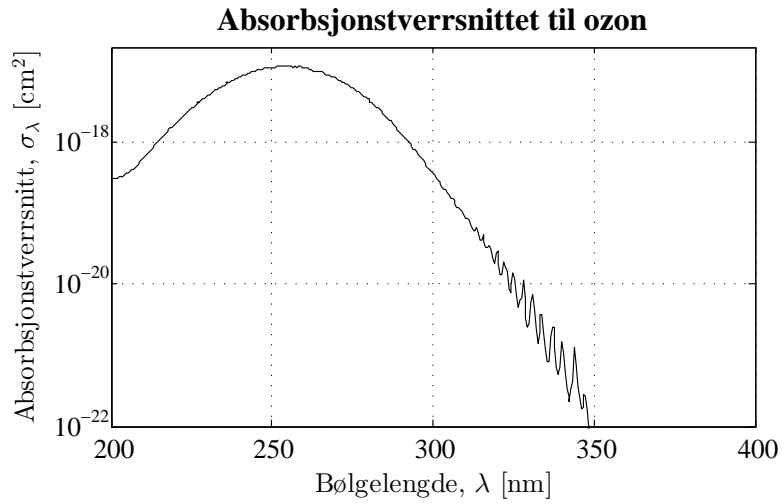
- (A) Slukledd. Uttrykker hvor mye strålingen, som tidligere hadde retningen $\hat{\Omega}$, har blitt redusert på grunn av absorpsjon eller spredning til en annen retning.
- (B) Kildeledd. Uttrykker den tilførte monokromatiske radiansen til retningen $\hat{\Omega}$ som konsekvens av emisjon i laget.
- (C) Kildeledd. Uttrykker hvor mye monokromatisk radians som tilføres retningen $\hat{\Omega}$ gjennom spredning fra retningen $\hat{\Omega}'$.

$a(\nu)$ er enkeltspredningsalbedoen som sier hvor stor sannsynlighet det er for at et foton ble spredt dersom vi vet at fotonet enten ble spredt eller absorbert. $p(\hat{\Omega}', \hat{\Omega})$ er fasefunksjonen som sier hvor sannsynlig en spredning fra retningen $\hat{\Omega}'$ til retningen $\hat{\Omega}$ er, mens $B_\nu(T)$ er radiansen til strålingen som blir emittert fra et lag med temperaturen T . I UV-regionen vil $B_\nu(T)$ være lik null siden temperaturen i atmosfæren er såpass lav at det ikke vil bli emittert stråling med så korte bølgelengder. Når man ser på transport av UV-stråling gjennom atmosfæren kan altså leddet (B) på høyre side av likhetstegnet i Likning (2.6) neglisjeres.

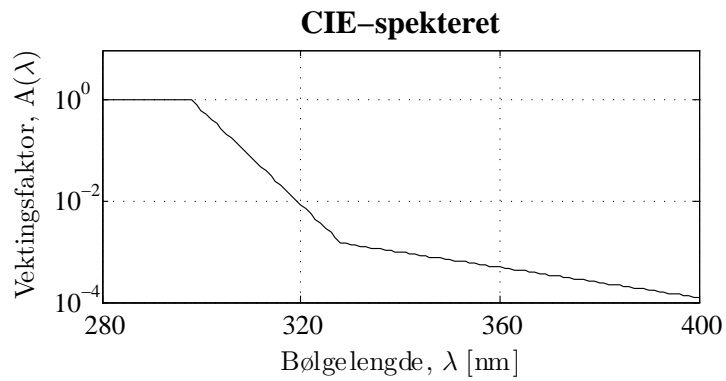
Ved å løse Likning (2.6) kan man få et uttrykk for den monokromatiske radiansen etter at strålingen har passert et atmosfærelag med optisk tykkelse lik τ .

2.2 UV-stråling

UV-strålingen blir delt inn i ulike bølgelengdeintervaller basert på strålingens biologiske effekt. (Calbó, Pagès & González, 2005). Denne inndelingen har variert for ulike studier, men det er nå vanlig innen geofysisk forskning å gjøre følgende inndeling for UV-stråling med bølgelengde mellom 200 og 400 nm: UVC (200 - 280 nm), UVB (280 - 315 nm) og UVA (315 - 400 nm) (Juzeniene et al., 2011). Den delen av UVC som ikke blir absorbert av oksygen-, ozon- eller nitrogenmolekyler i øvre atmosfære blir absorbert av ozon i stratosfæren (18 - 25 km) (Bais & Lubin, 2007). UVB absorberes kraftig av ozon i stratosfæren, men noe UVB vil likevel nå ned til bakken (Bais & Lubin, 2007). I Figur 2.1 ser man hvordan absorpsjonstverrsnittet til ozon varierer med bølgelengden. Absorpsjonstverrsnittet er et mål på hvor sterk absorpsjonen er, og man ser at den er liten for UVA sammenliknet med UVB og UVC. Følgelig vil UV-strålingen ved bakken hovedsaklig bestå av UVA.



Figur 2.1: Absorpsjonstverrsnittet til ozon i UV-regionen. Data er hentet fra (Molina & Molina, 1986)



Figur 2.2: CIE-spekteret; aksjonsspekteret for fremkalling av erytem hos mennesker, foreslått av McKinlay og Diffey (1987)

Aksjonsspektre

Hvor effektiv stråling er til å fremkalle ulike biologiske effekter, som for eksempel erytem, føflekkreft eller død, varierer med bølgelengden til strålingen. Det er derfor blitt utviklet egne aksjonsspektre for ulike effekter. Disse aksjonsspektrene får man ved å plote vektingsfunksjonen $A(\lambda)$ mot bølgelengden λ . $A(\lambda)$ har verdier mellom 0 og 1, hvor 1 betyr at strålingen effektivt fremkaller effekten ved den gitte bølgelengden. Aksjonsspektret for fremkalling av erytem hos mennesker vises i Figur 2.2. Spektret ble først foreslått av McKinlay og Diffey (1987), og senere fastsatt som en standard av Den internasjonale kommisjon for belysning (CIE) (Webb, Slaper, Koepke & Schmalwieser, 2011).

Erytemvektede doserater og doser

Når man beregner erytemvektede doserater tar man hensyn til hvor mye irradians som når ned til bakken, samt hvor effektiv denne strålingen er til å fremkalle erytem hos mennesker. Erytemvektet doserate, $\frac{dD}{dt}$, er gitt som

$$\frac{dD}{dt} = \int_{\lambda} A(\lambda)F(\lambda, t) d\lambda, \quad (2.8)$$

hvor $A(\lambda)$ er aksjonsspektret for erytem hos mennesker, mens $F(\lambda, t)$ er irradiansen til strålingen som når ned til bakken ved tiden t . Enheten er Wm^{-2} .

For å beregne den erytemvektede dosen, D , et menneske mottar over en viss tid må den erytemvektede doseraten integreres over eksponeringstiden. Man får at

$$D = \int_t \frac{dD}{dt} dt, \quad (2.9)$$

hvor enheten er Jm^{-2} .

UV-Indeks

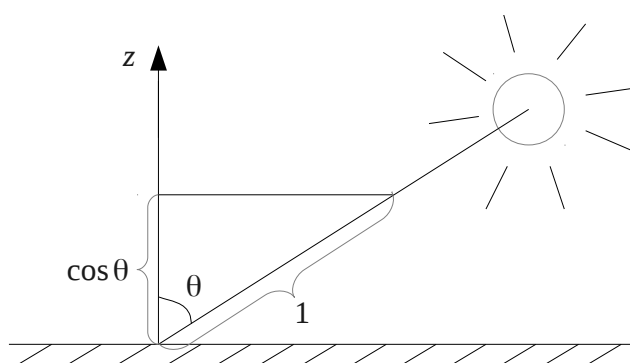
UV-indeks (UVI) er et enhetsløst mål på den erytemvektede doseraten forårsaket av UV-stråling mellom 250 og 400 nm, og er gitt som

$$UVI = 40 \text{ Wm}^{-2} \int_{\lambda=250 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} A(\lambda)F(\lambda, t) d\lambda, \quad (2.10)$$

hvor $A(\lambda)$ og $F(\lambda, t)$ er definert som tidligere. UV-indeksen ligger valigvis mellom 0 og 15, men i ekstremtilfeller kan den bli høyere. Tabell 2.1 viser typiske verdier for UV-indeksen for ulike steder og værforhold.

Tabell 2.1: UV-indeks. Tabellen er hentet fra Meteorologisk Institutt (2010).

UVI	Styrke	Tilsvarende
1 – 2	Lav	Vinter i Norge
3 – 5	Moderat	Påske i Norge. Vår/høst i Sør-Norge.
6 – 7	Sterk	Sør-Norge i juni/juli, høyfjellet i mai. Spania vår/høst.
8 – 10	Svært høy	Isbre/høyfjell med snø i juni/juli. Middelhavssommer.
> 11	Ekstrem	Kanariøyene og Alpene om sommeren. Ekvator.



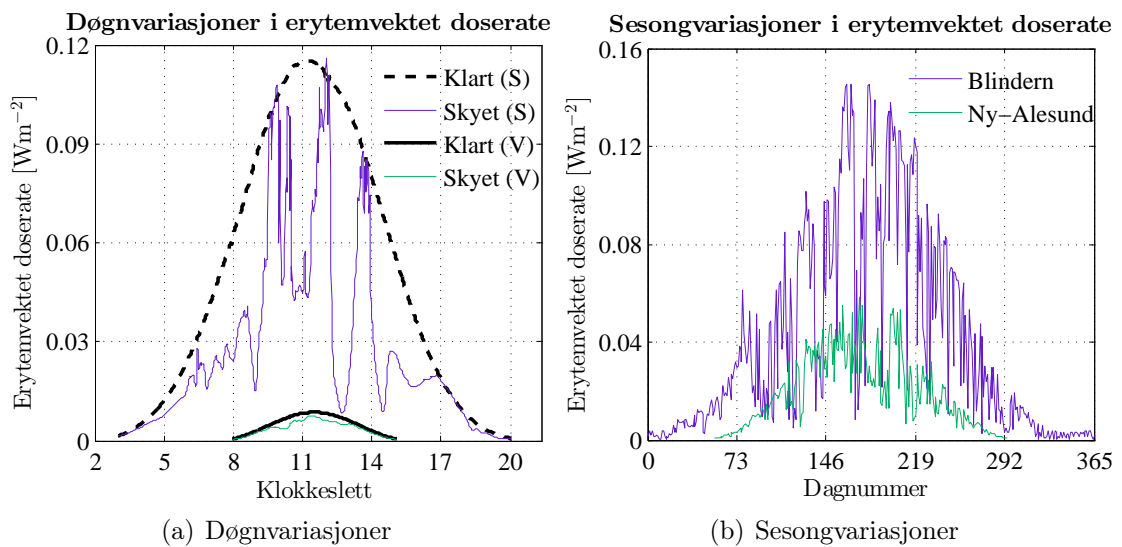
Figur 2.3: Illustrasjon av cosinusloven som sier hvordan intensiteten til stråling avtar med cosinus til senitvinkelen, θ .

UV-kontrollerende faktorer

UV-strålingen ved bakken varierer med flere parametre. For å finne ut hvilken effekt én av disse parametrene har, må man holde de andre parametrenes bidrag konstante.

Jord-sol-interaksjon

Man vil få døgnvariasjoner i UV-strålingen ved bakken siden jorden ikke mottar UV-stråling fra solen på natterstid. Dersom man ser bort i fra alle andre parametre vil det mottas mest UV-stråling ved det tidspunktet på dagen hvor solens senitvinkel er minst, det vil si når solen står høyest på himmelen. Deretter vil den avta med cosinus til senitvinkelen. Dette kalles cosinusloven, og er illustrert i Figur 2.3. Fra klarværsplottene (de tykke linjene) i Figur 2.4(a) ser vi tydelig at de erytemvektede doseratene er høyest midt på dagen, og at de avtar jo lenger unna



Figur 2.4: Figur 2.4(a) viser hvordan de erytemvektede doseratene varierer gjennom en sommerdag med klarvær (Klart (S)), en sommerdag med overskyet himmel (Skyet (S)), en vinterdag med klarvær (Klart (V)) og en vinterdag med overskyet himmel (Skyet (V)). Dagene som verdiene er hentet fra er henholdsvis 4. juni 2006, 4. juni 2012, 25. januar 2006 og 25. januar 2007. Figur 2.4(b) viser hvordan de erytemvektede doseratene på Blindern og Ny-Ålesund varierte gjennom år 2006. Hver dag er representert med én verdi for den erytemvektede doseraten. Denne verdien er gjennomsnittet av alle målingene i timen rundt senit for den gitte dagen.

dette tidspunktet man kommer.

Reduksjonen i målt UV-stråling ved bakken ved økt senitvinkel forsterkes siden strålingen ved større senitvinkler vil få mer atmosfære å passere før den når ned til bakken, og dermed vil det være større sannsynlighet for at strålingen blir svekket av enten luftmolekyler, atmosfæriske gasser, partikler, eller skyer på veien. Spredning av stråling, og dermed også retningsforandring, vil skje gjennom hele dagen.

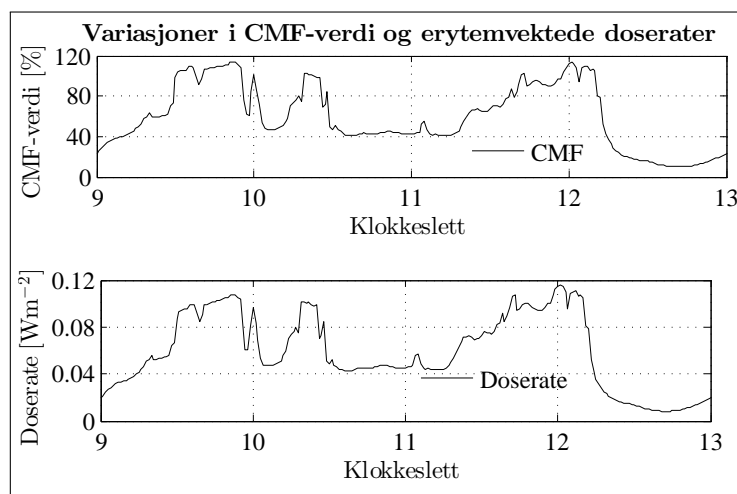
Man vil også få sesongvariasjoner siden man på sommerstid har flere soltimer og lavere senitvinkler enn på vinterstid. Dette kommer tydelig frem av klarværsplottene i Figur 2.4(a). Her ser vi at de erytemvektede doseratene er høyere om sommeren enn om vinteren. Lavere senitvinkler og færre soltimer vil man også få ved høyere breddegrader, hvilket vil bidra til breddegradsvariasjoner i UV-strålingen som måles ved bakken. Dette kommer tydelig frem i Figur 2.4(b) hvor vi ser at de erytemvektede doseratene gjennom et helt år stort sett er høyere på Blindern ($59,95^\circ$ N) enn på Ny-Ålesund ($78,93^\circ$ N).

Senitvinkelen er den faktoren som har størst innvirkning på døgn- og sesongvariasjonene i UV-strålingen som måles ved bakken (Tarasick et al., 2003). Jordbanens elliptiske form rundt solen vil også gi et mindre bidrag til variasjonen med årstidene siden den gjør at avstanden mellom jorden og solen varierer gjennom året. Dette fører til at den totale irradiansen som treffer jorden er 6,9% høyere i januar enn i juli (Dahlback, 2008).

Skyer

Skyer kan redusere UV-strålingen som måles ved bakken da deler av den nedgående strålingen fra sola som treffer skyene kan spres tilbake. Denne spredningen er ikke like stor som for synlig lys, og er heller ikke like godt beskrevet i litteraturen, men på en overskyet dag vil skyene typisk redusere UV-strålingen ved bakken med mellom 30% og 70% (Calbó et al., 2005). På en sterkt overskyet dag i Norge om sommeren kan UV-strålingen bli redusert med over 90%, og ved lavere breddegrader har man observert reduksjoner helt opp til 99% (A. Dahlback, 2013). Ved å sammenlikne klarværsgrafene med grafene for dagene med overskyet himmel i Figur 2.4(a) ser vi at skyenes innvirkning kan variere mye i løpet av en dag, og at man for den gitte sommerdagen med overskyet himmel hadde reduksjoner i den erytemvektede doseraten på opp mot 90%.

Skyene vil redusere all stråling innen UV-regionen cirka like mye da skyenes spredning avhenger lite av bølgelengden (Dahlback, 1996). Hvor sterk reduksjonen er kommer an på flere faktorer, derav skyenes optiske tykkelse og størrelsesfordelin-



Figur 2.5: Variasjoner i CMF-verdi og erytemvektede doserater på Blindern mellom klokken 09.00 og klokken 13.00, 4. juni 2012.

gen til skydråpene (Calbó et al., 2005). Hvor høyt på himmelen skyenes skybase befinner seg spiller også en rolle. På Ny-Ålesund er to kilometer en typisk verdi for høyden til skybasen (Shupe et al., 2011).

En rekke studier (se for eksempel Dahlback, Gelsor, Stamnes og Gjessing (2007)) benytter forholdet mellom målt UV-irradians og beregnet UV-irradians ved klarvær for å kvantifisere skyers effekt på UV-stråling. Dette forholdet går under navnet CMF (Cloud Modification Factor), og er gitt som

$$CMF = \frac{UV_{\text{målt}}}{UV_{\text{klarvær}}}, \quad (2.11)$$

hvor $UV_{\text{målt}}$ er målt UV-stråling med bølgelengden 340 nm, mens $UV_{\text{klarvær}}$ er beregnet UV-stråling med den samme bølgelengden, aerosolfri atmosfære og bakkealbedo lik null (les mer om aerosoler og bakkealbedo i senere delkapitler). Siden bar bakke har typiske albedoverdier rundt 5% vil man ut ifra denne definisjonen forvente CMF-verdier tett opp mot 100% ved skyfrie forhold, bar bakke og tilnærmet aerosolfri atmosfære (Dahlback et al., 2007). Instrumentene på Blindern og Ny-Ålesund som ble benyttet i denne oppgaven viser derimot at CMF-verdiene ved slike forhold ligger rundt 98%. Dette er eksemplifisert i Listing A.1, hvor verdiene for CMF ligger rundt 98% på klarværsdagene 17. juni 2009 og 4. juni 2010.

I Figur 2.5 ser vi at når CMF-verdien avtar også den erytemvektede doseraten. Dette vil være tilfelle dersom det er skyene som bidrar til reduksjonen av UV-strålingen som måles ved bakken. Doseratene kan også endres dersom CMF-verdien holdes

konstant, men da må det være andre faktorer som spiller inn, for eksempel endringer i ozonlaget.

Skyene kan også bidra til å øke UV-strålingen som måles ved bakken gjennom forsterkningseffekten, hvor stråling reflekteres av sidene til skyene (Lubin & Frederick, 1991). Dette ser vi i Figur 2.4(a) hvor de erytemvektede doseratene på en overskyet dag i enkelte perioder viser høyere verdier enn hva som ville ha vært tilfelle ved skyfri atmosfære.

Albedo

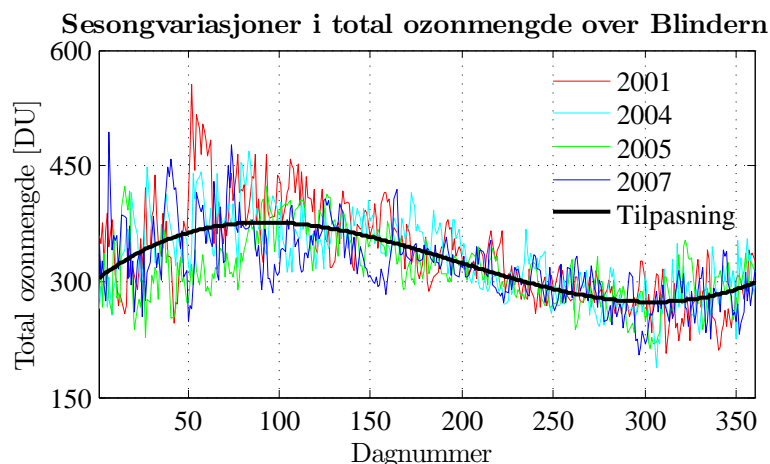
Albedoen varierer med både bølgelengden til strålingen, senitvinkelen til solen og komposisjonen til bakken, og vil generelt øke når bølgelengde og senitvinkel øker (Feister & Grewe, 1996). I UV-regionen vil albedoen til de fleste flater som ikke er dekket av snø ligge på rundt 5%, avhengig av om de for eksempel er tørre, våte eller dekket med vegetasjon eller bygninger (Feister & Grewe, 1996; Lenoble et al., 2004; McKenzie & Paulin, 1998). Albedoen til flater som er dekket av snø vil avhenge av snøens alder og komposisjon, og kan bli opp til 90 % (Calbó et al., 2005).

I en studie fra Lauder, New Zealand (45,04°S) fant McKenzie og Paulin (1998) ut at snødekke kan gi en økning i målt UVA og UVB ved bakken på henholdsvis 22% og 28% ved senitvinkel lik 70°. Albedoen som førte til denne økningen ble estimert til å være på 62% ± 8%. Lenoble et al. (2004) målte og beregnet at erytemvektet UV-doserate ved bakken økte på det meste med 22% på grunn av snødekke i Briançon (44,9°N) i mars 2002. Disse målingene ble gjort ved senitvinkel lik 60°.

Endringer i albedoen vil altså endre UV-strålingen som måles ved bakken, hvilket inkluderer UV-stråling med bølgelengde lik 340 nm. Dermed vil også CMF-verdien bli påvirket av endringer i albedoen. Følgelig vil man kunne måle CMF-verdier rundt 100% på en dag med snødekket bakke, selv om atmosfæren ikke er skyfri, mens man på skyfrie dager kan måle enda høyere CMF-verdier. For å kunne bruke CMF som et mål på skyenes innvirkning på UV-strålingen ved bakken, må man altså kjenne til albedoen. Dersom man vet at man har skyfri atmosfære, vil ikke CMF-verdien være et mål på innvirkningen skyene har på UV-strålingen ved bakken, men heller hvilken innvirkning albedoen har.

Ozon

I motsetning til skyers innvirkning på UV-stråling er ozons innvirkning godt kjent (Bais & Lubin, 2007). Ozon absorberer og hindrer store deler av UV-strålingen som kommer inn ved toppen av atmosfæren i å nå bakken. Hvor sterk absorpsjo-



Figur 2.6: Grafer som illustrerer hvordan den totale ozonmengden varierte gjennom de tilfeldig valgte årene 2001, 2004, 2005 og 2007. Den sorte, tykke linjen viser en tilpasning til gjennomsnittsverdiene for disse fire årene i form av et tredjegradspolynom. Verdiene kommer fra instrumentene TOMS og OMI, på satellittene Earth Probe og Aurora, eid av NASA, og er hentet fra (National Aeronautics and Space Administration [NASA], 2013).

nen er kommet an på bølgelengden. I Figur 2.1 så man at absorpsjonen er mye større for UVC og UVB enn for UVA. Økt mengde av ozon fører til økt absorpsjon, og motsatt, så det er ikke ønskelig med reduserte mengder av ozon i stratosfæren.

Total ozonmengde oppgis i Dobsonenheter (DU). Hvis man flytter alle ozonmolekylene i en verikal søyle med høyde fra bakken og opp til toppen av atmosfæren, ned til bakken hvor trykket er 1 atm og temperaturen er 0°C , og deretter måler hvor mange millimeter tykt dette ozonlaget er, vil man ha at den totale ozonmengden oppgitt i Dobsonenheter er dette tallet, ganget med 100 (Wallace & Hobbs, 2006).

I Figur 2.6 ser vi hvordan den totale ozonmengden varierer gjennom året. Vi ser at ozonverdiene er størst om våren, lavest om høsten, og at variasjonene er lavest om sommeren. Alt dette skyldes stratosfærekjemi som vi ikke skal gå nærmere inn på i denne oppgaven.

Aerosoler

Aerosoler er sammensetninger av små partikler (Wallace & Hobbs, 2006). Deres diametre kan variere mellom 10 nm og $100\ \mu\text{m}$, og de kan både ha naturlige og antropogene kilder (Meteorologisk Institutt, 2009; Thomas & Stamnes, 1999). Eksempler på vanlige aerosoler er sot, sjøsalt, aske og sulfater (Kanakidou et al., 2005;

Dahlback, 2008). Aerosolenes effekt på stråling er sterkt varierende ut ifra deres størrelse og komposisjon, og de kan gi direkte effekter gjennom deres absorpsjon eller spredning av stråling fra sola, eller indirekte effekter som kondensasjonskjerner i skydannelsesprosessen (Liou, 2002). Uansett om aerosolene sprer eller absorberer UV-stråling fra sola, vil de redusere den målte UV-strålingen ved bakken, gitt at bakken er horisontal (Dahlback, 2008).

I motsetning til ozon virker aerosolene også godt på UV-stråling med bølglengde lik 340 nm. Følgelig vil man ved høye aerosoloptiske tykkelser måle reduserte CMF-verdier. Over Oslo er den optiske tykkelsen til aerosolene målt til å ha typiske verdier rundt 0,1 i UV-regionen, hvilket er såpass lite at aerosolenes innvirkning på UV-strålingen som måles ved bakken i Oslo og andre steder med mindre forurensning, skogbranner, vulkanutbrudd eller lignende, kan neglisjeres (Dahlback et al., 2007). Det samme gjelder for Ny-Ålesund hvor konsentrasjonene er enda lavere.

Troposfæriske gasser

Grunnet forurensning, vulkanutbrudd, skogbranner eller lignende kan troposfærens konsentrasjoner av UV-absorberende gasser, som for eksempel svoveldioksid (SO_2), nitrogen-dioksid (NO_2) og bakkenært ozon (O_3), nå opp i størrelsesordener som gjør at de bidrar til merkbare endringer i UV-strålingen som måles ved bakken (Bais & Lubin, 2007). Over Norge forekommer dette sjelden.

Luftmolekyler

Luftmolekyler som N_2 og O_2 sprer UV-stråling tilnærmet isotropt gjennom Rayleigh spredning, hvilket betyr at deler av solstrålingen ikke vil nå ned til bakken, men vil bli spredd tilbake (Dahlback, 2008). Jo tykkere atmosfære strålene må passere, jo sterkere vil denne effekten være. Dette betyr at UV-strålingen som måles ved bakken på steder som ligger ved havoverflaten forventes å være lavere enn for steder ved flere tusen meters høyde. Dahlback et al. (2007) målte at erytemvektet UV-doserate i Tibet avtok med mellom 7% og 8% per kilometer oppover i atmosfæren.

Historisk utvikling

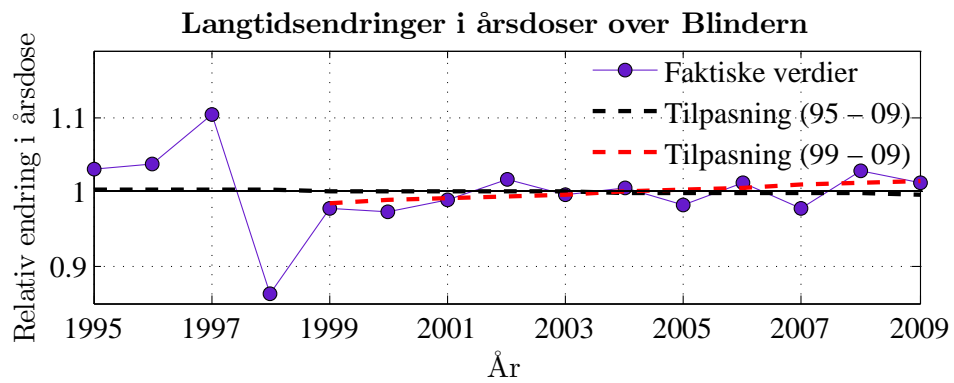
Den mest markante langtidsendringen i erytemvektet UV-doserate ved bakken de siste tiårene har funnet sted over polare strøk, og da spesielt over Antarktis (Engel, Krüger, O'Doherty & Sturges, 2007). Disse endringene er forårsaket av en reduksjon av ozonlaget (Engel et al., 2007). På 70-tallet ble det kjent at utslipp av en

rekke klor- og bromholdige gasser bryter ned ozon når de kommer opp i stratosfæren (Solomon, 1999). Disse gassene ble hyppig brukt i blant annet kjøleskap og spraybokser grunnet deres lave reaktivitet, men i stratosfæren, hvor tilgangen til energirik, kortbølget stråling er større, blir fotolytiske reaksjoner med disse gassene og ozon satt i gang (Solomon, 1999). For å hindre nedbrytningen av ozonlaget gikk en rekke land sammen i 1987 og undertegnet Montrealprotokollen som forplikter medlemslandene i å redusere produksjonen og utslippene av gasser som kan bryte ned ozonlaget (United Nations Environment Programme [UNEP], 2010). Protokollen har vært vellykket, men siden de ozonnedbrytende gassene har lang levetid i atmosfæren er det ikke ventet at de totale ozonmengdene i de hardest rammede områdene vil være tilbake til normalen før i 2060 (United Nations Environment Programme [UNEP], 2010).

Konsentrasjonene av de klor- og bromholdige gassene i stratosfæren over Antarktis hadde sitt toppnivå i 2002 (Engel et al., 2007), hvilket førte til et bunnivå i den totale ozonmengden i 2003 (Bais et al., 2007). Frem til dette året hadde den erytemvektede doseraten over Antarktis i følge en rekke modellberegninger steget med mellom 30% og 110% sammenliknet med referanseverdiene i 1960 (Bais et al., 2007).

Ved midlere breddegrader, altså ved breddegradene hvor vi blant annet finner Norge, nådde konsentrasjonene av de klor- og bromholdige gassene i stratosfæren sitt toppnivå i 1997 (Engel et al., 2007). Dette toppnivået gjenspeiles i tidsutviklingen til den totale ozonmengden da man her så en signifikant nedgang i perioden 1979-1997, mens man siden 1998 har sett tendenser til en økning (Myhre et al., 2011). Siden tidsperioden fra 1998 og frem til i dag er såpass kort, kan man ikke si med sikkerhet at dette er en langsiktig trend fremfor naturlige, årlige svingninger (Myhre et al., 2011).

Økningen i den totale ozonmengden siden 1998 har ikke vist seg i form av reduserte erytemvektede doserater i Norge (Johansen et al., 2011). En trendanalyse utført av Johansen et al. (2011) viser at målinger av erytemvektede årsdoser hos samtlige ti stasjoner i Norge viser en signifikant økning på mellom 2,0% og 10,2% mellom 1999 og 2009, men det påpekes også at man ved en liten justering av start- eller sluttår ville fått helt andre trendresultater, og at tidsperioden derfor er for kort til at man kan trekke konklusjoner. Ved å se på perioden mellom 1995 og 2009 ser man i Figur 2.7 at årsdosen på Blindern har avtatt, mens ved å se på perioden mellom 1999 og 2009 ser man at årsdosen har økt.



Figur 2.7: Relativ endring i erytemvektet årsdose over Blindern. De stiplede linjene angir lineærtillpasninger av dataene fra periodene 1995 til 2009, og 1999 til 2009. Tabellverdiene er hentet fra (Johansen et al., 2011)

Kapittel 3

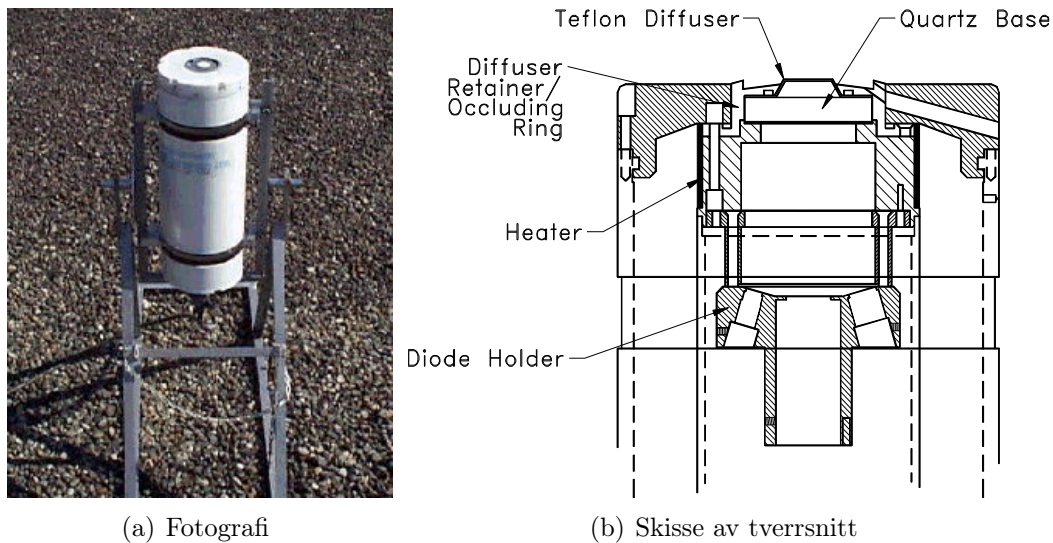
Instrumenter og modell

Ved å bruke strålingspektre fra spektralradiometre med høy bølgelengdeoppløsning har man kunnet estimere både total ozonmengde, skyers effekt på stråling, og erytemvektede UV-doserater (Stammes, Slusser & Bowen, 1991). Da disse instrumentene er dyre og krever omfattende vedlikehold og hyppig kalibrering trenger man et alternativ (Dahlback, 1996). Flerkanalsinstrumenter av typen GUV har vist seg å være gode alternativer. I 1996 utviklet Dahlback en metode som kan gi total ozonmengde, erytemvektede UV-doserater og informasjon om skydekket, bare med målinger av irradianser gjort med et flerkanalsinstrument. GUV-511 og GUV-541 er eksempler på slike flerkanalsinstrumenter.

3.1 GUV-511 og GUV-541

I Norge har vi et UV-nettverk bestående av totalt 12 GUV-instrumenter, hvor ett av disse står på Blindern, mens et annet står på Ny-Ålesund. Disse instrumentene har gjort målinger fra henholdsvis 15. februar 1994 og 2. juni 1995, med unntak av enkelte perioder hvor de har vært til kalibrering eller interkomparasjon, eller perioder med strømbrudd, dataproblemer eller lignende (Statens Strålevern [NR-PA], u.d.; Johansen et al., 2011).

GUV-instrumentene er bakkebaserte og måler irradians. De har fem kanaler, hvor fire av disse måler UV-stråling (Biospherical Instruments Inc, 2002). Instrumentene har også en femte kanal som hos GUV-511 måler fotosyntetisk aktiv stråling (PAR, 400 – 700 nm), mens hos GUV-541 måler UV-stråling med bølgelengde lik 313 nm (Biospherical Instruments Inc, 2002). Senteret til de fire første UV-kanalene ligger ved 305 nm, 320 nm, 340 nm og 380 nm, mens deres FWHM (full bredde, halv maksimum) er på cirka 10 nm (Dahlback, 1996). Instrumentet er temperaturstabilisert på 40°C, og oppløsningstiden er på ett minutt (Dahlback,



Figur 3.1: Figur 3.1(a) viser et fotografi av GUV-instrumentet som befinner seg på taket av kjemibygningen på Blindern i Oslo. Fotografiet er hentet fra (Department of Physics, University of Oslo, u.d.). Figur 3.1(b) viser en skisse av tverrsnittet til et GUV-instrument. Skissen er hentet fra (Inc., 1998)

1996).

Instrumentet på Blindern er av typen GUV-511 og er gjengitt i Figur 3.1(a), mens instrumentet på Ny-Ålesund er av typen GUV-541 og ser likedan ut. Et tverrsnitt av et GUV-instrument er illustrert i Figur 3.1(b), og under følger en liste over forklaringer til noen viktige deler på instrumentet.

- **Diffusor:** Denne befinner seg på toppen av instrumentet, er laget av teflon-dekket kvarts. Strålingen som treffer diffusoren består av en direkte komponent, altså stråling fra solen som ikke har blitt spredt på veien gjennom atmosfæren, og en diffus komponent, altså det motsatte. Diffusorens oppgave er å gjøre den direkte strålingen om til diffus stråling (Biospherical Instruments Inc, 2002). I følge cosinusloven skal den direkte strålingen som måles av instrumentet avta med cosinus til senitvinkelen, og dermed følge en cosinuskurve i løpet av en dag. Hvor godt et instruments målinger klarer å følge denne kurven kalles instrumentets cosinusrespons, mens avvikene kalles instrumentets cosinusfeil (Cordero, Seckmeyer & Labbel, 2008). Årsaken til at det er ønskelig å gjøre den direkte strålingen diffus er at cosinusfeilene ellers ville ha vært store ved store senitvinkler (A. Dahlback, 2013).
- **Temperaturstabilisator:** Denne sørger for at apparatet alltid holder den

samme temperaturen slik at målingene vil gjøres under de samme betingelsene og dermed vil være sammenliknbare. Ved å stille temperaturstabilisatoren inn på en såpass høy temperatur som 40°C unngår man også at instrumentdeler fryser fast, eller at vann og snø fryser på instrumentet og forstyrrer målingene.

- **Interferensfiltre:** Ved beregning av erytemvektede doserater er man bare interessert i stråling med bølgelengder i UV-regionen. Siden strålingen fra solen også består av stråling med andre bølgelengder, benyttes interferensfiltre som gjør slik at strålingen med bølgelengder vi ikke er interesserte i gjennomgår destruktiv interferens på vei gjennom filtrene (A. Dahlback, 2013). Følgelig vil spenningen som måles over detektorene til de ulike kanalene bare skyldes irradiansmålinger av UV-stråling. Interferensfiltrene befinner seg under diffusoren (A. Dahlback, 2013).

Beregning av erytemvektede dosesrater

I Likning (2.8) så vi at den erytemvektede doseraten er gitt som

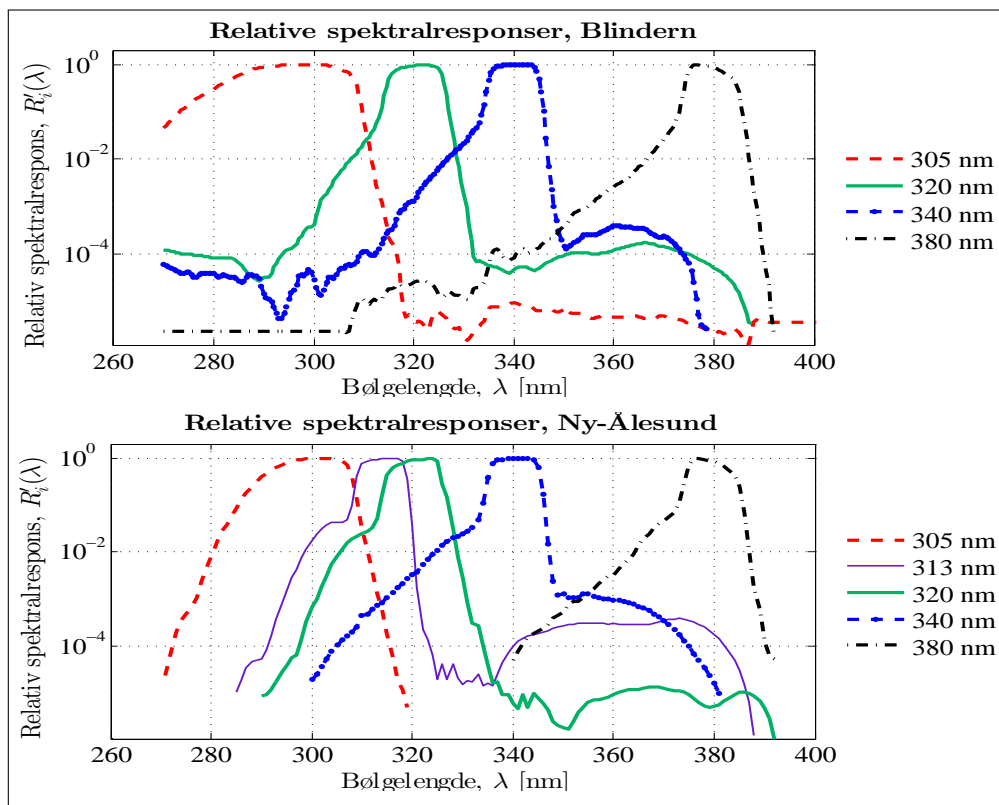
$$\frac{dD}{dt} = \int_{\lambda} A(\lambda)F(\lambda, t) d\lambda.$$

Med flerkanalsinstrumenter som GUV kan ikke dette uttrykket benyttes direkte siden man bare har M antall kanaler. I stedet benytter man følgende uttrykk

$$\frac{dD}{dt} \text{ approx} = \sum_{i=1}^M a_i V_i, \quad (3.1)$$

hvor V_i er spenningen som måles over detektoren til kanalnummer i når den blir bestrålt, mens a_i er vektingsfaktoren som tar hensyn til hvordan irradiansen målt hos kanalnummer i bidrar til den totale doseraten når man opererer med et gitt aksjonsspekter.

En metode for å finne disse vektingsfaktorene er beskrevet av Dahlback (1996), og går kort fortalt ut på å sette Likning (3.1) lik Likning (2.8), for så å løse uttrykket man får med hensyn på a_i . Siden man skal bestemme M antall verdier for a_i , trenger man M antall slike uttrykk. En grundig forklaring på hvordan dette gjøres finnes i (Dahlback, 1996). For å kunne løse disse M antall likningene, trenger man blant annet den relative spektralresponsen, $R'_i(\lambda)$, til de ulike kanalene. Dette er funksjoner som uttrykker hvor godt instrumentet responderer i form av spenning over detektoren når apparatet blir bestrålt av stråling med bølgelengde lik λ , sett i forhold til hva som ville ha vært tilfelle dersom bølgelengden hadde hatt verdien til



Figur 3.2: De relative spektralresponsene til UV-kanalene til GUUV-instrumentene på Blindern og Ny-Ålesund. Dataene er tilsendt fra (A. Dahlback, 2013), og er målt av Statens Strålevern på Østerås.

senteret for den gitte kanalen. De relative spektralresponsene varierer fra apparat til apparat. I Figur 3.2 er de relative spektralresponsene til GUUV-instrumentene på Blindern og Ny-Ålesund illustrert. Disse er implementert i et program som beregner doseratene fra apparatene.

Kalibrering

Når GUUV-instrumentet bestråles med UV-stråling, går det spenninger, V_i , over detektorene til de i antall kanalene. Jo høyere irradians instrumentet bestråles med, jo høyere vil spenningene være, men instrumentet må kalibreres for at vi skal kunne vite de kvantitative målene på hvordan denne sammenhengen er. Spenningen over detektoren til kanal nummer i er gitt som

$$V_i = \int_0^{\infty} R_i(\lambda)F(\lambda) d\lambda = \sum_{\lambda=0}^{\infty} R_{i\lambda}F_{\lambda}\Delta\lambda, \quad (3.2)$$

hvor $F(\lambda)$ er irradiansen til stråling med bølgelengden λ som instrumentet bestråles med, mens $R_i(\lambda)$ er den absolutte spektralresponsen til den i 'te kanalen (Dahlback, 1996). Sistnevnte forteller hvor stor andel av irradiansen med den gitte bølgelengden som treffer instrumentet som bidrar til spenningen over detektoren til kanalen. Under kalibrering er det $R_i(\lambda)$ -verdiene for det aktuelle instrumentet man vil finne.

Sammenhengen mellom de relative og de absolutte spektralresponsene til instrumentet er gitt som

$$R_i(\lambda) = k_i R'_i(\lambda) \quad (3.3)$$

(Dahlback, 1996). Man må altså kjenne til k_i -verdiene, samt de relative spektralresponsene til instrumentet, som for GUV-instrumentene på Blindern og Ny-Ålesund er gitt i Figur 3.2. Førstnevnte finner man ved løse Likning (3.3) med hensyn på k_i , gange teller og nevner med F_λ , summere opp teller og nevner over alle $\Delta\lambda$, for så å kombinere uttrykket man får i telleren med Likning (3.2). Da får man at

$$k_i = \frac{V_i}{\sum_{\lambda=0}^{\infty} R'_{i\lambda} F_\lambda \Delta\lambda}. \quad (3.4)$$

Ved å rette instrumentet mot en strålingsskilde, samtidig som et spektralradiometer også rettes mot den samme kilden, kan V_i leses av GUV-instrumentet, F_λ leses av spektralradiometeret, mens $R'_{i\lambda}$ hentes fra Figur 3.2 (Dahlback, 1996). Dermed får man k_i -verdiene som kan settes inn i Likning (3.3) for å finne de absolutte spektralresponsene til instrumentet.

Usikkerheter

Usikkerheten til de erytemvektede doseratene fra GUV-instrumentene varierer med blant annet senitvinkel, ozonmengde, skydekke og tid siden forrige kalibrering. Bernhard, Booth og Ehranjian (2005) fant ut at de erytemvektede doseratene som måles med GUV-instrumenter ved senitvinkler under 78° har usikkerheter under 5% dersom målingene sammenliknes med målinger gjort med et spektralradiometer. Dette stemmer overens med resultater gjort av Dahlback (1996) hvor erytemvektede doserater fra GUV-511 og et spektralradiometer ble simulert og sammenliknet ved ulike senitvinkler og ozonverdier. Dahlback (1996) fant ut at usikkerheten til erytemvektede doserater fra et GUV-instrument, sammenliknet med erytemvektede doserater fra et spektralradiometer, var under 5%, gitt at senitvinkelen er mindre enn 80° og den totale ozonmengden er over 200 DU.

Alle UV-nettverkets GUV-instrumenter kalibreres opp mot reisestandardinstrumentet GUV-9273 én gang i året, som igjen kalibreres gjenvilg opp mot et spekt-

Tabell 3.1: Usikkerhetsbudsjett for irradiansmålinger med et GUV-instrument. Alle usikkerhetene gjelder for 2σ -nivået, det vil si at det er 95,45% sannsynlighet for at usikkerhetene vil ha de gitte verdiene, eller lavere. Tabellen er hentet fra (Aalerud & Johnsen, 2006), men usikkerheten i absoluttkalibreringen av spektralradiometeret er korrigert ut ifra nyere data fra (Cordero, Seckmeyer, Pissulla et al., 2008).

Feilkilder	Usikkerhet [%]
Absoluttkalibrering av spektralradiometer	7
Drift mellom lampekalkibreringene, reisestandard	1
Drift mellom årlige kalkibreringer, GUV	2
Intensitetslinearitet	1
Møkk, slitasje og fuktighet	2
GUV-instrumentets temperatur	0,5
Total usikkerhet	8

ralradiometer av typen Bentham DM150BC (Johansen et al., 2011). Følgelig vil usikkerheten til de erytemvektede doseratene fra GUV-instrumentene også påvirkes av usikkerheten i absoluttkalibreringen til spektralradiometeret og av lampekalkibreringen av reisestandardinstrumentet. Under interkomparasjoner i 2005, 2009 og 2010 så man at spektralradiometeret Bentham DM150BC gav måleresultater som samsvarte med 1% innen 2σ -nivået med det internasjonale spektralradiometeret QASUME som brukes som reisestandardinstrument for flere nasjoner. QUASUME antas å ha en usikkerhet i absoluttkalibreringen på cirka 7% (Cordero, Seckmeyer, Pissulla, DaSilva & Labbe, 2008).

Mellom kalkibreringene vil kanalene ha drifter som øker usikkerheten (Aalerud & Johnsen, 2006; Høiskar et al., 2003). Dette tas hensyn til ved å anta at driftene oppfører seg lineært mellom kalkibreringene. Siden dette medfører at usikkerheten vil være lavest rundt kalkibreringstidspunktet, utføres kalkibreringen om sommeren (Høiskar et al., 2000), hvor innstrålingen er størst og en økning i usikkerheten kan gi store utslag sammenliknet med hva som ville ha vært tilfelle om vinteren.

Alle faktorene som bidrar til usikkerheten til de erytemvektede doseratene fra GUV-instrumentene er samlet i Tabell 3.1. Ved å ta kvadratroten av summen av kvadratene til hvert enkelt bidrag (altså finne RMS-verdien), får man at total usikkerhet for målingene gjort med GUV-instrumentet er på 8% innen 2σ -nivået.

Lagring av data

GUV-instrumentene sender informasjon direkte til datamaskiner på målestasjonene, som igjen lagrer informasjonen i døgnfiler og sammendragsfiler. Døgnfilene holder oversikt over måleresultatene fra hvert minutt apparatet har blitt bestrålt i løpet av et døgn, og et eksempel er skissert i Listing 3.1. Én linje i denne filen svarer til ett minutt. Sammendragsfilene, som er eksemplifisert i Listing 3.2, holder oversikt over midlede verdier fra en tidperiode på én time rundt midt på dagen, altså det tidspunktet hvor solen står høyest på himmelen. Filen holder også oversikt over integrert døgndose. Én linje i denne filen svarer til én dag.

Listing 3.1: Et eksempel på to rader i en døgnfil fra 10. juli 1995. Kolonnene holder oversikt over henholdsvis år, måned, dag, dagnummer (dager siden 1. januar + 1), klokkeslett (time, minutt og sekund), senitvinkel, erytemvektet dose rate, CMF (samme som clt) og total ozonmengde.

yyyy mm dd	jul	hh mm ss	SAZ [degrees]	dose rate [W/m ²]	clt [%]	Ozone [DU]
1995 7 10	191	10 53 0	38.05	0.8124E-01	57.5	321.8
1995 7 10	191	10 54 0	38.03	0.8085E-01	57.3	321.7

Listing 3.2: Et eksempel på to rader i en sammendragsfil fra juli 1995. Kolonnene holder oversikt over henholdsvis år, måned, dag, dagnummer, total ozonmengde, antall målinger i timen av ozonmengden, standardavviket til den totale ozonmengden, erytemvektet dose rate, CMF, høyest målte dose rate denne dagen og integrert erytemvektet dagsdose.

← averages →									Maximum	Integrated
yyyy mm dd	jul	o3 [DU]	no3	o3sig [DU]	dose rate [W/m ²]	clt [%]	dose rate [W/m ²]	daily dose [J/m ²]		
1995 7 9	190	313.9	60	0.8	0.5184E-01	92.47	0.5794E-01	0.2133E+04		
1995 7 10	191	307.2	60	0.4	0.3207E-01	54.91	0.3715E-01	0.1463E+04		

3.2 Strålingstransportmodellen

Modellen som benyttes heter `uv-spec` og er et Fortranprogram som er skrevet av Arne Dahlback. Modellen er basert på koden DISORT (Stamnes, Tsay, Wiscombe & Jayaweera, 1988) som bruker diskrete ordinaters metode til å løse strålingstransportlikningen (2.6). Diskrete ordinaters metode er en metode som ble utviklet av Chandrasekhar (1950) for å gjøre beregningene med strålingstransportlikningen mindre tidkrevende. Integralleddet (C) på høyre side av Likning (2.6) krever i utgangspunktet mye datakapasitet og tid for å løses siden man skal ta hensyn til innkommende stråling fra alle retninger. Med diskrete ordinaters metode erstattes integralet med en sum, og man ser følgelig bare på diskrete retninger. Radianansen fra disse retningene vektet ulikt, og tilsammen får man en tilnærming til den faktiske irradianansen. Jo flere retninger man ser på, jo bedre blir tilnærmingen, men

desto mer tidkrevende blir beregningene. Retningene man ser på kalles strømmer, og hvor mange av disse man velger å se på kan reguleres i programmet. Gjennom hele denne oppgaven settes antall strømmer til å være 8.

I modellen kan man regulere flere parametre enn antall strømmer. Under neste avsnitt følger en liste over parametre som kan bestemmes før programmet kjøres, mens i det påfølgende avsnittet er en liste over parametre som bestemmes via kommandovinduet når programmet kjøres.

Parametre som bestemmes før kjøring

- **Antall vertikale lag atmosfæren skal deles inn i:** Strålingstransportlikningen (2.6) løses for hvert av lagene. Løsningene fra omkringliggende lag benyttes som kontinuitetsbetingelser, mens løsningene for bakken og toppen av atmosfæren benyttes som grensebetingelser. Gjennom hele denne oppgaven deles atmosfæren inn i 81 vertikale lag.
- **Hvorvidt man skal inkludere Mie-spredning eller ikke:** Nå bølgelengden til strålingen som spres er veldig liten sett i forhold til størrelsen til spredepartikkelen, benytter man Mie-teori til å beskrive spredningen. Her vil spredningen typisk være sterkt fremoverrettet, og spredepartiklene antas å være sfæriske. Dersom man har skyer eller mye aerosoler i atmosfæren må Mie-spredning inkluderes siden skydråpene og aerosolene er såpass store sammenliknet med strålingen som treffer dem (Liou, 2002). Gjennom hele denne oppgaven inkluderes Mie-spredning.
- **Hvor stor asymmetrifaktoren skal være:** Asymmetrifaktoren er et mål på hvor fremoverrettet spredningen er, og er en del av fasefunksjonen som sier noe om i hvilke retninger spredningen vil skje. For luftmolekyler, hvor spredningen er cirka like stor i alle retninger, er asymmetrifaktoren lik 0, mens for større partikler som skydråper eller aerosoler kan den nå opp mot 1 dersom spredningen er fullstendig fremoverrettet. Asymmetrifaktoren som reguleres i programmet gjelder for skydråper og aerosoler. Dersom fasefunksjonen er ukjent, benyttes Henyey Greensteins fasefunksjon, en funksjon som ikke har rot i virkeligheten, men som har vist seg å fungere godt og som er enkel å jobbe med siden den eneste parameteren man trenger å sette inn er asymmetrifaktoren. Gjennom hele denne oppgaven settes asymmetrifaktoren til å være lik 0,85.
- **Hvorvidt man skal ta i bruk Delta-metoden eller ikke:** Å løse Strålingstransportlikningen (2.6) i tilfeller hvor vi har skyer eller aerosoler byr på problemer da disse vil utføre en veldig sterkt fremoverrettet spredning.

En slik spredning krever at fasefunksjonen blir ekspandert i flere titalls ledd. Siden antall strømmer man velger å se på må være større eller lik antall ledd fasefunksjonen ekspanderes i, vil en sterkt fremoverrettet spredning kreve flere titalls strømmer, som igjen vil kreve mye datakapasitet. I slike tilfeller kan man ta i bruk Delta-metoden, hvor man behandler deler av den fremoverrettede spredningen som uspredd og dermed får en mindre isotropisk fasefunksjon som lettere lar seg ekspandere med færre ledd. Som kompensasjon for mindre fremoverrettet spredning må man erstatte den optiske tykkelsen τ til skyen med en skalert optisk tykkelse $\hat{\tau}$ som er lavere enn utgangspunktet når beregningene med strålingstransportmodellen skal utføres (Liou, 2002). Modellen *uv-spec* utfører konverteringen mellom den faktiske og den skalerte optiske tykkelsen slik at brukeren setter inn den faktiske optiske tykkelsen ved kjøring av modellen dersom skyer skal inkluderes.

- **Hvorvidt man skal se på atmosfæren som sfærisk eller planparallel:** I en planparallel atmosfære antar man at de atmosfæriske parametrene bare varierer i vertikalen. Denne forenklingen gjør beregningene mindre tidkrevende, men for senitvinkler større enn 82° vil denne forenklingen gi såpass store feil siden strålenes tilbakelagte strekning gjennom hvert vertikale lag vil være såpass forskjellig fra tykkelsen til laget siden strålen penetrerer inn på skrå, hvilket vil føre til store horisontale forskjeller. I disse tilfellene tar modellen hensyn til jordens krumning ved hjelp av såkalte sfæriske korreksjoner, beskrevet av Dahlback og Stammes (1991). Gjennom hele denne oppgaven settes atmosfæren til å være planparallel, da senitvinkler større enn 82° unngås.
- **Hvilke profiler og spektre man skal benytte:** Verikalprofilene for temperatur og trykk som benyttes i modellen er av typen *US Standard Atmosphere*, med vertikale steg på 1 km (United States Committee on Extension to the Standard Atmosphere, 1976). Denne atmosfæreprofilen forteller også hvordan ozonkonsentrasjonen fordeler seg i vertikalen. Hvordan modellen tar hensyn til ozons varierende absorpsjonstverrsnitt med bølgelengden er gitt i Figur 2.1 (Molina & Molina, 1986). Strålingsspekteret for innkommende stråling ved toppen av atmosfæren er av typen ATLAS-3, og gir irradianser mellom 270 nm og 420 nm med en oppløsning på 1 nm (National Aeronautics and Space Administration [NASA], 1994). Alle disse profilene og spektrene kan endres ved å bytte ut filene, men dette ble ikke gjort i denne oppgaven.

Parametre som bestemmes under kjøring

Når programmet med modellen kjøres blir man bedt om å bestemme bølgelengdeintervall, senitvinkel, total ozonmengde, albedo, om man vil inkludere skyer eller

ikke, høyden til skybasen, høyden til skytoppen, skyens optiske tykkelse, dagnummer, samt hvorvidt man vil se på spektrale irradianser eller erytemvektede irradianser.

Kapittel 4

Metoder

4.1 Modellering av albedo

Det ble forsøkt å finne en sammenheng mellom bakkealbedoen og bakkeirradiansen til stråling med bølgelengde lik 340 nm. Fra nå av vil disse størrelsene bare omtales som albedo og irradians.

Fiktive dager

Modellen `uv-spec` ble benyttet til å modellere irradiansen på fiktive klarværsdager med dagnummer lik 105, senitvinkel lik 70° , ozonmengde lik 390 DU og albedoverdier mellom 0% og 100%, i steg på 5%.

Før modellen `uv-spec` ble satt til å kjøre, ble det bestemt at Delta-metoden ikke skulle benyttes. Et eksempel på hvordan irradiansen ble funnet når albedoen var lik 0% er illustrert i Listing 4.1. En slik kjøring gav en utfil med navnet `spect.out`, som er illustrert i Listing 4.2.

De modellerte irradiansene ble plottet mot albedoverdiene. I den samme figuren ble det også plottet en tilpasning på formen

$$F(A) = \frac{F(A=0)}{1 - AR^*}, \quad (4.1)$$

hvor $F(A)$ er irradiansen når albedoen er lik A , $F(A=0)$ er tilsvarende verdi når albedoen er lik null, mens R^* er andelen av den oppgående irradians som luftmolekylene sprer ned mot bakken igjen. I denne formelen skal både A og R^* oppgis i desimaltall, og ikke i prosent. Begrunnelse for valg av tilpasning finnes i diskusjonsdelen i Kapittel 5.

Verdien til R^* ble funnet ved å løse Likning (4.1) med hensyn på R^* , for så å beregne den gjennomsnittlige verdien til R^* for albedo- og irradiansparene som tidligere ble funnet ved modellering.

Listing 4.1: En illustrasjon av hvordan irradiansen ble funnet ved hjelp av modellen *uv-spec*. I linjene som avslutter med kolon ber programmet brukeren om å angi ulike verdier. Tallene i de påfølgende linjene angir disse verdiene som programmet spør etter.

```
[ihkarset@rfe uv-spek]$ ./uvclear
Spectral irradiances = 1, UVI = 2:
1
Start wavelength [nm] :
340
End wavelength [nm] :
340
Enter Solar Zenith Angle [degrees]:
70
Enter Total ozone column amount [DU]:
390
surface albedo:
0.00
include cloud layer?
yes = 1    no = 2
2
day number:
105
wait - working...
Output file: spect.out
Hit ENTER-key to end program
```

Listing 4.2: En illustrasjon av hvordan utfilen til kjøringen i Listing 4.1 så ut. Den totale irradiansen med den gitte bølgelengden er gitt nederst til høyre, under overskriften "Total".

```
[ihkarset@rfe uv-spek]$ more spect.out
Ozone [DU]: 390.00
Clear sky
plane parallel atmosphere
Solar Zenith Angle [degrees:] 70.00
Surface albedo:0.00
Day number: 105

          Spectral irradiances
          *****
Wavel  Direct      Diffuse      Total
[mm]   [W/nm/m^2]   [W/nm/m^2]   [W/nm/m^2]
340    0.4076E-01   0.1231E+00   0.1639E+00
```

Etter at sammenhengen mellom albedo og irradians var funnet, ble irradiansen gjort om til CMF-verdier. Disse CMF-verdiene ble plottet mot albedoen. Under beregningene av CMF-verdiene ble det antatt at CMF-verdien er 98% når man har sky- og aerosolfri atmosfære og albedo lik 5%. CMF-verdien for irradians lik

$F(A)$ og albedo lik A ble derfor beregnet slik:

$$CMF(A) = \frac{F(A)}{F(A = 0,05)} \cdot 98\%, \quad (4.2)$$

hvor $F(A = 0,05)$ er den modellerte irradiansen når albedoen er lik 5%. Likning (4.1) og Likning (4.2) ble slått sammen slik at man fikk en tilpasning til CMF som funksjon av albedoen på formen

$$CMF(A) = \frac{F(A = 0)}{F(A = 0,05)(1 - R^*A)} \cdot 98\%. \quad (4.3)$$

Denne tilpasningen ble plottet i samme figur som CMF- og albedoparene som tidligere ble funnet for de fiktive dagene.

Reelle dager

Albedoen ble modellert på utvalgte klarværsdager om senvinteren og våren på Blindern og Ny-Ålesund. Modelleringene ble gjort ved tidspunkt hvor senitvinkelen var lik $70^\circ \pm 1^\circ$. En klarværsdag ble definert som en dag hvor verdiene for CMF holdt seg stabile. Minstekriteriet for at en dag skulle defineres som en klarværsdag ble satt til å være at verdiene for CMF mellom tidspunktene 30 minutter før og 30 minutter etter modelleringstidspunktet skulle ha verdier i intervallet $[CMF_m - 1, CMF_m + 1]$, hvor CMF_m er CMF-verdien ved tidspunktet modelleringen ble gjort. En oversikt over dagene albedoen på Blindern ble modellert finnes i Tabell A.2, mens en tilsvarende oversikt for Ny-Ålesund finnes i Tabell A.3.

Albedoen på de utvalgte klarværsdagene ble funnet ved hjelp av iterasjon med modellen `uv-spec`. Parametrene som måtte bestemmes før kjøring ble satt til å være det samme som for modelleringene for de fiktive dagene. Deretter ble modellen satt til å kjøre med en tilfeldig valgt albedo, og med verdier for den gitte dagen og det gitte tidspunktet (hentet fra døgnfilene, se Tabell A.2 og Tabell A.3). Den modellerte irradiansen som da kom ut i filen `spect.out` ble sammenliknet med den målte irradiansen for det gitte tidspunktet. Hvis disse ikke samsvarte, ble modellen kjørt om igjen, men med en ny albedoverdi. Slik fortsatte det helt til den modellerte og den målte irradiansen samsvarte.

I døgnfilene fikk man ikke direkte ut den målte irradiansen til stråling med bølglengde lik 340 nm, men ved hjelp av CMF-verdiene fra disse filene ble de funnet ved å løse Likning (4.2) med hensyn på $F(A)$, for så å sette inn verdien for $CMF(A)$ fra Tabell A.2 og Tabell A.3, samt verdien til $F(A = 0,05)$. Sistnevnte ble funnet ved å kjøre modellen `uv-spec` for den gitte dagen og det gitte tidspunktet, men

med albedo lik 5%.

Når albedo- og CMF-parene var funnet, ble CMF-verdiene plottet mot albedoverdiene. Tilpasningen til $CMF(A)$, gitt i Likning (4.3), som ble funnet for de fiktive dagene ble plottet i samme figur.

De foregående modelleringene ble foretatt uten å ta hensyn til usikkerheten til irradiansmålingene. I Kapittel 3 så vi at usikkerheten til irradiansmålingene med GUV-instrumentet er på 8% innen 2σ -nivået. Her var usikkerheten på 7% fra absoluttkalibreringen inkludert. Ved å gjøre som i Likning (4.2), og anta at man ved sky- og aerosolfri atmosfære og albedo lik 5% har CMF-verdier på 98%, vil usikkerheten til absoluttkalibreringen erstattes med usikkerheten i antagelsen om CMF-verdien. Ved å anta at denne usikkerheten er lik null, vil man stå igjen med de resterende usikkerhetsbidragene fra Tabell 3.1, som tilsammen blir på 3%. Modelleringene av albedoverdier på klarværsdager på Ny-Ålesund ble derfor gjentatt, men nå ved å ta hensyn til en usikkerhet i irradiansmålingene på 3% innen 2σ -nivået. En oversikt over data fra dagene som ble benyttet i disse modelleringene finnes i Tabell A.4. Basert på disse nye modelleringene ble albedoverdiene med tilhørende usikkerheter for de ulike dagene plottet som funksjon av CMF. Tilpasningen til $CMF(A)$ som ble funnet for de fiktive dagene ved hjelp av Likning (4.3) ble løst med hensyn på A og plottet i samme figur.

4.2 Modellering av skyers optiske tykkelse

Det ble forsøkt å finne en sammenheng mellom CMF (definert ved Likning (4.2)) og skyers optiske tykkelse, τ . Det ble også forsøkt å se hvordan denne sammenhengen endrer seg med endret albedo.

Fiktive dager

Modellen `uv-spec` ble benyttet til å modellere irradiansen ved fiktive dager med dagnummer lik 105, senitvinkel lik 70° , ozonmengde lik 390 DU og verdier for optisk tykkelse mellom 0,0 og 20,0, med steg på 0,5. Det ble også antatt at skyen som bidro til den optiske tykkelsen var 1 km tykk og hadde skybase ved 2 km. Beregningene ble gjort for albedoverdien 5%, og for albedoverdier mellom 10% og 70%, med steg på 10%. Før modellen ble satt til å kjøre, ble det bestemt at Delta-metoden skulle benyttes.

De modellerte irradiansene ved de ulike albedoverdiene ble omgjort til CMF-verdier ved hjelp av Likning (4.2), for deretter å bli plottet mot den optiske tykkelsen.

Tilpasninger til CMF-verdien som funksjon av den optiske tykkelsen ble funnet og plottet i samme figur som de modellerte CMF- og τ -parene. Tilpasningene var på formen

$$CMF(A, \tau) = \frac{F(A = 0, \tau)}{F(A = 0, 0.05, \tau = 0)} \cdot 98\%. \quad (4.4)$$

Begrunnelse for valg av tilpasning finnes i diskusjonsdelen i Kapittel 5.

De relative irradiansene for hver av albedoverdiene ble også plottet mot den optiske tykkelsen. De relative irradiansene, $R_F(A, \tau)$, ble definert som forholdet mellom irradiansen når den optiske tykkelsen hadde en annen verdi enn null, $F(A, \tau)$, delt på irradiansen når den optiske tykkelsen var lik null, $F(A, \tau = 0)$, ved den samme albedoverdien, ganget med 100%, altså:

$$R_F(A, \tau) = \frac{F(A, \tau)}{F(A, \tau = 0)} \cdot 100\%. \quad (4.5)$$

De relative irradiansene er altså CMF-verdier som utelukkende sier noe om skyens evne til å svekke irradians under de gitte forholdene.

Tilpasninger til den relative irradiansen som funksjon av den optiske tykkelsen ble funnet og plottet i samme figur som de tilsvarende modellerte verdiene. Tilpasningene var på formen

$$R_F(A, \tau) = \frac{F(A = 0, \tau)}{F(A, \tau = 0)(1 - AR^*(\tau))} \cdot 100\%, \quad (4.6)$$

Begrunnelse for valg av tilpasning finnes i diskusjonsdelen i Kapittel 5.

I Likning (4.6) vil $R^*(\tau)$ være andelen av den oppgående irradiansen fra bakken som luftmolekylene og skydråpene sprer ned til bakken igjen. For hver τ ble det funnet én verdi for $R^*(\tau)$. Dette ble gjort ved at man først løste Likning (4.6) med hensyn på $R^*(\tau)$. Deretter ble $R^*(\tau)$ beregnet for samtlige τ - og albedoverdier som det ble modellert med tidligere i dette delkapitlet. Et gjennomsnitt av de modellerte $R^*(\tau)$ -verdiene for hver enkelt τ -verdi ble satt til å representere $R^*(\tau)$ for den gitte optiske tykkelsen, uansett albedo.

Reelle dager

Den optiske tykkelsen på utvalgte dager med overskyet himmel over Ny-Ålesund ble modellert med *uv-spec*. Hver av dagene som ble valgt var enten dagen før

eller dagen etter en av klarværsdagene hvor albedoen ble funnet i delkapittel 4.1. Under modelleringene ble det antatt at albedoen var lik albedoen som ble funnet på den nærliggende klarværsdagen. Det ble også antatt at skyen som bidro til den optiske tykkelsen var 1 km tykk og hadde skybase ved 2 km. Ellers ble verdiene fra døgncifrene for de utvalgte dagene benyttet da modellen ble satt til å kjøre. CMF-verdiene ble benyttet for å finne irradiansmålingene for stråling med bølgelengde lik 340 nm. Av samme begrunnelse som i delkapittel 4.1 ble det her tatt hensyn til en usikkerhet på 3% innen 2σ -nivået. Irradiansene til stråling med bølgelengde lik 340 nm ble funnet ved hjelp av CMF-verdiene på samme måte som for de fiktive dagene. I Tabell A.8 finnes en oversikt over de utvalgte dagene med tilhørende verdier. De optiske tykkelsene ble funnet ved hjelp av iterasjon, på samme måte som albedoen ble funnet for de reelle dagene i delkapittel 4.1.

De modellerte optiske tykkelsene for hver av dagene ble plottet i hver sin figur mot de relative irradiansene, definert i Likning (4.5). I de samme figurene ble også tilpasningene til de optiske tykkelsene som funksjoner av de relative irradiansene for de aktuelle albedoverdiene fra dagene på Ny-Ålesund plottet.

4.3 Analyse av langtidsendringer i erytemvektede doser og doserater

Års- og månedsutviklinger for UV-strålingen ved bakken på Blindern og Ny-Ålesund ble funnet og studert. Strålingen ble vektet med CIE-spekteret for å få erytemvektede doser og erytemvektede doserater. Av ren forenkling blir disse bare omtalt som doser og doserater videre i oppgaven.

Integrerte årstdoser

Langtidsendringer i integrerte årstdoser ble funnet ved å studere sammendragsfilene fra Blindern og Ny-Ålesund fra henholdsvis 1995 - 2012 og 1996 - 2012. Dager som enten var fraværende i filene eller hadde urealistiske verdier for døgndosen ble talt opp og skrevet til en tabell. Døgndosen ble vurdert som urealistisk dersom minst ett av følgende kriterier var innfridd:

- Verdi over 10^5 .
- Verdi lik null (Gitt at vi ikke ser på dager på Ny-Ålesund hvor det er mørketid).
- Negativ verdi.

- Negativ doserate.
- Doserate lik $99,9 \text{ Wm}^{-2}$. (Programmet er stilt inn slik at den setter doseraten lik $99,9 \text{ Wm}^{-2}$ dersom måledata mangler)
- CMF-verdi lik $-99,9\%$. (Programmet er stilt inn slik at den setter CMF-verdien lik $-99,9\%$ dersom måledata mangler).

Disse dagene ble tilordnet verdier for døgndosen ved hjelp av lineær interpolasjon. I neste avsnitt følger et eksempel på hvordan dette ble gjort.

I Listing 4.3 ser man at 31. august og 1. september i 2012 mangler i sammendragsfilen for Blindern. Ved å bruke verdiene for 30. august og 2. september får man at døgndosen D for en manglende dag kan tilpasses ved

$$D = 1602 + \frac{1333 - 1602}{3}x, \quad (4.7)$$

hvor x er antall dager etter 30. august.

Listing 4.3: Et utdrag fra sammendragsfilen for Blindern som illustrerer at data fra enkelte dager kan mangle i filene.

yyyy mm dd	jul	averages						Maximum dose rate [W/m ²]	Integrated daily dose [J/m ²]
		o3 [DU]	no3 [DU]	o3sig [DU]	dose rate [W/m ²]	clt [%]			
2012 8 30	243	307.1	60	2.2	0.6485E-01	76.96	0.8996E-01	0.1602E+04	
2012 9 2	246	279.5	60	2.9	0.8244E-01	93.73	0.9779E-01	0.1333E+04	

Usikkerheten knyttet opp mot å erstatte en manglende verdi med en modellert verdi ved hjelp av interpolasjon ble funnet. Måten dette ble gjort på var at interpolerte verdier for samtlige dager i år 2006 (Blindern) ble sammenliknet med de faktisk målte verdiene. Det ble beregnet usikkerheter for tilfeller hvor alt fra én til femten dager etter hverandre måtte erstattes. Disse usikkerhetene ble benyttet når usikkerhetene til de månedsmidlede doseratene og CMF-verdiene skulle beregnes. Programmet som ble benyttet til disse beregningene heter `usikker_interpol_aar.py` og finnes i Listing B.1. Det ble også tatt hensyn til en usikkerhet på 8% for de integrerte årsdosene.

Samtlige døgndoser, både avleste og modellerte, ble for hvert av årene summert opp til å bli integrerte årsdoser. Gjennomsnittsverdier for hvert av stedene ble også beregnet. Deretter ble de relative årsdosene funnet ved at de integrerte årsdosene ble sammenliknet med gjennomsnittsverdiene. Disse ble plottet for de respektive tidsperiodene. I samme figur ble også en lineærtilpasning til de relative årsdosene plottet, både for hele tidsperioden, men også fra 1999 og frem til 2012.

Programmet som ble benyttet til å beregne de integrerte årsdosene over Blindern heter `aarsdose_blindern.py` og finnes i Listing B.2. Programmet `aarsplot_blindern.m` ble benyttet til den påfølgende plottingen, og finnes i Listing B.3. Tilsvarende program ble benyttet for Ny-Ålesund.

Månedsmidlede doserater og CMF-verdier

Langtidsendringer i månedsmidlede doserater og CMF-verdier ble funnet ved å studere døgnfilene fra Blindern og Ny-Ålesund fra henholdsvis 1995 - 2012 og 1996 - 2012. Månedene som ble studert var april, juni, juli, august og september. Mai ble ikke studert grunnet store fravær av data. For Ny-Ålesund ble ikke data fra 2005 tatt med i beregningene av samme årsak. Det ble prioritert å studere måneder om sommeren, sen vår og tidlig høst siden det er ved disse tidspunktene doseratene er størst. Endringer her kan følgelig få større konsekvenser enn endringer ellers i året, hvilket førte til at de valgte månedene ble vurdert til å være av størst interesse.

Månedsmidlene ble funnet ved at alle minuttmålingene fra og med kl. 10.50, til og med kl. 11.50 i løpet av én måned ble addert, for så dividert på antall målinger i dette tidsintervallet den gitte måneden. I utgangspunktet skulle klokkeslettene for start- og sluttid velges til å være 30 minutter før og etter det tidspunktet hvor solen stod høyest på himmelen. En gjennomsnittsverdi for dette tidspunktet for de valgte månedene var kl. 11.18 på Blindern og kl. 11.14 på Ny-Ålesund. Årsaken til at det heller ble valgt å se på målinger fra tidsintervallet fra og med kl. 10.50, til og med kl. 11.50 skyldtes at flere dager manglet data før kl 10.50.

Dager som enten var fraværende i filene, som hadde færre enn 50 målte verdier, eller som hadde urealistiske verdier i den tilhørende døgnfilen, ble talt opp, skrevet til en tabell, og tilordnet verdier på samme måte som for utviklingen av årsdosene. Dagene som ble vurdert som enten fraværende eller med urealistiske verdier var de samme som da utviklingen av årsdosene ble studert.

Usikkerheten knyttet opp mot å erstatte en manglende verdi med en modellert verdi ved hjelp av interpolasjon ble funnet. Måten dette ble gjort på var at interpolerte verdier for samtlige dager i månedene juni 2003 (Blindern), juni 2010 (Blindern), april 2000 (Ny-Ålesund) og september 2002 (Ny-Ålesund) ble sammenliknet med de faktisk målte verdiene. Det ble beregnet usikkerheter for tilfeller hvor alt fra én til femten dager etter hverandre måtte interpoleres. Disse usikkerhetene ble benyttet når usikkerhetene til de månedsmidlede doseratene og CMF-verdiene skulle beregnes. Det ble også tatt hensyn til en usikkerhet på 8% for de månedsmidlede doseratene og CMF-verdiene. Programmet som ble benyttet i disse beregningene var tilsvarende til programmet `usikker_interpol_aar.py` i Listing B.1.

Etter at månedsmidlene var funnet, ble gjennomsnittsverdiene for de respektive tidsintervallene for hver av månedene beregnet. Deretter ble de relative månedsmidlede doseratene og CMF-verdiene plottet for de respektive tidsperiodene. I samme figur ble også lineærtilpasninger til de relative månedsmidlede doseratene og CMF-verdiene plottet, og korrelasjonskoeffisientene til doseratene og CMF-verdiene ble beregnet.

Programmet som ble benyttet til disse beregningene for Ny-Ålesund heter `mondoserater_nyaaalesund.py` og finnes i Listing B.4. Programmet `mond_middel_NA.m` ble benyttet til den tilhørende plottingen, og finnes i Listing B.5. Tilsvarende program ble benyttet for Blindern.

Til slutt ble månedsmidlede satellittmålinger av den totale ozonmengden over Ny-Ålesund for måneden april beregnet for hvert av årene mellom 1997 og 2012. De relative månedsmidlede verdiene for den totale ozonmengden ble plottet for den respektive tidsperioden. Programmene som ble benyttet til disse beregningene finnes i Listing B.6 og i Listing B.7.

Kapittel 5

Resultater og diskusjon

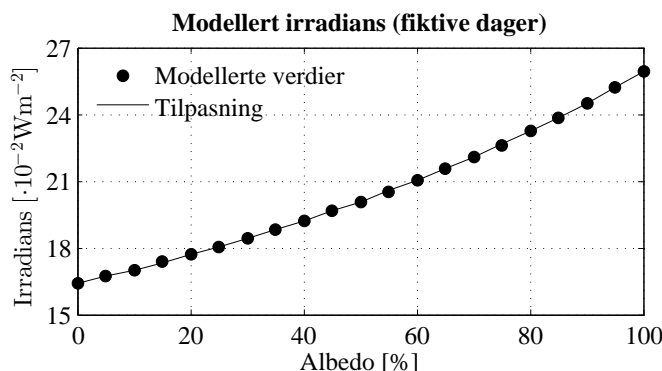
5.1 Albedo

Modellerte irradianser for fiktive dager, plottet mot albedoverdier mellom 0% og 100% finnes i Figur 5.1. Tilhørende tabellerte verdier finnes i Tabell A.1. I Figur 5.1 ser vi at irradiansen til stråling med bølgelengde lik 340 nm som måles ved bakken, øker når albedoen øker. Dette var å forvente siden en rekke studier (McKenzie & Paulin, 1998; Lenoble et al., 2004; Kylling et al., 2000) har vist at økt albedo gir økt nedgående irradians ved bakken da deler av den reflekterte strålingen vil gjennomgå Rayleighspredning hos luftmolekylene, for deretter å bli spredt ned til bakken igjen.

Figur 5.1 viser midlertidig ikke at albedoen og irradiansen er lineært avhengige av hverandre, men at en liten økning i albedoen, gitt en høy albedo, fører til en kraftigere økning i irradiansen enn hva som ville ha vært tilfelle ved en lavere albedo. Årsaken til dette antas å skyldes at noe av den spredte strålingen fra luftmolekylene som treffer bakken vil reflekteres opp, for så å bli spredt ned igjen av luftmolekylene. Dette er illustrert i Figur 5.2. De etterfulgte refleksjonene og spredningene vil kunne gå i det uendelige. $F(A)$, som måles ved bakken vil da være gitt som

$$F(A) = F(A = 0) (1 + AR^* + (AR^*)^2 + (AR^*)^3 + (AR^*)^4 + \dots), \quad (5.1)$$

hvor A er bakkens albedo, R^* er andelen av den oppgående irradiansen som luftmolekylene sprer ned mot bakken, mens $F(A = 0)$ er irradiansen man ville ha målt ved bakken dersom albedoen var lik null. Siden både A og R^* har verdier mellom 0 og 1, vil også AR^* ha verdi mellom 0 og 1, og følgelig kan Likning (5.1) skrives om ved hjelp av formelen til summen av en konvergent, geometrisk rekke. Dermed



Figur 5.1: Modellerte irradianser for fiktive klarværsdager med albedoverdier mellom 0% og 100%. Følgende parametre ble holdt konstante under modelleringene: dagnummer = 105, senitvinkel = 70° og ozonmengde = 390 DU. Den sorte kurven er tilpasningen i Likning (5.2).

får vi formelen for $F(A)$ som ble gitt i Likning (4.1), altså

$$F(A) = \frac{F(A=0)}{1 - AR^*}.$$

R^* ble funnet til å være $0,368 \pm 0,002$ (usikkerhet innen 2σ -nivået). Tilpasningen til irradiansen som funksjon av albedo som er plottet i Figur 5.1 er derfor gitt som

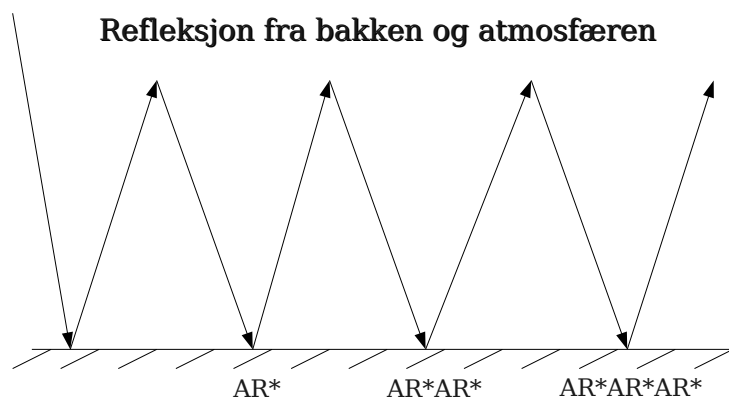
$$F(A) = \frac{0,1639}{1 - 0,368A}. \quad (5.2)$$

Ved å derivere Likning (4.1) med hensyn på A , får vi at

$$F'(A) = \frac{F(A=0)R^*}{(1 - AR^*)^2}. \quad (5.3)$$

Siden AR^* er et tall mellom 0 og 1 ser vi at $F'(A)$ alltid er positiv, og at en økning i albedo fører til en økning i $F'(A)$, hvilket forklarer hvorfor sammenhengen mellom A og $F(A)$ ikke er lineær.

Tilpasningen til irradiansen, $F(A)$, som funksjon av albedo, A , i Likning (5.2) som ble funnet ved å anta sprednings- og refleksjonsforløpet illustrert i Figur 5.2 ser ut til å stemme godt overens med de modellerte irradians- og albedoparene i Figur 5.1. Dette, samt at usikkerheten til den modellerte verdien til R^* var såpass liten, underbygger at Likning (5.2) er en god modell for hvordan irradiansen, $F(A)$, endres med albedo under de gitte forholdene for de fiktive dagene.



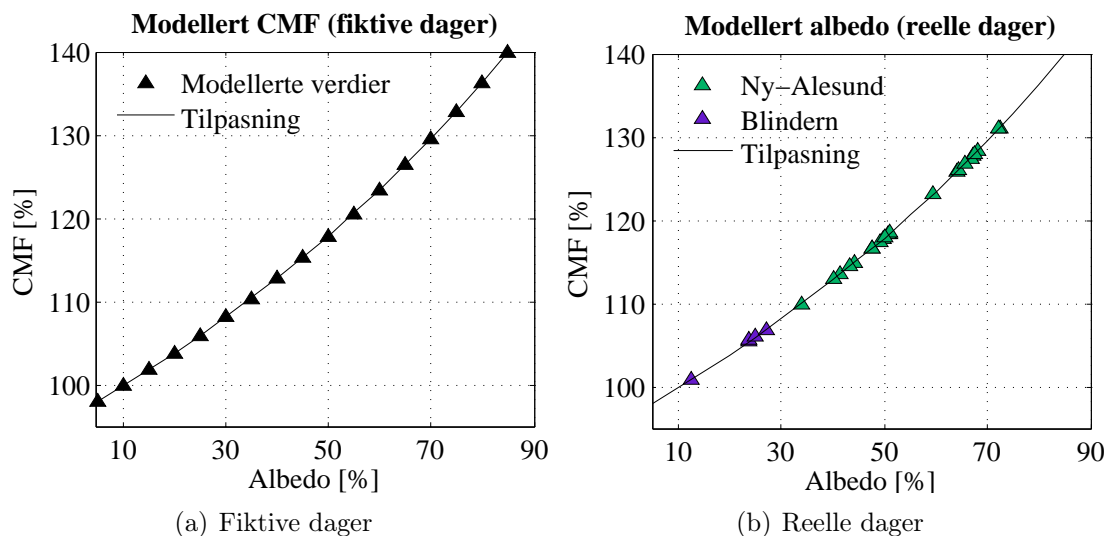
Figur 5.2: Illustrasjon av hvordan stråling treffer bakken, blir reflektert opp med albedoen A , for så å bli spredt ned igjen av luftmolekylene i atmosfæren med faktoren R^* .

Figur 5.3(a) viser de samme dataene som Figur 5.1, men her er irradiansverdiene gjort om til CMF-verdier. Disse CMF-verdiene er plottet mot albedoverdier mellom 5% og 90%. Tilhørende tabellerte verdier finnes i Tabell A.1. Figur 5.3(b) viser også modellerte CMF-verdier, plottet mot albedoverdier, men for reelle dager fra både Ny-Ålesund og Blindern. Tilhørende tabellerte verdier finnes i Tabell A.2 og i Tabell A.3. Fra Likning (4.3) og verdien til $F(A = 0)$ fra Tabell A.1 får vi at tilpasningen i Figur 5.3(a) og i Figur 5.3(b) er gitt som

$$CMF(A) = \frac{0,1639}{F(A = 0,05)(1 - 0,368A)} \cdot 98\%. \quad (5.4)$$

I Figur 5.3 ser vi at modellen for tilpasningene som ble funnet i Likning (5.4) ikke bare stemmer godt overens med CMF- og albedoparene som ble funnet for de fiktive dagene som ble benyttet til å finne modellen, men også for CMF- og albedoparene fra klarværsdagene på Blindern og Ny-Ålesund. Disse dagene hadde både andre dagnumre og andre verdier for ozonmengden enn hva som var tilfelle for de fiktive dagene, men modellen ser ut til å stemme veldig godt likevel. Dette underbygger at modellene i Likning (5.2) og i Likning (5.4) kan benyttes til å finne albedoen for andre dager enn de som ble benyttet til å lage modellen, både på Blindern og Ny-Ålesund.

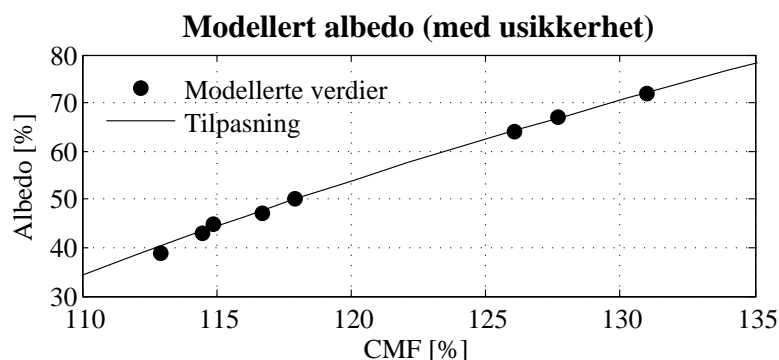
Verdiene til målingene fra dagene på Blindern og Ny-Ålesund som ble plottet i Figur 5.3(b) er få, godt spredt mellom 24. februar og 26. mai, og ujevnt fordelt mellom de to stedene. Det er derfor ikke mulig å konkludere med noe når det gjelder forskjellene i albedoverdiene mellom de to stedene. Vi kan likevel se at samtlige av målingene som ble benyttet fra Blindern viser en lavere albedo enn hva som er tilfelle for målingene fra Ny-Ålesund. Siden Ny-Ålesund ligger ved høyere breddegrader enn Blindern, så vi i Figur 2.4(b) at UV-strålingen som måles ved



Figur 5.3: Figur 5.3(a) viser modellert CMF for fiktive dager med $SZA = 70^\circ$, ozonmengde = 390 DU og dagnummer = 105. Figur 5.3(b) viser modellerte albedoverdier basert på målte CMF-verdier for klarværsdager på Blindern og Ny-Ålesund. Under modelleringene er det antatt at CMF-verdien er 98% ved skyfri himmel og albedo lik 5%. De sorte kurvene er tilpasningen i Likning (5.4).

bakken vil være lavere her. Dette vil også gjelde all annen stråling som kommer fra solen. Følgelig vil vintrene på Ny-Ålesund være lengre, og snøen vil forbli på bakken over en lengre periode. Ny-Ålesund og Svalbard er i tillegg et mindre bebygget sted enn Blindern og Oslo, og trær finnes det lite av der, hvilket betyr at det i hovedsak er snødekkede fjell og snødekket bakke som reflekterer strålingen fra sola. På Blindern har man mange flere mørke bygninger og trær. Følgelig vil man forvente lavere albedoverdier over Blindern enn Ny-Ålesund, hvilket man ser antydninger til i Figur 5.3(b).

Selv om modellene i Likning (5.2) og i Likning (5.4) ser ut til å være god, også for dager med ulike parameterverdier enn de fiktive dagene, er det ikke gitt at de modellerte albedoverdiene for Blindern og Ny-Ålesund i Tabell A.2, Tabell A.3 og Figur 5.3(b) viser de faktiske albedoverdiene for de gitte dagene. Årsaken til dette er at vi hittil ikke har tatt hensyn til usikkerhetene til irradiansmålingene. Siden CMF-verdiene er benyttet til å finne irradianverdiene, burde man ta hensyn til en usikkerhet på 3% innen 2σ -nivået, som forklart i delkapittel 4.1. Dette ble gjort for utvalgte klarværsdager, og resultatet finnes i Tabell A.4 og i Figur 5.4. Tilpasningen i figuren er den samme som i Likning (5.4), løst med hensyn på A . Vi ser at de modellerte albedoverdiene ligger tett opp mot tilpasningene. Fra Tabell A.4 ser vi at alle usikkerhetene til GUV-instrumentet fra Tabell 3.1, bortsett i



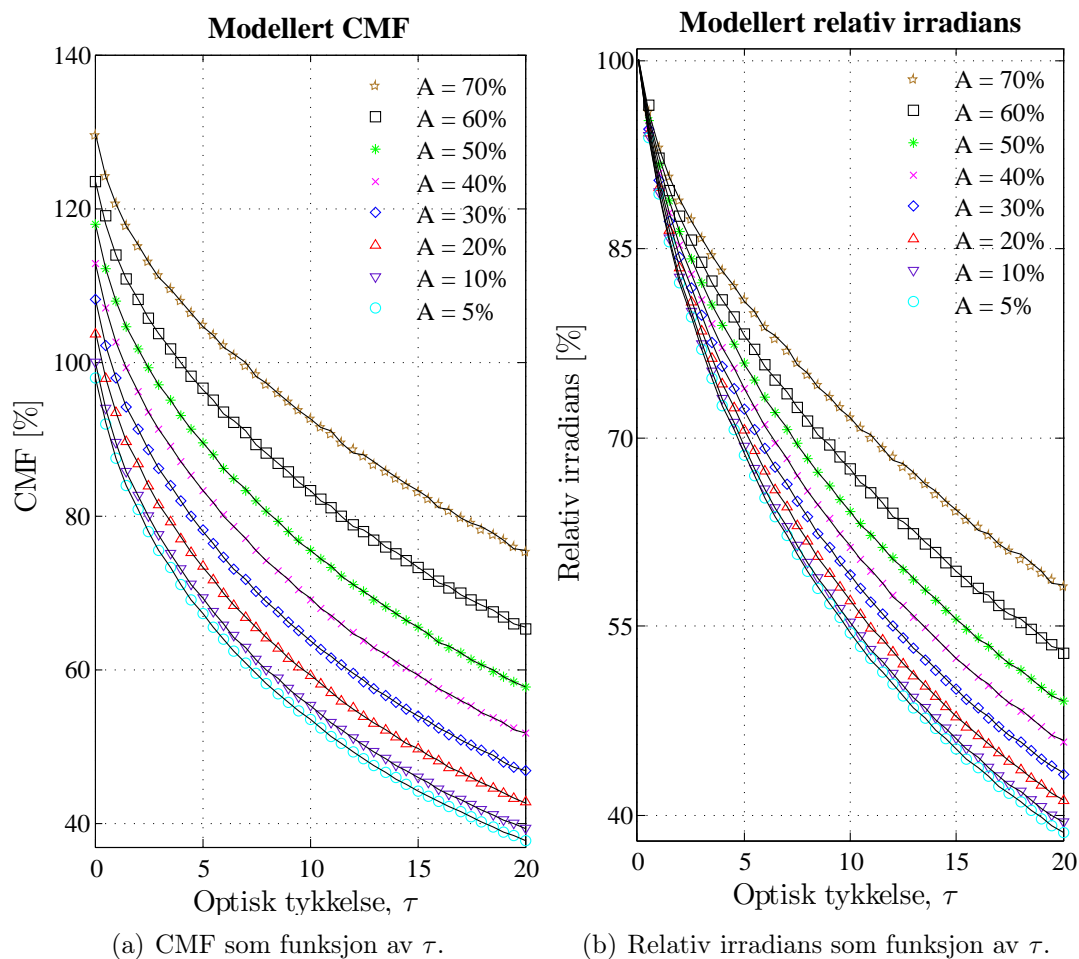
Figur 5.4: Modellerte albedoverdier for klarværsdager på Ny-Ålesund, basert på irradiansmålinger. De modellerte usikkerhetene til albedoverdiene stammer fra usikkerheten til CMF-verdiene på 3% innen 2σ -nivået. Under modelleringen er det antatt at CMF-verdien er 98% ved skyfri himmel og albedo lik 5%. Den sorte kurven er tilpasningen i Likning (5.2), løst med hensyn på A.

fra absoluttkalibreringen, bidrar til usikkerheter i albedoverdiene på mellom 6% og 7%. Da har man ikke tatt hensyn til usikkerhetene man får ved å si at man har CMF-verdier på 98% når albedoen er lik 5% og atmosfæren er sky- og aerosolfri. Denne antagelsen vil kanskje stå for det største usikkerhetsbidraget når albedoen skal modelleres. Selv om vi i Listing A.1 så at klarværsdagene 17. juni 2009 og 4. juni 2010 hadde CMF-verdier rundt 98%, betyr det ikke nødvendigvis at dette vil være tilfelle for alle andre dager med de samme forholdene på Blindern og Ny-Ålesund mellom 1995 og 2012.

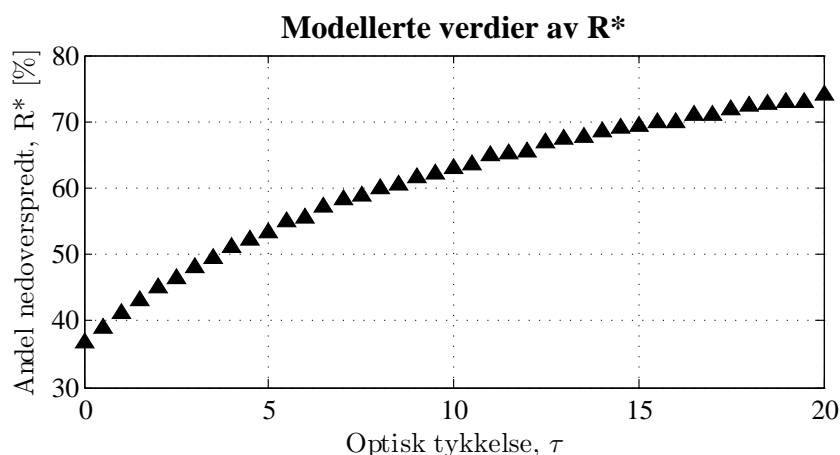
Ved å anta at albedoverdiene på Ny-Ålesund, presentert i Tabell A.3 og Figur 5.3(b), er tett opp mot de faktiske albedoverdiene på de gitte dagene, ser vi at verdiene strekker seg helt opp mot 72,42%. Dette svarer til en CMF-verdi på 131,1%, gitt at CMF defineres som i Likning (4.2). Sett i forhold til irradiansen man ville ha målt ved bar bakke med albedo på 5%, svarer dette til en økning i irradiansen på 33,8%. Sammenliknet med resultatene fra tilsvarende studier i Lauder, New Zealand ($45,04^{\circ}\text{S}$), presentert i delkapittel 2.2, ser vi at maksverdien som ble funnet over Ny-Ålesund er større.

5.2 Skyers optiske tykkelse

Figur 5.5(a) og Figur 5.5(b) viser hvordan henholdsvis CMF og relativ irradians (se Likning (4.5)) ved ulike albedoverdier varierer med den optiske tykkelsen. Tilhørende tabellerte verdier finnes i Tabell A.5 og i Tabell A.6. Vi ser at en økning i optisk tykkelse reduserer CMF-verdien. Dette var forventet siden deler av strålene



Figur 5.5: Modellerte verdier av CMF (Figur 5.5(a)) og relativ irradians (Figur 5.5(b)) når optisk tykkelse, τ , varierer mellom 0 og 20, og albedoen, A , varierer mellom 5% og 70%. Følgende parametre var konstante under modelleringene: skybase = 2 km, skytopp = 3 km, dagnummer = 105, $SZA = 70^\circ$ og ozonmengde = 390 DU. Under modelleringen er det antatt at CMF-verdien er 98% ved skyfri himmel og albedo lik 5%. De sorte linjene er tilpasninger på formen til henholdsvis Likning (4.4) og Likning (4.6).



Figur 5.6: Modellerte verdier av $R^*(\tau)$, altså hvor stor del av strålingen som treffer skyene og luftmolekylene nedenfra som blir spredt tilbake mot bakken igjen. Verdiene er funnet ved hjelp av Likning (4.6) og for albedo verdier 5% og albedo verdier mellom 10% og 70%, med steg på 10%.

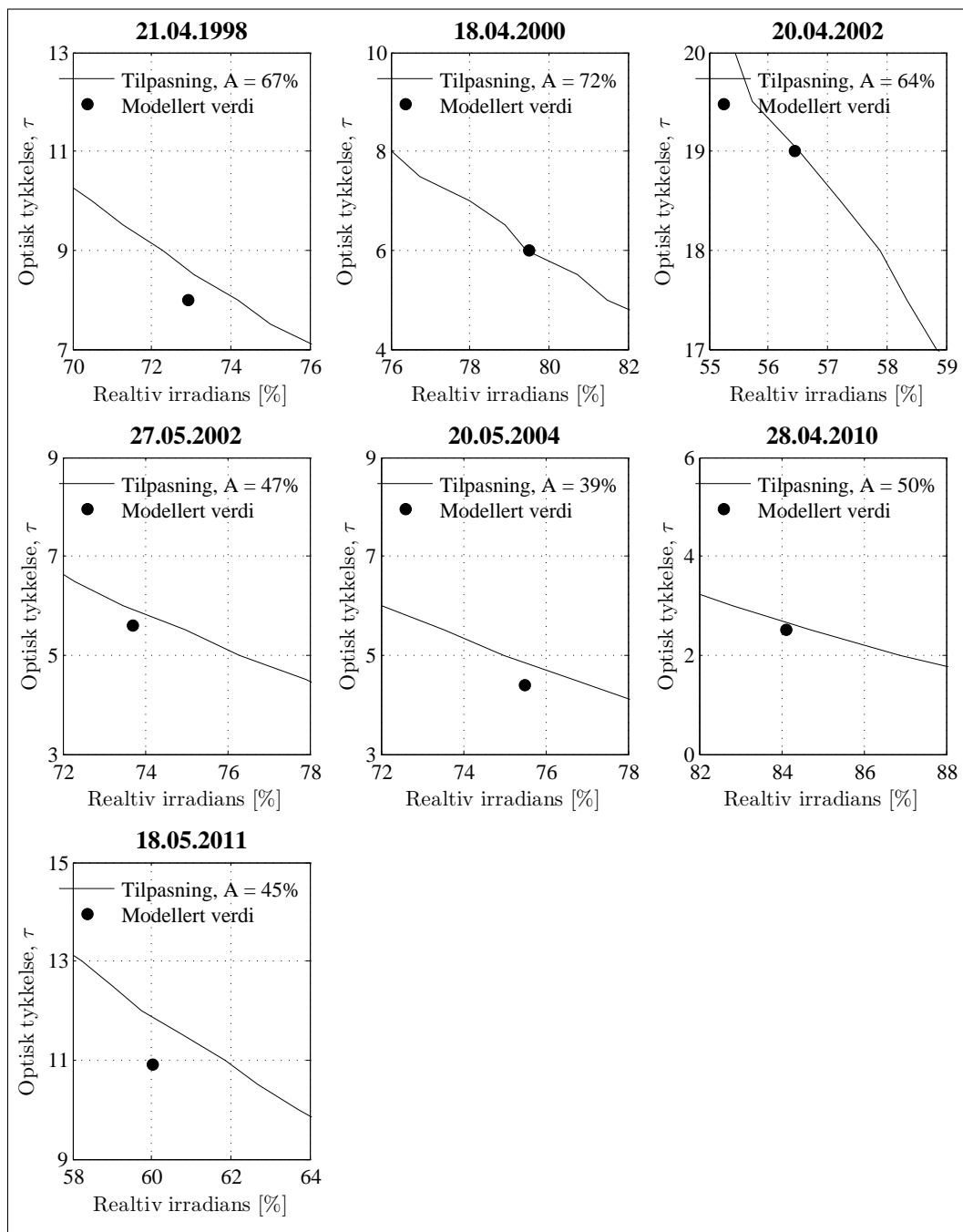
som treffer skyen ovenifra blir spredt tilbake igjen. I Figur 5.5(b) ser vi tydelig at skyenes innvirkning på irradiansen som måles ved bakken kommer an på bakkens albedo. Fra de tilhørende tabellene (Tabell A.5 og Tabell A.6) ser vi at en sky med optisk tykkelse lik 10 vil redusere irradiansen med 45,4% over en bakke med albedo lik 5%, mens den bare vil redusere irradiansen med 28,5% over en bakke med albedo lik 70%.

Årsaken til at skyene reduserer irradiansen mindre over en bakke med høy albedo, sett i forhold til en bakke med lav albedo, er at skyen ikke bare sprer opp igjen deler av den nedgående strålingen som treffer skytoppen, men den vil også spre ned igjen deler av den oppgående strålingen som treffer skybasen. Dette kommer tydelig frem i Figur 5.6, som viser hvor stor del, $R^*(\tau)$, av strålingen som treffer skyene og luftmolekylene nedenfra, som spres ned mot bakken igjen. Tilhørende tabellerte verdier med usikkerheter finnes i Tabell A.7. Her ser vi også at jo høyere optisk tykkelse, jo større andel av den oppgående strålingen fra bakken blir spredt ned igjen fra enten luftmolekylene eller skyene. Skyer over bakker med høy albedo vil altså ikke bare hindre stråling fra sola i å ned ned til bakken, men de vil også hindre reflektert stråling fra bakken i å spres videre oppover i atmosfæren.

Tilpasningene til CMF-verdiene på formen til Likning (4.4), og tilpasningene til de relative irradiansene på formen til Likning (4.6) er også plottet i Figur 5.5(a) og i Figur 5.5(b). Verdiene for $R^*(\tau)$ ble funnet ved å regne ut gjennomsnittsverdien til alle $R^*(\tau)$ -verdiene fra Tabell A.7 for den gitte optiske tykkelsen. Når man gjør

dette antar man at $R^*(\tau)$ -verdien ved den gitte optiske tykkelsen er konstant, uavhengig av variasjoner i albedoen. Fra Tabell A.7 ser vi at dette er en grei antagelse siden usikkerheten innen 2σ -nivået bare er mellom 0,1% og 3% da $R^*(\tau)$ ble satt til å være gjennomsnittet av $R^*(\tau)$ -verdiene for ni ulike albedoverdier mellom 0% og 70%. I Figur 5.5(a) og Figur 5.5(b) ser vi at tilpasningene fra Likning (4.4) og Likning (4.6) stemmer godt overens med de modellerte verdiene, hvilket tyder på at likningene er gode modeller for hvordan CMF-verdien og den relative irradiansen påvirkes av endringer i skyenes optiske tykkelse ved de gitte albedoverdiene. Siden vi tidligere har sett at $R^*(\tau)$ er tilnærmet lik konstant for en gitt optisk tykkelse, uavhengig av albedoen, vil disse modellene også kunne benyttes for andre albedoverdier mellom 0% og 70%. Fra Figur 5.5(a) og Figur 5.5(b) ser vi at tilpasningene er bedre jo lavere albedo vi har, og at de blir mer hakkete med økt albedo. Årsaken til at tilpasningene er såpass hakkete, skyldes at de bare har blitt beregnet med en oppløsning på 0,5 for τ -verdiene, men det likevel usikkert om tilpasningene vil være egnet for albedoverdier høyere enn 70%.

Figur 5.7 viser modellerte optiske tykkelser for utvalgte dager på Ny-Ålesund. De optiske tykkelsene er plottet mot relative irradiansverdier, gitt i Likning (4.5). Tilhørende tabellerte verdier finnes i Tabell A.8. I samme figur ser man også tilpasninger til den optiske tykkelsen som funksjon av den relative irradiansen for de aktuelle albedoverdiene fra dagene på Ny-Ålesund. Vi ser at de modellerte optiske tykkelsene stemmer overens med tilpasningene fra Likning (4.6), selv om det her er snakk om andre dagnumre og andre ozonmengder, hvilket tyder på at modellen i Likning (4.6) er god.



Figur 5.7: Modellerte verdier av den optiske tykkelsen, τ , på utvalgte overskyede dager på Ny-Ålesund. Usikkerhetene til τ -verdiene stammer fra usikkerheten til CMF-verdien på 3% innen 2σ -nivået. Under modelleringene har det blitt antatt at albedo verdien er den samme som dagen før eller dagen etter, og at CMF-verdien er definert slik at den ville ha vært 98% ved albedo lik 5% og sky- og aerosolfri atmosfære. De sorte kurvene er tilpasningen i Likning (4.6), løst med hensyn på τ .

5.3 Langtidsendringer i doser og doserater

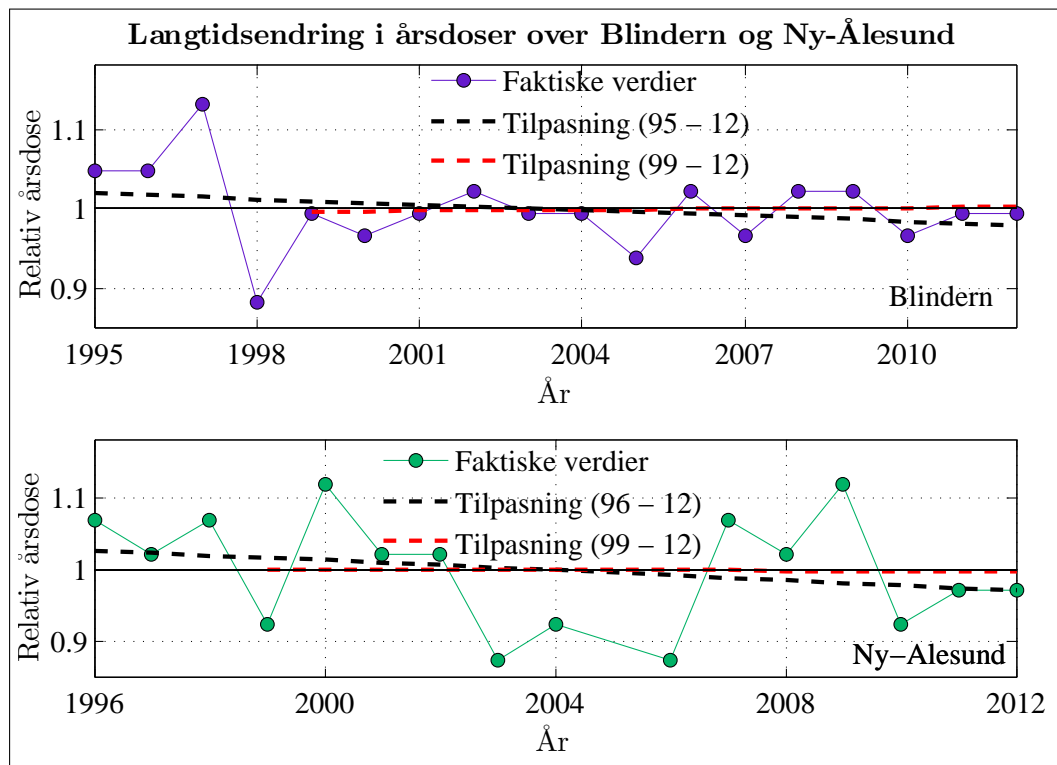
Komplettering av manglende måledata

Tabell A.9 holder oversikt over hvor store feil man må regne med når man benytter lineær interpolasjon til å finne døgndosene på dager som mangler data i sammendragsfilene. Vi ser at feilene som gjøres øker når antall manglende dager på rad øker. Ved én manglende dag i sammendragsfilen var feilen på $28\% \pm 4\%$, mens den for 10 dager på rad var på $50\% \pm 20\%$.

Tabell A.10 viser en oversikt over dagene som enten hadde urealistiske eller manglende verdier i sammendragsfilene. Vi ser at det i hovedsak er under ti dager hvert år som må tilordnes verdier for døgndosen. Ved å se for seg et scenario hvor den integrerte årsdosen er på $360\,000 \text{ Jm}^{-2}$, hvor ti dager spredt utover hele året mangler, og at disse dagene bidrar hver og én til $\frac{1}{365}$ av den integrerte årsdosen, vil disse ti dagene totalt bidra med en dose på 9863 Jm^{-2} . Dersom disse dosene har blitt tilordnet ved hjelp av interpolasjon vil de tilsammen bidra med en usikkerhet på $\sqrt{10} \cdot \left(\frac{9863}{10} \cdot (0,28 + (2 \cdot 0,04))\right) = 1123 \text{ Jm}^{-2}$ innen 2σ -nivået. Dette utgjør bare $0,3\%$ av den integrerte årsdosen. For tilsvarende scenario, men hvor de ti dagene ligger etter hverandre, får man at dagene tilsammen bidrar med en usikkerhet på 2807 Jm^{-2} , som utgjør $0,8\%$ av den integrerte årsdosen.

Når usikkerheten til den integrerte årsdosen som følge av usikkerheten til GUV-instrumentet er på 8% , ser vi at usikkerheten som skyldes komplettering av manglende måledata er neglisjerbar. I et tilsvarende studie av Johansen et al. (2011) ble kompletteringen av manglende måledata gjort ved hjelp av kompliserte modellsimuleringer. For år hvor det er store hull i sammendragsfilene, som for eksempel i 2005 hvor blant annet FARIN-kampanjen bidro til at 90 dager med måledata fra Ny-Ålesund og 27 dager med måledata fra Blindern gikk tapt, er det nødvendig med slike modellsimuleringer. Det samme vil gjelde dersom man har år hvor flere dager om sommeren med høyt bidrag til den integrerte årsdosen mangler. For årene ellers ser det ut til at bruk av lineær interpolasjon og data fra nærliggende dager er mer enn godt nok siden usikkerheten til GUV-instrumentet vil dominere.

Tabell A.12 holder oversikt over hvor store feil man må regne med når man benytter lineær interpolasjon til å finne doseratene på dager som enten er fraværende i døgnsfilene, eller har urealistiske verdier. Vi ser at disse feilene er lavere enn for komplettering av måledata for sammendragsfilene (se Tabell A.11), og dermed vil samme tankegang og konklusjon som for sammendragsfilene angående bruk av lineær interpolasjon også gjelde for døgnsfilene.



Figur 5.8: Langtidsendringer i relative erytemvektede årsdoser fra Blindern og Ny-Ålesund for henholdsvis tidsperiodene 1995 - 2012 og 1996 - 2012. De sorte, stiplede linjene viser lineærtilpasninger for hele perioden, mens de røde viser lineærtilpasninger for perioden 1999 - 2012.

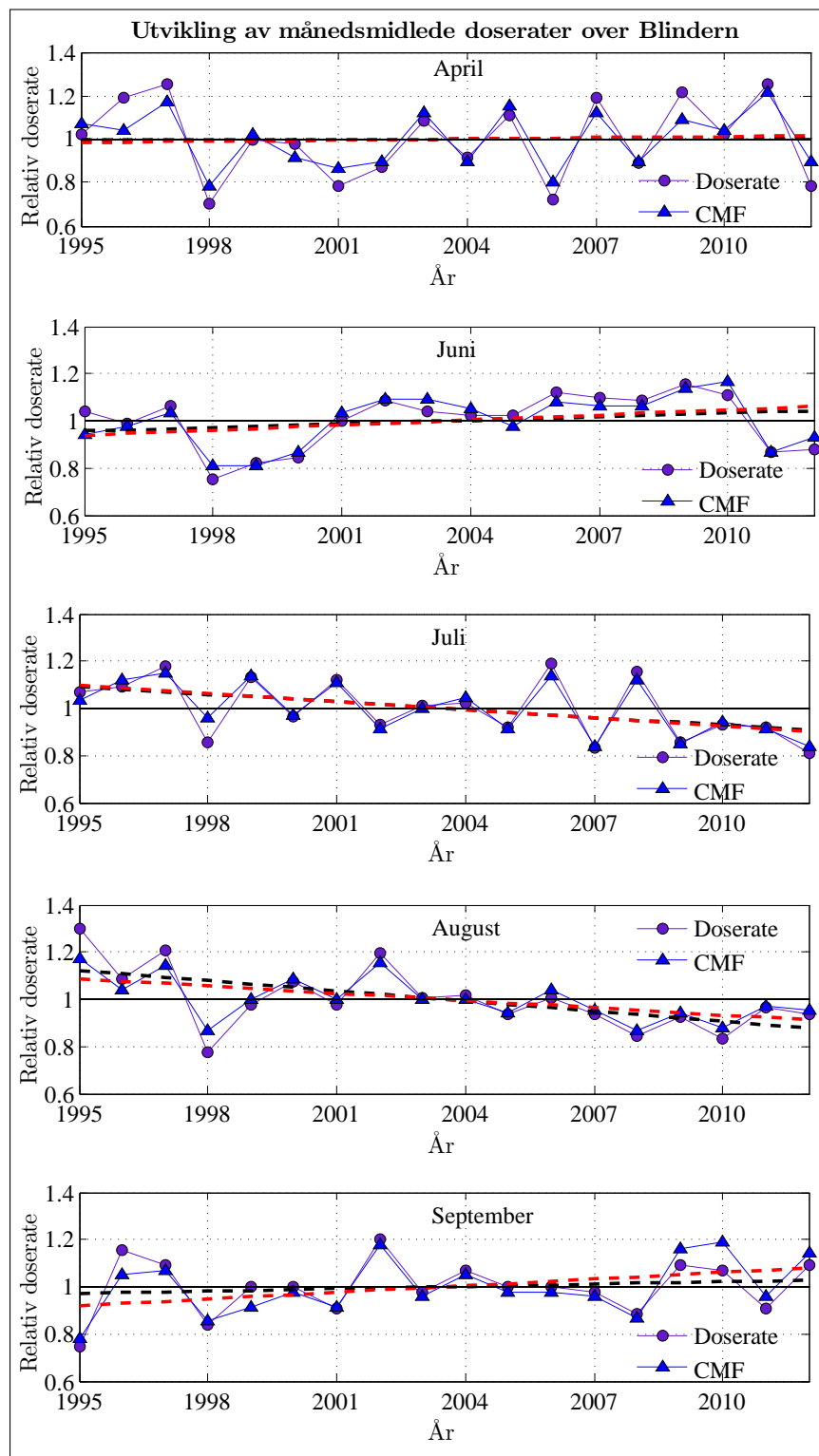
Integrerte årsdoser

Plottene i Figur 5.8 viser hvordan årsdosene på Blindern og Ny-Ålesund har endret seg frem til og med 2012, fra og med henholdsvis 1995 og 1996. Figurene viser også hvordan lineærtilpasninger til dataene for hele tidsperioden ser ut, samt lineærtilpasninger fra perioden 1999 - 2012. For hele tidsperioden viser lineærtilpasningene en nedgang på 4,1% på Blindern og 5,5% på Ny-Ålesund. Ved å bare se på disse tallene kan det se ut som om langtidsendringene i årsdosene gjenspeiler tendensen man har sett til en økning av tykkelsen til ozonlaget siden 1998 (Myhre et al., 2011). Ved å se på endringen til årsdosene siden 1999 ser man midlertidig ikke det samme. Her viser lineærtilpasningene en økning på 0,6% på Blindern og en nedgang på 0,3% på Ny-Ålesund. Denne tidsperioden ble valgt fordi fluktasjonene i de integrerte årsdosene for denne perioden, spesielt på Blindern, så ut til å være lavere enn for andre perioder. Fra Tabell A.18 ser vi at usikkerhetene til stigningstallene til lineærtilpasningene som representerer samtlige av de diskuterte trendene har større tallverdier enn stigningstallene selv. Følgelig er ingen av de diskuterte trendene statistisk signifikante, og vi kan hverken konkludere med at årsdosene har økt eller avtatt for de aktuelle tidsperiodene, hverken på Blindern eller Ny-Ålesund.

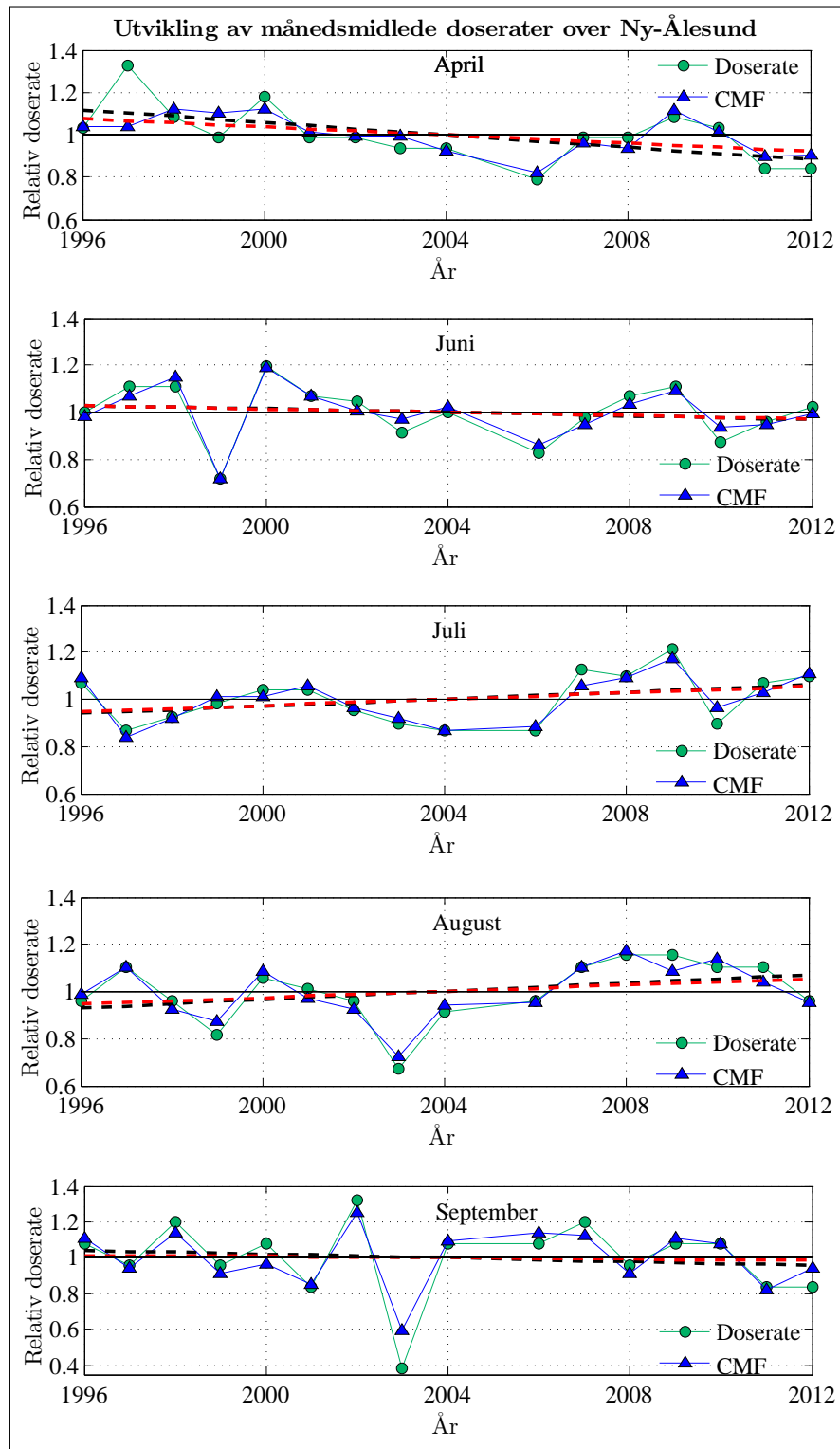
Månedsmidlede doserater og CMF-verdier

Figur 5.9 viser hvordan de månedsmidlede doseratene og CMF-verdiene for utvalgte måneder har endret seg på Blindern fra og med 1995 og frem til og med 2012. Figur 5.10 viser det samme for Ny-Ålesund, men fra og med 1996. Figurene viser også hvordan lineærtilpasninger til de månedsmidlede doseratene (sort linje) og CMF-verdiene (rød linje) for hele tidsperioden ser ut. Fra tilpasningene i Figur 5.9 ser det ut til at de månedsmidlede doseratene på Blindern har avtatt siden 1995 i sommermånedene juli og august, mens de har økt i april, juni og september. I Figur 5.10 ser det ut til at vi har det stikk motsatte tilfellet på Ny-Ålesund, hvor de månedsmidlede doseratene har økt i juli og august, og avtatt i april, juni og september. Fra lineærtilpasningene til CMF-verdiene ser vi den samme tendensen for begge stedene, for samtlige av månedene.

I Tabell A.19 finnes en oversikt over hvor store prosentvise økninger og nedganger lineærtilpasningene i Figur 5.9 og i Figur 5.10 viser at doseratene og CMF-verdiene har hatt i tidsperiodene 1995 - 2012 og 1996 - 2012 på henholdsvis Blindern og Ny-Ålesund. Her har det ikke blitt tatt hensyn til usikkerheter i beregningene av stigningstallene til lineærtilpasningene. Tabell A.20 viser en oversikt over disse stigningstallene med tilhørende usikkerheter. Her ser vi at det bare er trendene til CMF-verdiene på Blindern i juli og i august, og på Ny-Ålesund i april, som er



Figur 5.9: Langtidsendringer i relative månedsmidlede doserater og CMF-verdier på Blindern for månedene april, juni, juli, august og september. De tykke, sorte, stiplede linjene viser lineærtilpasninger til de relative månedsmidlede doseratene for hele perioden.



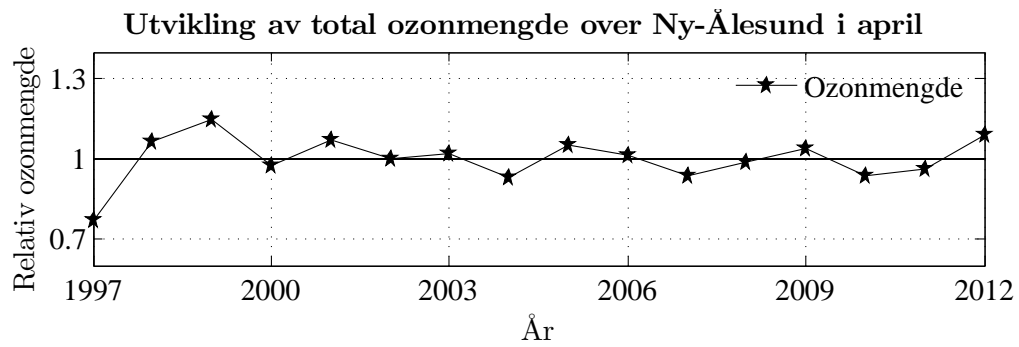
Figur 5.10: Langtidsendringer i relative månedsmidlede doserater og CMF-verdier på Ny-Ålesund for månedene april, juni, juli, august og september. De tykke, sorte, stiplede linjene viser lineærttilpasninger til de relative månedsmidlede doseratene for perioden.

statistisk signifikante innen 2σ -nivået. Dette fordi usikkerhetene til stigningstallene til samtlige andre tilpasninger enten er like store eller større enn de respektive stigningstallene. Selv om man fra figurene ser tydelige tendenser til enten negative eller positive utviklinger for enkelte av månedene, ser det ut til at fluktasjonene er såpass store at man vil trenge lengre tidsperioder for å kunne avdekke mulige signifikante trender.

I Figur 5.9 og i Figur 5.10 ser vi at grafene som illustrerer CMF-verdiene stort sett samvarierer med grafene som illustrerer doseratene. I Likning (2.11) så vi at CMF-verdien sier hvor mye stråling med bølgelengde lik 340 nm man måler, sett i forhold til hva man ville ha forventet å måle ved bar bakke og sky- og aerosolfri atmosfære. Fra Figur 2.1 ser vi at 340 nm er en bølgelengde som nesten ikke lar seg påvirke av endringer i ozonlaget, og følgelig vil ikke endrede CMF-verdier skyldes endrede ozonverdier, men enten endringer i skydekket, albedoen, eller aerosolkonsentrasjonen. I delkapittel 2.2 så vi at aerosolkonsentrasjonene over Norge er små og neglisjerbare. Ved å anta at albedovariasjone for de utvalgte månedene også er neglisjerbare, vil vi ha at endringer i CMF-verdiene skyldes endringer i skydekket. Siden det i Figur 5.9 og i Figur 5.10 ser ut til at CMF-verdiene og doseratene samvarierer, kan det tyde på at det er endringene i skydekket som bidrar til de observerte endringene i de månedsmidlede doseratene.

Tabell A.21 viser korrelasjonskoeffisientene til CMF-verdiene og doseratene som er illustrert i Figur 5.9 og i Figur 5.10. Disse koeffisientene er mål på hvor sterke samvariasjonene mellom de to variablene er, og verdien 1 er den høyeste man kan oppnå. Vi ser at korrelasjonskoeffisienten stort sett er høy, med verdier over 0,9, men med enkelte unntak, som for eksempel aprilmålingene på Ny-Ålesund. Her er den helt nede i 0,7380. Ved å studere grafene til CMF-verdiene og doseratene for denne måneden i Figur 5.10, ser vi at grafene følger hverandre, men at man i 1997 målte relativt høye doserater, uten at CMF-verdiene var spesielt høye. Det er altså grunn til å tro at det er andre faktorer enn skydekket, som for eksempel endringer i ozonlaget, som har bidratt til de endrede doseratene i april, 1997. Ved å studere utviklingen til den totale ozonmengden over Ny-Ålesund for måneden april i Figur 5.11, ser vi at april, 1997, var en måned med relativt lave verdier for den totale ozonmengden, hvilket kan forklare den høye månedsmidlede doseraten.

I Tabell A.19 ser vi at de minste forskjellene mellom endringene i doseratene og endringene i CMF-verdiene finner sted i juni på Ny-Ålesund og i juli på Blindern. I Figur 2.6 så vi at ozonvariasjonene var lave om sommeren, sett i forhold til resten av året, hvilket indikerer at ozon kan være den faktoren som spiller mest inn på korrelasjonen mellom CMF-verdiene og doseratene.



Figur 5.11: Langtidsendringer i relative månedsmidlede totale ozonmengder på Ny-Ålesund for måneden april.

Kapittel 6

Oppsummering og konklusjoner

Modelleringene viste at bakkealbdoen har en positiv effekt på irradiansen til UV-strålingen ved bakken. Sammenhengen mellom bakkealbdoen og irradiansen til stråling med bølgelengde lik 340 nm, fra senitvinkelen 70° , ble ikke funnet til å være lineær, men på formen

$$F(A) = \frac{0,1639}{1 - 0,368A},$$

for fiktive dager. Modellen viste seg også å stemme godt for reelle målinger, gjort med GUV-instrumenter på Blindern og på Ny-Ålesund, selv om flere av parametrene som kunne ha spilt inn på resultatet avvek fra de tilsvarende verdiene på de fiktive dagene.

Gjennom modelleringene viste det seg at jo høyere optisk tykkelse skyene har, jo sterkere vil irradiansen til UV-strålingen ved bakken bli redusert. Dersom både varierende optisk skytykkelse og varierende bakkealbdo ble inkludert i modellen, viste modelleringene at skyenes evne til å redusere UV-strålingen ved bakken blir mindre jo høyere bakkealbdoen er. Sammenhengen mellom bakkealbdoen, skyenes optiske tykkelse og den relative irradiansen til stråling med bølgelengde lik 340 nm ble funnet til å være på formen

$$R_F(A, \tau) = \frac{F(A = 0, \tau)}{F(A, \tau = 0) (1 - AR^*(\tau))} \cdot 100\%.$$

Den relative irradiansen sier her hvor mye stråling med den gitte bølgelengden man måler, sett i forhold til hva man ville ha forventet å måle under de samme forholdene, ved den samme bakkealbdoen, men med en atmosfære uten skyer. Modelleringer av optiske tykkelser til skyer på Ny-Ålesund ble gjort ved hjelp av irradiansmålinger fra et GUV-instrument. Modelleringene viste at tilpasningen for den relative irradiansen kan benyttes for å estimere den optiske tykkelsen på reelle

dager, selv om flere av de andre parametrene som kunne ha spilt inn på resultatet avvek fra hva som var tilfelle på de fiktive dagene.

Det bør bemerkes at modelleringene i denne oppgaven kun er gjort for stråling med bølgelengde lik 340 nm, fra senitvinkelen 70° , så de kvantitative målene på for eksempel $F(A, \tau = 0)$ og $R^*(\tau)$ som ble funnet i denne oppgaven, bare vil gjelde for tilfeller hvor senitvinkelen er 70° og bølgelengden er 340 nm. Modelleringene av den optiske tykkelsen ble i tillegg gjort under meget forenklete tilfeller hvor det ble antatt at hele himmelen var dekket av en stor, homogen sky med skybase ved 2 km og skytopp ved 3 km. Ved å bevege seg utendørs merker man fort at dette sjelden er tilfelle, og at himmelen stort sett har heterogent fordelte skyer med ulike størrelser, ulike høyder på skybasene og ulike høyder på skytoppene. De optiske skytykkelsene i denne oppgaven er derfor størrelser som representerer en felles optisk skytykkelse man ville hatt dersom alle skyene på himmelen den respektive dagen ble byttet ut med den homogene skyen som ble beskrevet ovenfor.

Under analysene av de erytemvektede dosene og doseratene over Blindern og Ny-Ålesund ble det konkludert med at bruk av lineær interpolasjon og verdier fra nærliggende dager fungerer godt til komplettering av måledata, da usikkerhetene knyttet opp mot dette er lave, sett i forhold til usikkerheten til absoluttkalibreringen av instrumentet.

Hverken for de integrerte årsdosene eller for de månedsmidlede doseratene ble det funnet signifikante endringer på Blindern eller på Ny-Ålesund, fra og med henholdsvis 1995 og 1996, og frem til og med 2012. Det ble likevel sett tendenser til at de månedsmidlede doseratene har avtatt på Blindern i sommermånedene juli og august, mens de har økt i april, juni og september, og at det har vært en stikk motsatt utvikling på Ny-Ålesund.

Signifikante nedganger så man midlertidig for CMF-verdiene i juli og august på Blindern, og i april på Ny-Ålesund. Dette tyder på at skydekket om sommeren på Blindern og i april på Ny-Ålesund har økt.

Korrelasjonen mellom de månedsmidlede CMF-verdiene og doseratene på Blindern og på Ny-Ålesund viste seg å være stor, hvilket tyder på at det er endringer i skydekket som kan forklare de fleste endringene vi ser i de månedsmidlede doseratene for de utvalgte månedene. Unntakene viste seg å trolig skyldes store endringer i den totale ozonmengden.

Selv om ingen av de studerte utviklingene av de månedsmidlede doseratene viste

signifikante trender innen 2σ -nivået, var flere av dem ikke langt fra å være det. Ved å gjøre de samme analysene noen år frem i tid, hvor man har måledata fra en lengre tidsperiode, vil man kanskje kunne avdekke signifikante trender da de naturlige fluktasjonene vil få mindre innvirkning på resultatene.

Referanser

A. Dahlback. (2013, våren). *Personlig kommunikasjon*.

Aalerud, T.N. & Johnsen, B.J. (2006). The Norwegian UV Monitoring Network 1995/96 - 2004. *Strålevernrapport 2011*.

Bais, A.F., Butchart, N., Eyring, V., Fahey, D.W., Kinnison, D.E., Langematz, U., ... Rozanov, E. (2007). Future Ozone and Its Impact on Surface UV. *Scientific Assessment of Ozone Depletion*.

Bais, A.F. & Lubin, D. (2007). Surface Ultraviolet Radiation: Past, Present, and Future. *Scientific Assessment of Ozone Depletion*.

Bernhard, G., Booth, C.R. & Ebrahimian, J.C. (2005). Real-time ultraviolet and column ozone from multichannel ultraviolet radiometers deployed in the National Science Foundation's ultraviolet monitoring network. *Optical Engineering*, 44(4).

Biospherical Instruments Inc. (2002). *GUV-511 and GUV-541. Ground-based Ultraviolet Radiometer Systems*.

Calbó, J., Pagès, D. & González, J. (2005). Empirical studies of cloud effects on UV radiation: a review. *Reviews of Geophysics*, 43.

Chandrasekhar, S. (1950). *Radiative Transfer*. Oxford University Press.

Cordero, R.R., Seckmeyer, G. & Labbel, F. (2008). Cosine error influence on ground-based spectral UV irradiance measurements. *Metrologia*, 45), 406-414.

Cordero, R.R., Seckmeyer, G., Pissulla, D., DaSilva, L. & Labbe, F. (2008). Uncertainty evaluation of spectral UV irradiance measurements. *Measurements Science and Technology*, 19.

Dahlback, A. (1996). Measurements of biologically effective UV doses, total ozone abundances, and cloud effects with multichannel, moderate bandwidth filter instruments. *Applied Optics*, 35.

Dahlback, A. (2008). Global monitoring of atmospheric ozone and solar UV radiation. *Solar Radiation and Human Health*.

Dahlback, A., Gelsor, N., Stamnes, J.J. & Gjessing, Y. (2007). UV measurements in the 3000-5000 m altitude. *Journal of Geophysical Research*, 112.

Dahlback, A. & Stamnes, K. (1991). A new spherical model for computing the radiation field available for photolysis and heating at twilight. *Planetary and Space Science*, 39(5), 671-683.

Department of Physics, University of Oslo. (u.d.). *Ozone and UV Radiation Monitoring, OUR INSTRUMENTS, The GUV-511 instrument*. <http://tid.uio.no/ozone/>. (Hentet 14. mai 2013)

Engel, A., Krüger, K., O'Doherty, S. & Sturges, W.T. (2007). Ozone-Depleting Substances (ODSs) and Related Chemicals. *Scientific Assessment of Ozone Depletion*.

Feister, U. & Grewe, R. (1996). Spectral albedo measurements in the UV and visible region over different types of surfaces. *Photochemistry and Photobiology*, 62(4), 736-744.

Holick, M.F. (2003). Vitamin D: A Millenium Perspective. *Journal of Cellular Biochemistry*, 88, 296-307.

Høiskar, B.A.K., Braathen, G.O., Dahlback, A., Bojkov, B.R., Svenøe, T., Edvardsen, K. & Hansen, G.H. (2000). Overvåking av atmosfærens ozonlag og naturlig ultrafiolett stråling. Årsrapport 1999.

Høiskar, B.A.K., Haugen, R., Danielsen, T., Kylling, A., Edvardsen, K., Dahlback, A., ... Schreder, J. (2003). Multichannel moderate-bandwidth filter instrument for measurement of ozone-column amount, cloud transmittance, and ultraviolet dose rates. *Applied Optics*, 42(18).

Inc., B.I. (1998). *GUV Data Processing and Quality Control Procedures*. <ftp://ftp.biospherical.com/pub/GUVsupport/Documents/GUV%20DP%20and%20QC%20Procedures.pdf>. (Hentet 21. mai 2013)

Johansen, B., Aalerud, T.N., Fedøy, D.A., Nilsen, L.T., Christensen, T., Saxe-bøl, G. & Hannevik, M. (2011). Måling av naturlig ultrafiolett stråling i Norge. Perioden 1995/96 til 2009. Bruk av data for UV-varsling og informasjon. *Strålevernrapport 2011*, 2.

- Juzeniene, A., Brekke, P., Dahlback, A., Andersson-Engels, S., Reichrath, J., Moan, K., ... Moan, J. (2011). Solar radiation and human health. *Reports on Progress in Physics*, 74(6).
- Kanakidou, M., Seinfeld, J.H., Pandis, S.N., Barnes, I., Dentener, F.J., Facchini, M.C., ... J.Wilson (2005). Organic aerosol and global climate modelling: a review. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 5, 1053-1123.
- Kreftforeningen. (2012, april). *Kreftforeningens solvaneundersøkelse 2012*. www.kreftforeningen.no/om-kreftforeningen/presse/ressurser/. (Hentet 19. februar 2013)
- Kreftregisteret. (2012, september). *Kreftstatistikk*. www.kreftregisteret.no/no/Registrene/Kreftstatistikk/. (Hentet 19. februar 2013)
- Kylling, A., Persen, T., Mayer, B. & Svenøe, T. (2000). Determination of an effective spectral surface albedo from ground-based global and direct UV irradiance. *Journal of Geophysical Research*, 105, 4949-4959.
- Lenoble, J., Kylling, A. & Smolskaia, I. (2004). Impact of snow cover and topography on ultraviolet irradiance at the Alpine station of Briançon. *Journal of Geophysical Research*, 109.
- Liou, K.N. (2002). *An Introduction to Atmospheric Radiation*. Academic Press.
- Lubin, D. & Frederick, J.E. (1991). The Ultraviolet Radiation Environment of the Antarctic Peninsula: The Roles of Ozone and Cloud Cover. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 30, 478-493.
- McKenzie, R.L. & Paulin, K.J. (1998). Effects of snow cover on UV irradiance and surface albedo: A case study. *Journal of Geophysical Research*, 103, 785-792.
- McKinlay, A.F. & Diffey, B.L. (1987). A reference action spectrum for ultra-violet induced erythema in human skin. *CIE Research Note*, 6(1), 17-22.
- Meteorologisk Institutt. (2009, desember). *Aerosoler*. <http://metlex.met.no/wiki/Aerosoler>. (Hentet 20. mars 2013)
- Meteorologisk Institutt. (2010, februar). *UV-indeks*. <http://metlex.met.no/wiki/UV-indeks>. (Hentet 20. februar 2013)
- Meteorologisk Institutt. (2009, juni). *Observations for Oslo (Blindern) observation site 17 June 2009*. http://www.yr.no/place/Norway/Oslo/Oslo/Oslo_%28Blindern%29_observation_site/almanakk.html?dato=2009-06-17. (Hentet 4. april 2013)

Meteorologisk Institutt. (2010, juni). *Observations for Oslo (Blindern) observation site 04 June 2010*. http://www.yr.no/place/Norway/Oslo/Oslo/Oslo_%28Blindern%29_observation_site/almanakk.html?dato=2010-06-04. (Hentet 4. april 2013)

Molina, L.T. & Molina, M.J. (1986). Absolute absorption cross sections of ozone in the 185- to 350-nm wave length range. *Journal of Geophysical Research*, *91*, 14501-14508.

Myhre, C.L., Svendby, T.M., Strebelt, K., Edvardsen, K., Johnsrud, M. & Dahlback, A. (2011). *Monitoring of the atmospheric ozone layer and natural ultraviolet radiation: Annual report 2010* (Teknisk rapport). Klima- og Forurensningsdirektoratet.

National Aeronautics and Space Administration [NASA]. (1994, november). *ATLAS-3*. http://www.solar.nrl.navy.mil/susim_atlas_data.html. (Hentet 21. mars 2013)

National Aeronautics and Space Administration [NASA]. (2013). *Satellite measurements of total ozone column amounts*. <ftp://jwocky.gsfc.nasa.gov/>. (Hentet 14. mai 2013)

Sanchez-Lorenzo, A., Calbó, J. & Wild, M. (2012). Increasing cloud cover in the 20th century: review and new findings in Spain. *Climate of the Past*, *8*, 1199-2012.

Shupe, M.D., Walden, V.P., Eloranta, E., Uttal, T., Campbell, J.R., Starkweather, S.M. & Shiobara, M. (2011). Clouds at Arctic Atmospheric Observatories. Part I: Occurrence and Macrophysical Properties. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, *50*.

Solomon, S. (1999). Stratospheric Ozone Depletion: a review of concepts and history. *Reviews of Geophysics*, *37(3)*, 275-316.

Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K., ... Miller, H. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Stamnes, K., Slusser, J. & Bowen, M. (1991). Derivation of total ozone abundance and cloud effects from spectral irradiance measurements. *Applied Optics*, *30*, 4418-4426.

Stamnes, K., Tsay, S.C., Wiscombe, W. & Jayaweera, K. (1988). Numerically stable algorithm for discrete-ordinate-method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media. *Applied Optics*, 27(12), 2502-2509.

Statens Strålevern [NRPA]. (u.d.). *Målestasjonene i UV-nettverket*. <http://www.nrpa.no/uvnett/maalestasjoner.aspx?koordinater=vis>. (Hentet 22. mars 2013)

Tarasick, D., Fioletov, V., Wardle, D., Kerr, J., McArthur, L. & McLinden, C. (2003). Climatology and Trends Of Surface UV Radiation. *Atmosphere-Ocean*, 41(2), 121-138.

Thomas, G.E. & Stamnes, K. (1999). *Radiative Transfer in the Atmosphere and Ocean*. Cambridge University Press.

United Nations Environment Programme [UNEP]. (2010). Handbook for the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer, 2012. Ninth Edition. , 9.

United States Committee on Extension to the Standard Atmosphere. (1976). *U.S. standard atmosphere, 1976*. National Oceanic and Atmospheric Administration.

Wallace, J.M. & Hobbs, P.V. (2006). *Atmospheric Science - An Introductory Survey*. Academic Press.

Webb, A.R., Slaper, H., Koepke, P. & Schmalwieser, A.W. (2011). Know your standard: clarifying the CIE erythema action spectrum. *Photochemistry and Photobiology*, 87(2), 483-486.

Vedlegg A

Tabeller

Listing A.1: Oversikt over målte verdier for blant annet CMF (samme som clt) på Blindern midt på klarværsdagene 3. juni 2010 og 4. juni 2010. Dette illustrerer at man ved bruk av instrumentet som ble benyttet i disse målingene ikke vil få verdier for CMF lik 100 på klarværsdager, men cirka lik 98. I (Meterologisk Institutt, 2009, 2010) ser man at det var klarvær ved de gitte tidspunktene disse dagene.

yyyy mm dd	jul	hh mm ss	SZA [deg]	dose rate [W/m ²]	clt [%]	Ozone [DU]
2009 6 17	168	11 15 0	36.57	0.1333E+00	98.2	344.2
2009 6 17	168	11 16 0	36.57	0.1335E+00	98.4	344.4
2009 6 17	168	11 17 0	36.56	0.1334E+00	98.3	344.5
2009 6 17	168	11 18 0	36.56	0.1334E+00	98.3	344.5
2009 6 17	168	11 19 0	36.56	0.1333E+00	98.2	344.5
2009 6 17	168	11 20 0	36.56	0.1331E+00	98.1	344.6
2009 6 17	168	11 21 0	36.56	0.1331E+00	98.2	344.8
2009 6 17	168	11 22 0	36.57	0.1332E+00	98.2	344.7
2009 6 17	168	11 23 0	36.57	0.1331E+00	98.2	344.8
2009 6 17	168	11 24 0	36.57	0.1332E+00	98.2	344.8
2009 6 17	168	11 25 0	36.58	0.1332E+00	98.2	344.8
2010 6 4	155	11 15 0	37.50	0.1150E+00	97.3	380.1
2010 6 4	155	11 16 0	37.50	0.1149E+00	97.2	380.2
2010 6 4	155	11 17 0	37.50	0.1149E+00	97.2	380.3
2010 6 4	155	11 18 1	37.50	0.1150E+00	97.3	380.5
2010 6 4	155	11 19 0	37.51	0.1149E+00	97.2	380.4
2010 6 4	155	11 20 0	37.51	0.1149E+00	97.2	380.3
2010 6 4	155	11 21 0	37.51	0.1149E+00	97.2	380.3
2010 6 4	155	11 22 1	37.52	0.1150E+00	97.3	380.4
2010 6 4	155	11 23 1	37.52	0.1150E+00	97.3	380.5
2010 6 4	155	11 24 0	37.53	0.1152E+00	97.5	380.5
2010 6 4	155	11 25 0	37.54	0.1151E+00	97.4	380.5

Tabell A.1: Modellerte irradianser, F , for stråling med bølgelengde lik 340 nm ved ulike albedoverdier, A . Modellingene er gjort for fiktive dager med albedoverdier mellom 0% og 100%. Følgende parametre er holdt konstante under modelleringene: dagnummer = 105, senitvinkel = 70° og ozonmengde = 390 DU.

A [%]	F [$\cdot 10^{-2} \text{Wm}^{-2}$]	A [%]	F [$\cdot 10^{-2} \text{Wm}^{-2}$]	A [%]	F [$\cdot 10^{-2} \text{Wm}^{-2}$]
0	16,39	35	18,81	70	22,07
5	16,70	40	19,22	75	22,63
10	17,02	45	19,64	80	23,22
15	17,35	50	20,08	85	23,84
20	17,69	55	20,54	90	24,50
25	18,05	60	21,03	95	25,19
30	18,42	65	21,54	100	25,92

Tabell A.2: Dager hvor bakkealbedoen på Blindern ble modellert, men hvor usikkerheten i målingene ikke ble tatt hensyn til. Tabellen holder oversikt over parametre som ble benyttet i modelleringen. SZA er senitvinkelen, O_3 viser ozonmengden, mens CMF viser verdien for CMF. Alle disse verdiene er hentet fra døgnfilen til den gitte dagen. F er den målte irradiansen til stråling med bølgelengde lik 340 nm, og er funnet ved å modellere den tilsvarende irradiansen ved klarvær og albedo lik 5%, for så å multiplisere svaret med den tabellerte CMF-verdien, delt på 98%. A er den modellerte bakkealbedoen.

Dato	SZA [°]	O_3 [DU]	CMF [%]	F [Wm^{-2}]	A [%]
05.04.2000	69,99	372,7	100,9	0,1684	12,74
24.02.1999	70,00	417,7	105,4	0,1712	23,74
02.03.2010	70,01	442,2	106,9	0,1700	27,18
03.03.2010	70,00	448,6	105,6	0,1699	23,72
03.03.2010	69,99	443,6	106,0	0,1701	25,15

Tabell A.3: Dager hvor bakkealbedoen på Ny-Ålesund ble modellert, men hvor usikkerheten i målingene ikke ble tatt hensyn til. Tabellen holder oversikt over parametre som ble benyttet i modelleringen. SZA er senitvinkelen, O₃ viser ozonmengden, mens CMF viser verdien for CMF. Alle disse verdiene er hentet fra døgnfilen til den gitte dagen. F er den målte irradiansen til stråling med bølgelengde lik 340 nm, og er funnet ved å modellere den tilsvarende irradiansen ved klarvær og albedo lik 5%, for så å multiplisere svaret med den tabellerte CMF-verdien, delt på 98%. A er den modellerte bakkealbedoen.

Dato	SZA [°]	O ₃ [DU]	CMF [%]	F [Wm ⁻²]	A [%]
15.04.1996	70	378,8	116,6	0,1988	47,54
16.04.1996	70	380,3	117,8	0,2007	49,84
17.04.1996	70	372,8	117,5	0,2002	49,32
18.04.1996	70	378,9	118,4	0,2014	50,96
02.05.1997	70	373,1	123,2	0,2083	59,54
17.04.1998	70	369,4	128,3	0,2189	68,01
18.04.1998	70	369,7	125,8	0,2145	63,98
20.04.1998	70	386,9	127,7	0,2171	67,16
16.04.2000	70	403,8	131,1	0,2227	72,42
17.04.2000	70	373,9	131,0	0,2232	72,18
16.05.2000	70	365,0	126,8	0,2131	65,60
22.04.2001	70	400,8	113,5	0,1924	41,56
21.04.2002	70	424,9	126,1	0,2131	64,50
25.04.2002	70	379,2	128,0	0,2171	67,53
26.05.2002	70	325,0	116,7	0,1965	47,79
19.05.2004	70	377,8	112,9	0,1892	40,23
14.04.2009	70	434,0	127,5	0,2161	66,79
16.04.2010	70	390,7	118,3	0,2015	50,90
20.04.2010	70	380,0	118,5	0,2016	51,21
29.04.2010	70	395,9	117,9	0,1991	50,03
17.05.2010	70	370,6	114,5	0,1923	43,46
17.04.2011	70	431,7	114,9	0,1945	44,32
18.04.2011	70	404,7	109,9	0,1866	33,96

Tabell A.4: Dager hvor bakkealbedoen på Ny-Ålesund ble modellert, og hvor det ble tatt hensyn til en usikkerhet i CMF-verdiene på 3% innen 2σ -nivået. Tabellen holder oversikt over parametre som ble benyttet i modelleringen. SZA er senitvinkelen, O_3 viser ozonmengden, mens CMF viser verdien for CMF. Alle disse verdiene er hentet fra døgnfilen til den gitte dagen. F er den målte irradiansen til stråling med bølgelengde lik 340 nm, og er funnet ved å modellere den tilsvarende irradiansen ved klarvær og albedo lik 5%, for så å multiplisere svaret med den tabellerte CMF-verdien, delt på 98%. A er den modellerte bakkealbedoen.

Dato	SZA [°]	O_3 [DU]	CMF [%]	F [Wm^{-2}]	A [%]
20.04.1998	70,00	386,9	127,7	$0,217 \pm 0,007$	67 ± 7
17.04.2000	70,00	373,3	131,0	$0,223 \pm 0,007$	72 ± 6
21.04.2002	70,00	424,9	126,1	$0,213 \pm 0,006$	64 ± 6
26.05.2002	70,00	325,0	116,7	$0,196 \pm 0,006$	47 ± 7
19.05.2004	70,00	377,8	112,9	$0,189 \pm 0,006$	39 ± 7
29.04.2010	70,00	395,9	117,9	$0,199 \pm 0,006$	50 ± 7
17.05.2010	70,00	370,6	114,5	$0,192 \pm 0,006$	43 ± 7
17.04.2011	70,00	431,7	114,9	$0,195 \pm 0,006$	45 ± 7

Tabell A.5: Modellerte irradianser [$\cdot 10^{-2} \text{ Wm}^{-2}$] for stråling med bølgelengde lik 340 nm når optisk tykkelse, τ , varierer mellom 0 og 10, og når bakkealbedoen, A , varierer mellom 0% og 70%. Følgende parametre er holdt konstante under modelleringene: skybase = 2 km, skytopp = 3 km, dagnummer = 105, senitvinkel = 70° og ozonmengde = 390 DU.

$\tau \downarrow$	$A \rightarrow$	0%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
0,0		16,39	16,70	17,02	17,69	18,42	19,22	20,08	21,03	22,07
0,5		15,38	15,68	16,00	16,68	17,42	18,23	19,11	20,29	21,17
1,0		14,61	14,92	15,24	15,92	16,67	17,49	18,40	19,41	20,53
1,5		13,98	14,29	14,61	15,30	16,06	16,90	17,83	18,87	20,04
2,0		13,45	13,76	14,08	14,78	15,55	16,40	17,35	18,42	19,62
2,5		12,98	13,29	13,61	14,31	15,09	15,95	16,92	18,02	19,27
3,0		12,56	12,87	13,19	13,90	14,68	15,55	16,54	17,66	18,95
3,5		12,17	12,48	12,80	13,51	14,30	15,19	16,19	17,33	18,65
4,0		11,81	12,12	12,45	13,15	13,95	14,84	15,86	17,03	18,38
4,5		11,48	11,79	12,11	12,82	13,62	14,52	15,55	16,73	18,12
5,0		11,17	11,47	11,80	12,51	13,31	14,21	15,25	16,46	17,87
5,5		10,87	11,18	11,50	12,21	13,01	13,92	14,97	16,19	17,63
6,0		10,60	10,90	11,22	11,93	12,73	13,65	14,70	15,94	17,40
6,5		10,33	10,64	10,96	11,66	12,46	13,38	14,45	15,69	17,18
7,0		10,08	10,39	10,70	11,41	12,21	13,13	14,20	15,46	16,97
7,5		9,85	10,15	10,46	11,16	11,96	12,88	13,96	15,23	16,76
8,0		9,62	9,92	10,23	10,93	11,73	12,65	13,73	15,01	16,55
8,5		9,41	9,70	10,02	10,71	11,50	12,42	13,51	14,80	16,36
9,0		9,20	9,49	9,81	10,49	11,29	12,21	13,29	14,59	16,16
9,5		9,01	9,30	9,60	10,29	11,08	12,00	13,08	14,39	15,98
10,0		8,82	9,11	9,41	10,09	10,88	11,79	12,88	14,19	15,79

Tabell A.6: Modellerte irradianser [$\cdot 10^{-2} \text{ Wm}^{-2}$] for stråling med bølglengde lik 340 nm når optisk tykkelse, τ , varierer mellom 10,5 og 20, og når bakkealbedoen, A , varierer mellom 0% og 70%. Følgende parametre er holdt konstante under modelleringene: skybase = 2 km, skytopp = 3 km, dagnummer = 105, senitvinkel = 70° og ozonmengde = 390 DU.

$\tau \downarrow$	$A \rightarrow$	0%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
10,5		8,64	8,92	9,23	9,90	10,68	11,60	12,69	14,00	15,61
11,0		8,46	8,75	9,05	9,72	10,50	11,41	12,50	13,81	15,44
11,5		8,30	8,58	8,88	9,54	10,32	11,23	12,31	13,63	15,27
12,0		8,14	8,41	8,71	9,37	10,14	11,05	12,13	13,45	15,10
12,5		7,98	8,26	8,55	9,21	9,97	10,88	11,96	13,28	14,94
13,0		7,83	8,11	8,40	9,05	9,81	10,71	11,79	13,11	14,77
13,5		7,69	7,96	8,25	8,90	9,65	10,55	11,63	12,95	14,62
14,0		7,55	7,82	8,11	8,75	9,50	10,39	11,47	12,79	14,46
14,5		7,42	7,69	7,97	8,60	9,35	10,24	11,31	12,64	14,31
15,0		7,29	7,55	7,84	8,47	9,21	10,09	11,16	12,48	14,16
15,5		7,17	7,43	7,71	8,33	9,07	9,95	11,01	12,33	14,02
16,0		7,05	7,30	7,58	8,20	8,93	9,80	10,87	12,19	13,88
16,5		6,93	7,19	7,46	8,07	8,80	9,67	10,73	12,05	13,74
17,0		6,82	7,07	7,34	7,95	8,67	9,54	10,59	11,91	13,60
17,5		6,71	6,96	7,23	7,83	8,55	9,41	10,46	11,77	13,47
18,0		6,60	6,85	7,12	7,72	8,43	9,28	10,33	11,64	13,33
18,5		6,50	6,75	7,01	7,60	8,31	9,16	10,20	11,51	13,20
19,0		6,40	6,64	6,91	7,50	8,19	9,04	10,08	11,38	13,08
19,5		6,31	6,55	6,80	7,39	8,08	8,92	9,95	11,26	12,95
20,0		6,21	6,45	6,71	7,29	7,97	8,81	9,84	11,13	12,83

Tabell A.7: Modellerte verdier for $R^*(\tau)$. Disse er beregnet ved å ta gjennomsnittet av de modellerte verdiene for $R^*(\tau)$ ved den gitte τ -verdien for bakkealbedoverdier på 0%, 5% og mellom 10% og 70%, i steg på 10%. Usikkerhetene er gitt for 2σ -nivået.

τ	$R^*(\tau)$	τ	$R^*(\tau)$	τ	$R^*(\tau)$
0,0	$0,368 \pm 0,004$	7,0	$0,58 \pm 0,01$	14,0	$0,685 \pm 0,006$
0,5	$0,39 \pm 0,01$	7,5	$0,588 \pm 0,004$	14,5	$0,69 \pm 0,01$
1,0	$0,413 \pm 0,002$	8,0	$0,599 \pm 0,006$	15,0	$0,694 \pm 0,008$
1,5	$0,432 \pm 0,002$	8,5	$0,606 \pm 0,006$	15,5	$0,698 \pm 0,002$
2,0	$0,450 \pm 0,002$	9,0	$0,616 \pm 0,006$	16,0	$0,70 \pm 0,01$
2,5	$0,466 \pm 0,002$	9,5	$0,622 \pm 0,006$	16,5	$0,71 \pm 0,01$
3,0	$0,481 \pm 0,002$	10,0	$0,631 \pm 0,006$	17,0	$0,711 \pm 0,004$
3,5	$0,496 \pm 0,004$	10,5	$0,637 \pm 0,008$	17,5	$0,717 \pm 0,002$
4,0	$0,511 \pm 0,002$	11,0	$0,65 \pm 0,01$	18,0	$0,725 \pm 0,008$
4,5	$0,523 \pm 0,004$	11,5	$0,652 \pm 0,002$	18,5	$0,73 \pm 0,01$
5,0	$0,534 \pm 0,008$	12,0	$0,66 \pm 0,01$	19,0	$0,730 \pm 0,008$
5,5	$0,549 \pm 0,004$	12,5	$0,668 \pm 0,008$	19,5	$0,730 \pm 0,008$
6,0	$0,556 \pm 0,006$	13,0	$0,675 \pm 0,001$	20,0	$0,740 \pm 0,008$
6,5	$0,57 \pm 0,01$	13,5	$0,678 \pm 0,002$		

Tabell A.8: Modellerte verdier for optisk tykkelse, τ , på utvalgte dager med overskyet himmel. Disse modelleringene er basert på målte irradianser med bølgelengde lik 340 nm, og med en usikkerhet på 3% for 2σ -nivået. Usikkerheten til τ som er oppgitt i tabellen stammer altså bare fra denne usikkerheten. Bakkealbedoverdiene er modellert med måleverdier fra dagen før eller dagen etter (dagene er valgt slik at minst én av disse var en klarværsdag), og er hentet fra Tabell A.4.

Dato	SZA[°]	O ₃ [DU]	A[%]	CMF[%]	F[10 ⁻² Wm ⁻²]	τ
21.04.1998	70,00	391,7	67	92,7	15,7 ± 0,5	8±1
18.04.2000	70,00	382,1	72	103,8	17,7 ± 0,5	6±1
20.04.2002	70,00	430,3	64	71,0	12,0 ± 0,4	19±1
27.05.2002	69,98	350,3	47	85,5	14,4 ± 0,4	5,6±0,7
20.05.2004	69,99	385,6	39	84,8	14,2 ± 0,4	4,4±0,6
28.04.2010	70,02	366,9	50	99,3	16,8 ± 0,5	2,5±0,6
18.05.2011	70,00	383,7	45	68,4	11,5 ± 0,3	10,9±0,3

Tabell A.9: Oversikt over hvor stor feil man må regne med dersom man skal benytte lineær interpolasjon til å bestemme den erytemvektede dagsdosen til manglende dager i sammendragsfilene. Den første kolonnen angir hvor mange dager som mangler mellom interpolasjonspunktene. Verdiene er funnet ved sammenlikning av beregnede verdier og faktisk målte verdier for samtlige dager i 2006 (et år hvor ingen dager manglet i sammendragsfilen).

Mangler på rad	Usikkerhet
1	0,28 ± 0,04
2	0,33 ± 0,07
3 - 5	0,4 ± 0,1
6 - 7	0,4 ± 0,2
8 - 14	0,5 ± 0,2
15	0,5 ± 0,3

Tabell A.10: Antall dager i sammendragsfilene fra Blindern, B, og Ny-Ålesund, N, som enten har urealistisk verdi for erytemvekt dose eller erytemvektet doserate, eller som er fraværende i filene. X betyr at data fra dette året ikke er tatt med i beregningene grunnet ufullstendige datasett.

År	Urealistisk, B	Fraværende, B	Urealistisk, N	Fraværende, N
1995	5	3	X	X
1996	1	4	1	5
1997	1	3	2	7
1998	0	1	0	13
1999	1	17	2	2
2000	2	8	13	0
2001	5	0	1	0
2002	2	0	1	0
2003	1	0	0	0
2004	5	0	0	3
2005	16	11	7	83
2006	0	0	3	2
2007	0	0	0	1
2008	6	3	6	5
2009	3	1	1	0
2010	1	0	1	0
2011	1	0	1	0
2012	0	2	0	5

Tabell A.11: Oversikt over hvor stor feil man må regne med dersom man skal benytte lineær interpolasjon til å bestemme erytemvektede doserater eller CMF-verdier fra timen midt på dagen for dager som manglet døgnfil. Den første kolonnen angir hvor mange dager som mangler mellom interpolasjonspunktene. Verdiene er funnet ved sammenlikning av beregnede verdier og faktisk målte verdier for samtlige dager i månedene juni 2003 (Blindern), juni 2010 (Blindern), april 2000 (Ny-Ålesund) og september 2002 (Ny-Ålesund). Dette er måneder hvor ingen av dagene manglet døgnfiler.

Mangler på rad	Usikkerhet
1	$0,166 \pm 0,006$
2	$0,19 \pm 0,01$
3	$0,21 \pm 0,02$
4	$0,23 \pm 0,02$
5	$0,24 \pm 0,02$
6 - 7	$0,25 \pm 0,03$
8 - 9	$0,26 \pm 0,03$
10 - 11	$0,27 \pm 0,03$

Tabell A.12: Antall dager fra Blindern, B, og Ny-Ålesund, N, i utvalgte måneder som enten har urealistisk verdi for erytemvekt dose eller erytemvekted doserate, som har færre enn 50 målinger mellom kl. 10.50 og 11.50 i døgnfilene, eller dager hvor døgnfilen er fraværende.

Mnd	Antall, B	Antall, NA
April	3	4
Juli	4	5
August	5	18
September	1	9

Tabell A.13: Erytemvektede, integrerte årsdoser i $\cdot 10^4 \text{ Jm}^{-2}$ med tilhørende usikkerheter for 2σ -nivået. X betyr at instrumentet ikke var operativt i store nok deler av perioden.

År	Blindern	Ny-Ålesund
1995	38 ± 3	X
1996	38 ± 3	22 ± 2
1997	41 ± 3	21 ± 2
1998	32 ± 3	22 ± 2
1999	36 ± 3	19 ± 1
2000	35 ± 3	23 ± 2
2001	36 ± 3	21 ± 2
2002	37 ± 3	21 ± 2
2003	36 ± 3	18 ± 1
2004	36 ± 3	19 ± 2
2005	34 ± 3	X
2006	37 ± 3	18 ± 1
2007	35 ± 3	22 ± 2
2008	37 ± 3	21 ± 2
2009	37 ± 3	23 ± 2
2010	35 ± 3	19 ± 2
2011	36 ± 3	20 ± 2
2012	36 ± 3	20 ± 2

Tabell A.14: Månedsmidlede erytemvektede doserater i 10^{-2}Wm^{-2} på Blindern for månedene april, juni, juli, august og september med tilhørende usikkerheter for 2σ -nivået.

År	April	Juni	Juli	August	September
1995	$4,8 \pm 0,4$	$9,4 \pm 0,8$	$9,5 \pm 0,8$	$9,7 \pm 0,8$	$3,3 \pm 0,3$
1996	$5,6 \pm 0,4$	$8,9 \pm 0,7$	$9,7 \pm 0,8$	$8,1 \pm 0,7$	$5,1 \pm 0,4$
1997	$5,9 \pm 0,5$	$9,6 \pm 0,8$	$10,5 \pm 0,8$	$9,0 \pm 0,7$	$4,8 \pm 0,4$
1998	$3,3 \pm 0,3$	$6,8 \pm 0,5$	$7,6 \pm 0,6$	$5,8 \pm 0,5$	$3,7 \pm 0,3$
1999	$4,7 \pm 0,4$	$7,4 \pm 0,6$	$10,1 \pm 0,8$	$7,3 \pm 0,6$	$4,4 \pm 0,3$
2000	$4,6 \pm 0,4$	$7,6 \pm 0,6$	$8,6 \pm 0,7$	$8,0 \pm 0,6$	$4,4 \pm 0,4$
2001	$3,7 \pm 0,3$	$9,0 \pm 0,7$	$10,0 \pm 0,8$	$7,3 \pm 0,6$	$4,0 \pm 0,3$
2002	$4,1 \pm 0,3$	$9,8 \pm 0,8$	$8,3 \pm 0,7$	$8,9 \pm 0,7$	$5,3 \pm 0,4$
2003	$5,1 \pm 0,4$	$9,4 \pm 0,7$	$9,0 \pm 0,7$	$7,5 \pm 0,6$	$4,3 \pm 0,3$
2004	$4,3 \pm 0,3$	$9,2 \pm 0,7$	$9,1 \pm 0,7$	$7,6 \pm 0,6$	$4,7 \pm 0,4$
2005	$5,2 \pm 0,4$	$9,2 \pm 0,7$	$8,2 \pm 0,7$	$7,0 \pm 0,6$	$4,4 \pm 0,4$
2006	$3,4 \pm 0,3$	$10,1 \pm 0,8$	$10,6 \pm 0,8$	$7,5 \pm 0,6$	$4,4 \pm 0,4$
2007	$5,6 \pm 0,4$	$9,9 \pm 0,8$	$7,4 \pm 0,6$	$7,0 \pm 0,6$	$4,3 \pm 0,3$
2008	$4,2 \pm 0,3$	$9,8 \pm 0,8$	$10,3 \pm 0,8$	$6,3 \pm 0,5$	$3,9 \pm 0,3$
2009	$5,7 \pm 0,5$	$10,4 \pm 0,8$	$7,6 \pm 0,6$	$6,9 \pm 0,6$	$4,8 \pm 0,4$
2010	$4,8 \pm 0,4$	$10,0 \pm 0,8$	$8,3 \pm 0,7$	$6,2 \pm 0,5$	$4,7 \pm 0,4$
2011	$5,9 \pm 0,5$	$7,8 \pm 0,6$	$8,2 \pm 0,7$	$7,2 \pm 0,6$	$4,0 \pm 0,3$
2012	$3,7 \pm 0,3$	$7,9 \pm 0,6$	$7,2 \pm 0,6$	$7,0 \pm 0,6$	$4,8 \pm 0,4$

Tabell A.15: Månedsmidlede CMF-verdier på Blindern for månedene april, juni, juli, august og september med tilhørende usikkerheter for 2σ -nivået.

År	April	Juni	Juli	August	September
1995	67 ± 5	63 ± 5	69 ± 5	81 ± 6	51 ± 4
1996	65 ± 5	65 ± 5	75 ± 6	72 ± 5	69 ± 5
1997	73 ± 5	69 ± 5	77 ± 6	79 ± 6	70 ± 5
1998	49 ± 3	54 ± 4	64 ± 5	60 ± 4	56 ± 4
1999	64 ± 5	54 ± 4	76 ± 6	69 ± 5	60 ± 4
2000	57 ± 4	58 ± 4	65 ± 5	75 ± 6	64 ± 5
2001	54 ± 4	69 ± 5	74 ± 5	69 ± 5	60 ± 4
2002	56 ± 4	73 ± 5	61 ± 4	80 ± 6	77 ± 6
2003	70 ± 5	73 ± 5	67 ± 5	69 ± 5	63 ± 5
2004	56 ± 4	70 ± 5	70 ± 5	69 ± 5	69 ± 5
2005	72 ± 5	65 ± 5	61 ± 4	65 ± 5	64 ± 5
2006	50 ± 4	72 ± 5	76 ± 6	72 ± 5	64 ± 5
2007	70 ± 5	71 ± 5	56 ± 4	66 ± 5	63 ± 5
2008	56 ± 4	71 ± 5	75 ± 6	60 ± 4	57 ± 4
2009	68 ± 5	76 ± 6	57 ± 4	65 ± 5	76 ± 6
2010	65 ± 5	78 ± 6	63 ± 5	61 ± 4	78 ± 6
2011	76 ± 6	58 ± 4	61 ± 4	67 ± 5	63 ± 5
2012	56 ± 4	62 ± 4	56 ± 4	66 ± 5	75 ± 6

Tabell A.16: Månedsmidlede erytemvektede doserater i 10^{-2}Wm^{-2} på Ny-Ålesund for månedene april, juni, juli, august og september med tilhørende usikkerheter for 2σ -nivået.

År	April	Juni	Juli	August	September
1996	$2,1 \pm 0,2$	$4,6 \pm 0,4$	$3,7 \pm 0,3$	$2,0 \pm 0,2$	$0,9 \pm 0,1$
1997	$2,7 \pm 0,2$	$5,1 \pm 0,4$	$3,0 \pm 0,2$	$2,3 \pm 0,2$	$0,8 \pm 0,1$
1998	$2,2 \pm 0,2$	$5,1 \pm 0,4$	$3,2 \pm 0,3$	$2,0 \pm 0,2$	$1,0 \pm 0,1$
1999	$2,0 \pm 0,2$	$3,3 \pm 0,3$	$3,4 \pm 0,3$	$1,7 \pm 0,1$	$0,8 \pm 0,1$
2000	$2,4 \pm 0,2$	$5,5 \pm 0,4$	$3,6 \pm 0,3$	$2,2 \pm 0,2$	$0,9 \pm 0,1$
2001	$2,0 \pm 0,2$	$4,9 \pm 0,4$	$3,6 \pm 0,3$	$2,1 \pm 0,2$	$0,7 \pm 0,1$
2002	$2,0 \pm 0,2$	$4,8 \pm 0,4$	$3,3 \pm 0,3$	$2,0 \pm 0,2$	$1,1 \pm 0,1$
2003	$1,9 \pm 0,2$	$4,2 \pm 0,3$	$3,1 \pm 0,2$	$1,4 \pm 0,1$	$0,32 \pm 0,03$
2004	$1,9 \pm 0,2$	$4,6 \pm 0,4$	$3,0 \pm 0,2$	$1,9 \pm 0,2$	$0,9 \pm 0,1$
2006	$1,6 \pm 0,1$	$3,8 \pm 0,3$	$3,0 \pm 0,2$	$2,0 \pm 0,2$	$0,9 \pm 0,1$
2007	$2,0 \pm 0,2$	$4,5 \pm 0,4$	$3,9 \pm 0,3$	$2,3 \pm 0,2$	$1,0 \pm 0,1$
2008	$2,0 \pm 0,2$	$4,9 \pm 0,4$	$3,8 \pm 0,3$	$2,4 \pm 0,2$	$0,8 \pm 0,1$
2009	$2,2 \pm 0,2$	$5,1 \pm 0,4$	$4,2 \pm 0,3$	$2,4 \pm 0,2$	$0,9 \pm 0,1$
2010	$2,1 \pm 0,2$	$4,0 \pm 0,3$	$3,1 \pm 0,3$	$2,3 \pm 0,2$	$0,9 \pm 0,1$
2011	$1,7 \pm 0,1$	$4,4 \pm 0,3$	$3,7 \pm 0,3$	$2,3 \pm 0,2$	$0,7 \pm 0,1$
2012	$1,7 \pm 0,1$	$4,7 \pm 0,4$	$3,8 \pm 0,3$	$2,0 \pm 0,2$	$0,7 \pm 0,1$

Tabell A.17: Månedsmidlede CMF-verdier på Ny-Ålesund for månedene april, juni, juli, august og september med tilhørende usikkerheter for 2σ -nivået.

År	April	Juni	Juli	August	September
1996	110 ± 8	82 ± 6	69 ± 5	60 ± 4	78 ± 6
1997	110 ± 8	89 ± 7	53 ± 4	67 ± 5	66 ± 5
1998	119 ± 9	96 ± 7	58 ± 4	56 ± 4	80 ± 6
1999	117 ± 9	60 ± 4	64 ± 5	53 ± 4	64 ± 5
2000	119 ± 9	99 ± 7	64 ± 5	66 ± 5	68 ± 5
2001	107 ± 8	89 ± 7	67 ± 5	59 ± 4	60 ± 4
2002	105 ± 8	84 ± 6	61 ± 4	56 ± 4	88 ± 7
2003	105 ± 8	81 ± 6	58 ± 4	44 ± 3	42 ± 3
2004	98 ± 7	85 ± 6	55 ± 4	57 ± 4	77 ± 6
2006	87 ± 7	72 ± 5	56 ± 4	58 ± 4	80 ± 6
2007	102 ± 8	79 ± 6	67 ± 5	67 ± 5	79 ± 6
2008	99 ± 7	86 ± 6	69 ± 5	71 ± 5	64 ± 5
2009	118 ± 9	91 ± 7	74 ± 5	66 ± 5	78 ± 6
2010	107 ± 8	78 ± 6	61 ± 4	69 ± 5	76 ± 6
2011	95 ± 7	79 ± 6	65 ± 5	63 ± 5	58 ± 4
2012	96 ± 7	83 ± 6	70 ± 5	58 ± 4	66 ± 5

Tabell A.18: Stigningstallet til lineærtilpasningene til de relative erytemvektede årsdosene i Figur 5.8 for Blindern og Ny-Ålesund med tilhørende usikkerheter for 2σ -nivået.

Sted	Tidsperiode	Stigningstall med usikkerhet
Blindern	1995 - 2012	-0,2% ± 0,5%
Blindern	1999 - 2012	0,0% ± 0,4%
Ny-Ålesund	1996 - 2012	-0,4% ± 0,8%
Ny-Ålesund	1999 - 2012	-0% ± 1%

Tabell A.19: Oversikt over hvor mange prosent økning fra henholdsvis 1995 (Blindern, B) og 1996 (Ny-Ålesund, N) og frem til 2012 lineærtilpasningene til de relative erytemvektede doseratene og CMF-verdiene fra Figur 5.9 og Figur 5.10 viser. Usikkerhetene til lineærtilpasningene er ikke tatt hensyn til.

	April	Juni	Juli	August	September
Doserate, B	0,5%	8,9%	-17,0%	-21,8%	5,9%
CMF, B	3,3%	13,1%	-17,9%	-15,9%	17,3%
Doserate, N	-20,9%	-5,7%	12,8%	15,0%	-8,1%
CMF, N	-14,3%	-5,4%	11,5%	11,2%	-2,9%

Tabell A.20: Stigningstallet til lineærtilpasningene til de relative erytemvektede doseratene og de relative CMF-verdiene i Figur 5.9 (Blindern, B) og Figur 5.10 (Ny-Ålesund, N), med tilhørende usikkerheter for 2σ -nivået.

	April	Juni	Juli	August	September
Doserate, B	0% \pm 2%	1% \pm 1%	-1% \pm 1%	-1% \pm 1%	0% \pm 1%
CMF, B	0% \pm 1%	1% \pm 1%	-1,2% \pm 0,9%	-1,0% \pm 0,7%	1% \pm 1%
Doserate, N	-1% \pm 1%	-0% \pm 1%	1% \pm 1%	1% \pm 1%	-1% \pm 2%
CMF, N	-1,0% \pm 0,8%	-0% \pm 1%	0,7% \pm 0,9%	1% \pm 1%	-0% \pm 2%

Tabell A.21: Korrelasjonskoeffisientene til de relative månedsmidlede doseratene og de relative CMF-verdiene i Figur 5.9 og i Figur 5.10.

Sted	April	Juni	Juli	August	September
Blindern	0,9328	0,9301	0,9654	0,9764	0,8923
Ny-Ålesund	0,7380	0,9600	0,9523	0,9558	0,9474

Vedlegg B

MATLAB- og Pythonprogrammer

Listing B.1: Program som beregner feilene som gjøres når en dagsdose erstattes med en modellert verdi ved hjelp av interpolasjon. Beregningene gjøres for data fra Blindern, 2006, hvor igen av dagene manglet verdier.

```
# -*- coding: utf-8 -*-
#####
### usikker_interpol_aar.py ###
#####

### Inn: sammendragsfilen fra Blindern, 2006
### Ut: hvor stor feil som gjennomsnittlig gjoeres
### naar en manglende verdi erstattes med en modellerte verdi
### ved hjelp av interpolasjon. Faar ut 15 verdier, en for
### den gjennomsnittlige feilen naar en dag mangler paa rad,
### en hvor to dager mangler paa rad, osv opp til 15. Antall
### dager som mangler paa rad kalles 'gap'

### Importerer pakker og lignende ###
from scitools.std import *
from math import *
from matplotlib import rc
rc('font',**{'family':'sans-serif','sans-serif':['Helvetica']})
rc('text',usetex=True)

### Leser filen med data fra det gitte aaret 9222 = Blindern
infile = open('../guvnettverk/results/summary.9222', 'r')
lines = infile.readlines()
infile.close()
stasjon = 'Blindern'
teller = 0
d_avlest = []
c_avlest = []
gap = [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]
dag = 1
for line in lines[21:]:
    aar_i_fil = int(line[0:4])
    if str(aar_i_fil) == '2006':
        dagnr = int(line[12:15])
        dose = float(line[68:74])*10**int(line[75:])
        d_avlest.append(dose)
        clt = float(line[48:54])
        c_avlest.append(clt)

### Gaar gjennom alle dagene og beregner feil for hver av gap'ene
for g in gap:
    start = []
    stop = []
    d_avstand_g = range(1,(g+1),1)
    error = []
    for i in range(0, (len(d_avlest) - (g + 2) + 1), 1):
        start.append(i)
        stop.append(i + g + 1)
    for i in range(len(start)):
```

```

    avstand = range(1, g + 1, 1)
    for k in avstand:
        bef = d_avlest[start[i]]
        aft = d_avlest[stop[i]]
        a = (aft - bef)/(stop[i] - start[i])
        calc = bef + (a*k)
        error.append(abs(calc - d_avlest[start[i] + k + 1])/(d_avlest[start[i] + k]))
    snitt = sum(error)/len(error)
    n = len(error)
    t = [(xi - snitt)**2 for xi in error]
    s = (sum(t))/(n-1) # empirisk standardavvik
    usikker_feil = snitt*s

    ### Printer ut feilene med tilhørende usikkerheter
    if ((str(g) == '1') or (str(g) == '2')):
        print g, round(snitt,2), round(usikker_feil,2)
    else:
        print g, round(snitt,1), round(usikker_feil,1)

```

Listing B.2: Program som henter data fra sammendragsfilen for Blindern, gjør beregninger og skriver ut årsdoser mellom 1995 og 2012 med tilhørende usikkerheter

```

# -*- coding: utf-8 -*-

#####
## aarsdose_blindern.py ##
#####

### Inn: data fra sammendragsfilene fra Blindern
### for aarene 1995-2012.
### Ut: aarsdoser med tilhørende usikkerheter.
### Programmet tar hensyn til usikkerhetene som foelge av manglende
### dager, men ogsaa maaleusikkerheten til GUV-instrumentene paa 8%.
### Programmet for Ny-Aalesund var av tilsvarende type, men med litt
### ekstra kode for aa luke bort dagene foer solen kom om vaaren.

### Importerer pakker og lignende
from scitools.std import *
from math import *
from matplotlib import rc
rc('font',**{'family':'sans-serif',\
'sans-serif':['Helvetica']})
rc('text', usetex=True)

### Leser filen med data fra det gitte aaret 9222 = Blindern
infile = open(\
'../guvnettverk/results/summary.9222', 'r')
lines = infile.readlines()
infile.close()
stasjon = 'Blindern'
aar = 1995

### Oppretter dictionary som kan inneholde
### data fra filen
doserate = {}
clt = {}
max_doserate = {}
dose = {}
dagnr_mangler = []
telledager = 0
usikker_d = {}

### Usikkerheter som maa tas med i beregningen dersom dagsdosen fra en dag mangler i
### sammendragsfilen og maa erstattes ved hjelp av interpolasjon fra data fra de naermeste
### dagene. Noeklene i denne dictionaryen angir hvor mange dager paa rad som mangler
### informasjon om den integrerte dagsdosen.
usikker_d sigma2 = {1: 0.36, 2: 0.47, 3: 0.6, 4: 0.6, 5: 0.6, \
6: 0.8, 7: 0.8, 17: 1.1, 25: 1.4}

for line in lines[21:]:
    aar_i_fil = int(line[0:4])
    ### Dersom vi er inne i et nytt aar skriver programmet ut aarsdosen fra det forrige
    ### aaret med tilhørende usikkerhet. Foer vi kan gjoere dette maa vi fjerne alle
    ### uoenskede verdier fra dictionaryene.
    if aar_i_fil != aar:
        ### Begynner med aa kopiere dictionaryene til noen som er helt like med som
        ### vi kaller _mod. Det betyr at vi kan modifisere dem, altsaa slette dager
        ### og verdier vi ikke vil ha, samt legge til verdier vi mangler
        doserate_mod = doserate.copy()
        max_doserate_mod = max_doserate.copy()

```

```

dose_mod = dose.copy()
clt_mod = clt.copy()
usikker_d_mod = usikker_d.copy()

### Lager arrayer som har oversikt over manglende dager. Alle maa inneholde
### dagene som ikke har noen verdier. Disse arrayene kan endres senere.
doserate_m = [] + dagnr_mangler
max_doserate_m = [] + dagnr_mangler
dose_m = [] + dagnr_mangler
clt_m = [] + dagnr_mangler

### Her skjer fjerningen av uoenskede verdier
for dr in doserate:
    if (doserate[dr] > 99.8 and doserate[dr] < 100.0) or \
        doserate[dr] < 0.0:
        doserate_m.append(dr)
        del doserate_mod[dr]
    if (dose[dr] < 1E-09 and dose[dr] > -1E-09) or \
        (dose[dr] > 1E5) or (dose[dr] < 0.0):
        dose_m.append(dr)
        del dose_mod[dr]
        if dr in clt_mod.keys():
            clt_m.append(dr)
            del clt_mod[dr]
        if dr in doserate_mod.keys():
            doserate_m.append(dr)
            del doserate_mod[dr]
        if dr in max_doserate_mod.keys():
            max_doserate_m.append(dr)
            del max_doserate_mod[dr]
    if (max_doserate[dr] < 1E-09 and max_doserate[dr] > -1E-09) or \
        max_doserate[dr] > 1E02:
        if dr in max_doserate_mod.keys():
            max_doserate_m.append(dr)
            del max_doserate_mod[dr]
    if clt[dr] < -99.8 and clt[dr] > -100.0:
        if dr in clt_mod.keys():
            clt_m.append(dr)
            del clt_mod[dr]
        if dr in dose_mod.keys():
            dose_m.append(dr)
            del dose_mod[dr]
        if dr in doserate_mod.keys():
            doserate_m.append(dr)
            del doserate_mod[dr]
        if dr in max_doserate_mod.keys():
            max_doserate_m.append(dr)
            del max_doserate_mod[dr]

### Legger til verdier for de som er fjernet. Beregner ut fra snittet
### mellom verdien til dagen foer (eller dagen som er tettest oppunder) og
### verdien til dagen etter (eller den som kommer foerst etterpaa)
for mangler_nr in dose_m:
    if (aar == 2000 and mangler_nr in range(1,8,1)):
        a = 23/25.
        d_manglernr = 35.92 + ((8 - mangler_nr)*a)
        dose_mod[mangler_nr] = d_manglernr
        usikker_d_mod[mangler_nr] = (usikker_d_sigma2[25]*d_manglernr)
        dose_m.remove(mangler_nr)
    elif (aar == 1999 and mangler_nr in range(349,366,1)):
        a = 23/25.
        d_manglernr = 58.92 - ((mangler_nr - 348)*a)
        dose_mod[mangler_nr] = d_manglernr
        usikker_d_mod[mangler_nr] = (usikker_d_sigma2[25]*d_manglernr)
        dose_m.remove(mangler_nr)
for mangler_nr in dose_m:
    lavere = min(dose_mod.keys())
    hoyere = max(dose_mod.keys())
    for dag in dose_mod.keys():
        if (dag < mangler_nr) and (dag not in dose_m):
            lavere = dag
        if (dag > mangler_nr) and (dag < hoyere) and (dag not in dose_m):
            hoyere = dag
    nokkel = hoyere - lavere - 1
    a = (dose_mod[hoyere] - dose_mod[lavere])/(hoyere - lavere)
    d_manglernr = dose_mod[lavere] + a*(mangler_nr - lavere)
    dose_mod[mangler_nr] = d_manglernr
    usikker_d_mod[mangler_nr] = (usikker_d_sigma2[nokkel])*d_manglernr

### Kode for printing av aarsdoser med tilhoerende usikkerheter
aarsdose = sum(dose_mod.values())
usikker_aarsdose = (sqrt(sum([i**2 for i in usikker_d_mod.values()]))) / 365 \
+ 0.08*aarsdose

```

```

alt_aarsfil = '%s_%%1ld_%%1ld' %(aar, aarsdose, usikker_aarsdose)
print alt_aarsfil

### Renser opp dictionaryene, lister og variable slik at de er klare til aa
### fylles med nye verdier fra det nye aaret. Ett aar legges ogsaa til 'aar'
dose = {}
doserate = {}
max_doserate = {}
clt = {}
usikker_d = {}
usikker_c = {}
aar += 1
telledager = 0
dagnr_mangler = []

### Fyller opp dictionary med data fra sammendragsfilen. Lagrer ogsaa
### som mangler info om alle variablene, altsaa de som er totalt fravaerende
### Dette gjoeres uansett om vi er ved et nytt aar eller ikke.
dagnr = int(line[12:15])
telledager += 1
if (((dagnr-telldager) > 0.01 or (dagnr-telldager) < -0.01)):
    start = int(telldager)
    stop = int(dagnr - 1)
    antall = int(dagnr - telldager)
    array_mangler = linspace(start, stop, antall)
    for dag in array_mangler:
        dagnr_mangler.append(int(dag))
    telldager += antall
if (str(aar) == '1999') and (str(dagnr) == '348'):
    array = range(349, 366, 1)
    for element in array:
        dagnr_mangler.append(element)
doserate[dagnr] = float(line[37:43])*10**int(line[44:47])
clt[dagnr] = float(line[48:54])
max_doserate[dagnr] = float(line[56:62])*10**int(line[63:66])
dagens_dose = float(line[68:74])*10**int(line[75:])
dose[dagnr] = dagens_dose
usikker_d[dagnr] = 0

```

Listing B.3: Program som plotter relative årsdoser fra Blindern.

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% aarsplot_blindern.m %%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Program som plotter relative aarsdoser fra Blindern mellom 1995 og 2012.
% Plotter ogsaa tilhoerende lineartilpasninger. Tilsvarende program ble
% benyttet for Ny-Aalesund ogsaa.

aar = linspace(1995, 2012, 18);
aar_null = linspace(0, 17, 18);
dose = [38, 38, 41, 32, 36, 35, 36, 37, 36, 36, 34, 37, 35, 37,...
        37, 35, 36, 36];
snitt = sum(dose)/length(dose);
gj = dose/snitt;

% Hvis man skal finne nedgangen i prosent mÅ¥ dette kommenteres bort og
% aarvariabelen over mÅ¥ kommenteres
%aar = linspace(0, 17, 18);
%p = polyfit(aar, gj, 1);
%lin = polyval(p,aar);
%y = p(2) + p(1)*18;
%nedgang = (1 - y/p(2))*100

% Hvis lineartilpasning fra 1999 skal vÅ¥re med
aar99 = wkeep(aar, 14, 'r'); %alle fra 1999 og ut
aar99_null = wkeep(aar_null, 14, 'r'); %alle fra 1999 og ut
dose99 = wkeep(dose, 14, 'r');
gj99 = sum(dose99)/length(dose99);
p99 = polyfit(aar99_null, dose99/gj99, 1);
linear99 = polyval(p99, aar99_null);

% Hvis man skal finne okningen i prosent fra 99 maa dette kommenteres
% bort og aarvariabelen99 over maa kommenteres
%aar99 = linspace(0, 13, 14);
% dose99 = wkeep(dose, 14, 'r');
% gj99 = sum(dose99)/length(dose99);
% p99 = polyfit(aar99, dose99/gj99, 1);
% linear99 = polyval(p99, aar99);
% y = p99(2) + p99(1)*14;
% okning = (y/p99(2) - 1)*100

```

```

figure(1)
plot(aar_null, gj, '-o', 'color', [0.4 0.1 0.8], 'MarkerSize', 7, ...
     'MarkerFaceColor', [0.4 0.1 0.8], 'MarkerEdgeColor', 'k')
hold('on')
p = polyfit(aar_null, gj, 1);
lin = polyval(p, aar_null);
%Beregner blant annet usikkerheten til stigningstallet til
%lineartilpasningen til aarsdosen (1995-2012)
%god_1 = LinearModel.fit(aar_null, gj) %for aa finne p-verdi
plot(aar_null, lin, '--k', 'LineWidth', 2)
hold('on')
plot(aar99_null, linear99, '--r', 'LineWidth', 2)
%Beregner blant annet usikkerheten til stigningstallet til
%lineartilpasningen til aarsdosen (1999-2012)
%god_2 = LinearModel.fit(aar99_null, dose99/gj99)
hold('on')
plot(aar_null, ones(length(aar_null)), 'k')
hold('off')
axis([0 17 0.85 1.18])
set(gca, 'XTick', 0:3:17)
set(gca, 'YTick', 0.90:0.10:1.10)
set(gca, 'FontName', 'Times', 'FontSize', 14)
set(gca, 'FontName', 'Times', 'FontSize', 14)
grid on
xlabel('\AA{}r', 'Interpreter', 'Latex', 'FontSize', 14, ...
      'FontName', 'Times')
ylabel('Relativ_\AA{}rsdose', 'Interpreter', 'Latex', 'FontSize', ...
      14, 'FontName', 'Times')
set(figure(1), 'Position', [0 0 700 230])
legend('Faktiske verdier', 'Tilpasning_(95_-12)', ...
      'Tilpasning_(99_-12)', 'Location', [0.5 0.68 0.1 0.1])
legend('boxoff')
title('\textbf{Langtidsendring_i_\AA{}rsdoser_og_Blindern_og_Ny-\AA{}lesund}', ...
      'Interpreter', 'Latex', 'FontSize', 14, 'FontName', 'Times', ...
      'FontWeight', 'Bold')
annotation('textbox', [0.79 0.24 0.1 0.1], 'String', 'Blindern', ...
          'FontSize', 14, 'FontName', 'Times', 'LineStyle', 'none')

```

Listing B.4: Program som henter data fra døgnfilene fra Ny-Ålesund fra april, juni, juli, august og september. Programmet gjør beregninger og skriver ut månedsmidlende doserater og CMF-verdier med tilhørende usikkerheter

```

# -*- coding: utf-8 -*-

#####
### mnd_doserater_nyaalesund.py ###
#####

### Inn: data fra doegfilene fra Ny-Aalesund for aarene 1996 - 2012
### pga mange fravaerende dager der vi bort ifra aaret 2005.
### Ut: maanedsmidlede doserater og maanedsmidlede CMF-verdier med
### tilhoerende usikkerheter

### Importerer pakker og lignende ###
from scitools.std import *
from math import *
from matplotlib import rc
rc('font',**{'family':'sans-serif','sans-serif':['Helvetica']})
rc('text', usetex=True)

### Oppretter arrays med dagnumre og maanedsnavn. Tar hensyn til ulike lengder
### paa de ulike maanedene.
aar = range(1996, 2013, 1)
juli_int = range(1,32,1)
juli = []
for dag in juli_int:
    if dag < 10:
        juli.append('0%d' %dag)
    else:
        juli.append('%d' %dag)

apr = juli[0:-1]
mai = juli
juni = juli[0:-1]
aug = juli
sept = juli[0:-1]

```

```

mnd = [apr, mai, juni, juli, aug, sept]
mnd_nr = ['04', '05', '06', '07', '08', '09']
mnd_navn = ['april', 'mai', 'juni', 'juli', 'august', 'september']

### Liste over dager som maa tilordnes verdier gjennom interpolering fordi de enten mangler
### eller har urealistiske verdier. dag_bef og dag_aft holder oversikt over de naermeste dagene
### foer og etter de manglende dagene.
fjern = ['19960421', '19960819', '19960902', '19960921', '19960922', '19960923', '19970426', \
'19970625', '19970630', '19970701', '19970801', '19970821', '19970905', '19980501', \
'19980520', '19980607', '19980608', '19980609', '19980617', '19980618', '19980702', \
'19980727', '19980915', '19980928', '19990912', '20010827', '20030510', '20030902', \
'20040410', '20040419', '20040516', '20060502', '20060503', '20060524', '20060612', \
'20060805', '20060806', '20070511', '20070815', '20080804', '20080805', '20080806', \
'20080807', '20080808', '20080809', '20080810', '20080811', '20080812', '20080813', \
'20080814', '20110701', '20110702']

dag_bef = ['19960420', '19960818', '19960901', '19960920', '19960920', '19960920', \
'19970425', '19970624', '19970629', '19970629', '19970731', '19970820', '19970904', \
'19980430', '19980519', '19980606', '19980606', '19980606', '19980616', '19980616', \
'19980701', '19980726', '19980914', '19980927', '19990911', '20010826', '20030509', \
'20030901', '20040409', '20040418', '20040515', '20060501', '20060501', '20060523', \
'20060611', '20060804', '20060804', '20070510', '20070814', '20080803', '20080803', \
'20080803', '20080803', '20080803', '20080803', '20080803', '20080803', '20080803', \
'20080803', '20080803', '20110630', '20110630']

dag_aft = ['19960422', '19960820', '19960903', '19960924', '19960924', '19960924', \
'19970427', '19970626', '19970702', '19970702', '19970802', '19970822', '19970906', \
'19980502', '19980521', '19980610', '19980610', '19980610', '19980619', '19980619', \
'19980703', '19980728', '19980916', '19980929', '19990913', '20010828', '20030511', \
'20030903', '20040411', '20040420', '20040517', '20060504', '20060504', '20060525', \
'20060613', '20060807', '20060807', '20070512', '20070816', '20080815', '20080815', \
'20080815', '20080815', '20080815', '20080815', '20080815', '20080815', '20080815', \
'20080815', '20080815', '20110703', '20110703']

### Oversikt over hvor stor usikkerhet innen 2-sigmanivaet man maa regne med dersom
### dagen som erstattes med en interpolert verdi. Noeklene angir hvor mange dager
### etter hverandre som mangler, mens verdiene angir usikkerheten.
error_d = {1: 0.178, 2: 0.21, 3: 0.25, 4: 0.27, 5: 0.28, 6: 0.31, 7: 0.31, 8: 0.32, \
9: 0.32, 10: 0.33, 11: 0.33}

### Kode som leser av doegntilene:
for j in range(len(aar)):
    for i in range(len(mnd)):
        mnd_doserate = 0
        mnd_clt = 0
        mnd_tid = 0
        mnd_usikker_doserate = 0
        mnd_usikker_clt = 0
        for dag in mnd[i]:
            aarmnddag = '%s%s%s' % (str(aar[j]), mnd_nr[i], dag)
            if (aarmnddag not in fjern) and (aar[j] != 2005):
                infile = open('../guvnettverk/results/pr%s%s%s.9275\' \
%(str(aar[j]), mnd_nr[i], dag))
                lines = infile.readlines()
                infile.close()
                usikker_doserate = 0
                usikker_clt = 0
                doserate = 0
                clt = 0
                teller = 17
                start = 0
                stop = 0
                for line in lines[17:]:
                    if aarmnddag == '20070510':
                        if line[19:24] == '11_40':
                            stop += teller
                    if line[19:24] == '10_44':
                        start += teller
                    if line[19:24] == '11_44':
                        stop += teller
                    teller += 1
                minste = 150
                storste = 0
                for line in lines[(start-1):stop]:
                    doserate += float(line[41:47])*(10*(float(line[48:51])))
                    clt += float(line[56:61])
                    if float(line[56:61]) < minste:
                        minste = float(line[56:61])
                    if float(line[56:61]) > storste:
                        storste = float(line[56:61])

```



```

    antall = len(lines[(start-1):stop])
    totaltid = antall*60
    dose = totaltid*doserate
    mnd_doserate += doserate
    mnd_clt += clt
    mnd_tid += totaltid

### Kode for aa erstatte manglende verdier med verdier fra dagene
### tettest foer og tettest etter:
if (aarmnddag in fjern) and (aar != 2005):
    pos = fjern.index(aarmnddag)

### Henter info fra den naermeste dagen FOER
infile = open('../guvnettverk/results/pr%s.9275' %dag_bef[pos])
lines = infile.readlines()
infile.close()
doserate_bef = 0
clt_bef = 0
teller = 17
start = 0
stop = 0
for line in lines[17:]:
    if line[19:24] == '10_44':
        start += teller
    if line[19:24] == '11_44':
        stop += teller
    teller += 1
for line in lines[(start-1):stop]:
    doserate_bef += float(line[41:47])*(10**(float(line[48:51])))
    clt_bef += float(line[56:61])
antall_bef = len(lines[(start-1):stop])
totaltid_bef = antall_bef*60 # gjort om til sekunder

### Henter info fra den naermeste dagen ETTER
infile = open('../guvnettverk/results/pr%s.9275' %dag_aft[pos])
lines = infile.readlines()
infile.close()
doserate_aft = 0
clt_aft = 0
teller = 17
start = 0
stop = 0
for line in lines[17:]:
    if line[19:24] == '10_44':
        start += teller
    if line[19:24] == '11_44':
        stop += teller
    teller += 1
for line in lines[(start-1):stop]:
    doserate_aft += float(line[41:47])*(10**(float(line[48:51])))
    clt_aft += float(line[56:61])
antall_aft = len(lines[(start-1):stop])
totaltid_aft = antall_aft*60

### Regner ut doseraten ved aa vekte dagene foer og etter.
### Bruker linear interpolasjon.
nu = int(aarmnddag[-2:])
bef = int(dag_bef[pos][-2:])
aft = int(dag_aft[pos][-2:])
mnd_doserate += (((doserate_aft - \
doserate_bef)/float(aft - bef))*(nu - bef)) + doserate_bef
mnd_clt += (((clt_aft - clt_bef)/float(aft - bef))*(nu-bef)) + clt_bef
mnd_tid += (((totaltid_aft - \
totaltid_bef)/float(aft - bef))*(nu - bef)) + totaltid_bef
doserate_mangler_dag = (((doserate_aft - \
doserate_bef)/float(aft - bef))*(nu - bef)) + doserate_bef/60.
clt_mangler_dag = (((clt_aft - clt_bef)/float(aft - bef))*(nu-bef)) +\
clt_bef/60.
if (aarmnddag == '19970630') or (aarmnddag == '19970701') or \
(aarmnddag == '20110701'):
    gap = 2
elif (aarmnddag == '19970701') or (aarmnddag == '19980501') or \
(aarmnddag == '19970801'):
    gap = 1
else:
    gap = aft - bef - 1
mnd_usikker_clt += (clt_mangler_dag*error_d[gap])**2
mnd_usikker_doserate += (doserate_mangler_dag*error_d[gap])**2

### Beregner maanedsmidlet doserate og maanedsmidlet CMF med
### tilhoerende usikkerheter
if str(aar[j]) != '2005':

```

```

N_maalinger = mnd_tid/60.
gj_mnd_doserate = mnd_doserate/N_maalinger
gj_mnd_clt = mnd_clt/N_maalinger
mnd_usikker_doserate = (1./N_maalinger)*sqrt(mnd_usikker_doserate)
mnd_usikker_doserate += 0.08*gj_mnd_doserate
mnd_usikker_clt = (1./N_maalinger)*sqrt(mnd_usikker_clt)
mnd_usikker_clt += 0.08*gj_mnd_clt

### Printer ut resultatene til skjermen
print '%d_%10s_%7.3f_%3f_%7d_%d_%(aar[j], mnd_navn[i], \
round(gj_mnd_doserate, 3), round(mnd_usikker_doserate, 3), gj_mnd_clt, mnd_usikker_clt)

```

Listing B.5: Program som plotter relative månedsmidlede doserater og CMF-verdier fra Ny-Ålesund.

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%% mnd middel NA.m %%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%% Program som plotter relative maanedsmidlede doserater og CMF-verdier
%%% mellom 1996 og 2012 (utenom 2005). Plotter ogsaa tilhoerende
%%% lineartilpasninger. Tilsvarende program ble benyttet for Blindern

aar = [1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2006, 2007,...
       2008, 2009, 2010, 2011, 2012];

aar_null = [0 1 2 3 4 5 6 7 8 10 11 12 13 14 15 16];

% APRIL:
apr_dr = [2.1, 2.7, 2.2, 2.0, 2.4, 2.0, 2.0, 1.9, 1.9, 1.6, 2.0, 2.0,...
         2.2, 2.1, 1.7, 1.7];
apr_CMF = [110, 110, 119, 117, 119, 107, 105, 105, 98, 87, 102, 99, 118,...
          107, 95, 96];

% JUNI:
jun_dr = [4.6, 5.1, 5.1, 3.3, 5.5, 4.9, 4.8, 4.2, 4.6, 3.8, 4.5, 4.9,...
         5.1, 4.0, 4.4, 4.7];
jun_CMF = [82, 89, 96, 60, 99, 89, 84, 81, 85, 72, 79, 86, 91, 78, 79, 83];

% JULI:
jul_dr = [3.7, 3.0, 3.2, 3.4, 3.6, 3.6, 3.3, 3.1, 3.0, 3.0, 3.9, 3.8,...
         4.2, 3.1, 3.7, 3.8];
jul_CMF = [69, 53, 58, 64, 64, 67, 61, 58, 55, 56, 67, 69, 74, 61, 65, 70];

% AUGUST:
aug_dr = [2.0, 2.3, 2.0, 1.7, 2.2, 2.1, 2.0, 1.4, 1.9, 2.0, 2.3, 2.4,...
         2.4, 2.3, 2.3, 2.0];
aug_CMF = [60, 67, 56, 53, 66, 59, 56, 44, 57, 58, 67, 71, 66, 69, 63, 58];

% SEPTEMBER:
sep_dr = [0.9, 0.8, 1.0, 0.8, 0.9, 0.7, 1.1, 0.32, 0.9, 0.9, 1.0, 0.8,...
         0.9, 0.9, 0.7, 0.7];
sep_CMF = [78, 66, 80, 64, 68, 60, 88, 42, 77, 80, 79, 64, 78, 76, 58, 66];

dr = [apr_dr; jun_dr; jul_dr; aug_dr; sep_dr];
snitt_dr = [sum(apr_dr)/length(apr_dr); sum(jun_dr)/length(jun_dr);...
           sum(jul_dr)/length(jul_dr); sum(aug_dr)/length(aug_dr);...
           sum(sep_dr)/length(sep_dr)];
CMF = [apr_CMF; jun_CMF; jul_CMF; aug_CMF; sep_CMF];
snitt_CMF = [sum(apr_CMF)/length(apr_CMF); sum(jun_CMF)/length(jun_CMF);...
            sum(jul_CMF)/length(jul_CMF); sum(aug_CMF)/length(aug_CMF);...
            sum(sep_CMF)/length(sep_CMF)];

% Hvis man skal finne okningen i prosent maa dette kommenteres bort og
% aarvariabelen over maa kommenteres. (Dette er for doserate)
%for i = 1:5
%   aar = [0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16];
%   p = polyfit(aar, dr(i,:)/snitt_dr(i), 1);
%   lin = polyval(p, aar);
%   y = p(2) + p(1)*16;
%   okning = (y/p(2) - 1)*100
%end

% Hvis man skal finne okningen i prosent maa dette kommenteres bort og
% aarvariabelen over maa kommenteres. (Dette er for CMF-verdier)
% for i = 1:5
%   aar = [0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16];
%   p = polyfit(aar, CMF(i,:)/snitt_CMF(i), 1);
%   lin = polyval(p, aar);

```

```

%     y = p(2) + p(1)*16;
%     okning = (y/p(2) - 1)*100
% end

for i = 1:5
%Beregner korrelasjonskoeffisientene:
%[r, prob] = corrcoef(dr(i,:)/snitt_dr(i), CMF(i,:)/snitt_CMF(i))
figure(i)
plot(aar_null, dr(i,:)/snitt_dr(i), '-o', 'color', [0.0 0.7 0.4], ...
      'MarkerSize', 7, 'MarkerFaceColor', [0.0 0.7 0.4], ...
      'MarkerEdgeColor', 'k')
hold('on')
plot(aar_null, CMF(i,:)/snitt_CMF(i), '-b^', 'MarkerSize', 7, ...
      'MarkerFaceColor', 'b', 'MarkerEdgeColor', 'k')
hold('on')
p = polyfit(aar_null, dr(i,:)/snitt_dr(i), 1);
lin = polyval(p, aar_null);
%Finner blant annet usikkerhetene til stigningstallene til
%lineartilpasningen til CMF-verdiene:
%god_1 = LinearModel.fit(aar_null, dr(i,:)/snitt_dr(i))
plot(aar_null, lin, '--k', 'LineWidth', 2)
hold('on')
p2 = polyfit(aar_null, CMF(i,:)/snitt_CMF(i), 1);
lin2 = polyval(p2, aar_null);
%Finner blant annet usikkerhetene til stigningstallene til
%lineartilpasningene til CMF-verdiene:
%god_2 = LinearModel.fit(aar_null, CMF(i,:)/snitt_CMF(i))
plot(aar_null, lin2, '--r', 'LineWidth', 2)
hold('on')
plot(aar_null, ones(length(aar_null)), 'k')
hold('off')
axis([0 16 0.35 1.40])
set(gca, 'XTick', 0:4:16)
set(gca, 'YTick', 0.40:0.20:1.40)
set(gca, 'FontName', 'Times', 'FontSize', 14)
xlabel('\AA{r}', 'Interpreter', 'Latex', 'FontSize', 14, ...
      'FontName', 'Times')
ylabel('Relativ_doserate', 'Interpreter', 'Latex', 'FontSize', 14, ...
      'FontName', 'Times')
grid on
set(figure(i), 'Position', [0 0 700 200])
legend('Doserate', 'CMF', 'Location', [0.77 0.28 0.1 0.1])
legend('Doserate', 'CMF', 'Location', [0.77 0.69 0.1 0.1])
legend('boxoff')
%Navnet 'September' maa byttes ut for hver mnd som skal plottes
annotation('textbox', [0.50 0.80 0.1 0.1], 'String', 'September', ...
      'FontSize', 14, 'FontName', 'Times', 'LineStyle', 'none')
title('\textbf{Utvikling_av_maa{}nedsmiddele_doserate_over_Ny-\AA{lesund}}', ...
      'Interpreter', 'Latex', ...
      'FontSize', 14, 'FontName', 'Times')
end

```

Listing B.6: Program som beregner månedsmiddele verdier for total ozonmengde på Ny-Ålesund for måneden april i tidsperioden 1997 - 2012.

```

# -*- coding: utf-8 -*-

#####
### ozon_beregning.py ###
#####

### Inn: data for total ozonmengde fra satellitten TOMS (1996 - 2004)
### og satellitten OMI (2005 - 2012), Ny-Aalesund.
### Ut: maanedsmiddele verdier for total ozonmengde for maaneden april

### Importerer pakker og lignende ###
from scitools.std import *
from math import *
from matplotlib import rc
rc('font', **{'family': 'sans-serif', 'sans-serif': ['Helvetica']})
rc('text', usetex=True)

### Leser filen med ozondata
infile = open('satellitt_NA.txt')
lines = infile.readlines()
infile.close()

### Deklarerer variabler og arrays
aar = 1996

```

```

aar_navn_skudd = ['1996', '2000', '2004', '2008', '2012']
aar_navn_vanlig = ['1997', '1998', '1999', '2001', '2002', '2003', \
'2005', '2006', '2007', '2009', '2010', '2011']
ozon_april = []
ozon_mnd = []

### Leser av ozondata dersom vi er i april. Beregner månedsmiddel dersom
### man kommer over i et nytt aar.
for line in lines[5:]:
    aar_fil = line[0:4]
    dayno = int(line[7:10])
    ozon = float(line[24:29])
    if ((aar_fil in aar_navn_skudd) and (dayno > 91) and (dayno < 122)) or \
((aar_fil in aar_navn_vanlig) and (dayno > 90) and (dayno < 121)):
        if aar_fil == str(aar):
            ozon_mnd.append(ozon)
        else:
            aar += 1
            ozon_april.append(sum(ozon_mnd)/float(len(ozon_mnd)))
            ozon_mnd = []
    if aar_fil == '2012' and dayno == 120:
        ozon_april.append(sum(ozon_mnd)/float(len(ozon_mnd)))

### Skriver ut månedsmidlede verdier for total ozonmengde for aprilmaaned
### for hvert av aarene
for o in ozon_april:
    print round(o, 1)

```

Listing B.7: Program som plottes utviklingen av de relative månedsmidlede verdiene for den totale ozonmengden på Ny-Ålesund for måneden april i tidsperioden 1997 - 2012.

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% ozonplot.m %%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Program som plottes relative månedsmidlede verdier for total ozonmengde
% for Ny-Ålesund for måneden april.

ozon_april = [305.6, 422.3, 453.5, 386.1, 424.2, 396.0, 404.1, 367.6,...
416.9, 400.9, 371.5, 389.8, 410.8, 370.7, 380.7, 431.2];

snitt = sum(ozon_april)/length(ozon_april)

aar = linspace(1997, 2012, 16)

figure(1)
plot(aar, ozon_april/snitt, 'p', 'MarkerSize', 8, ...
'MarkerFaceColor', [0.4 0.1 0.8], 'MarkerEdgeColor', 'k', 'Color', [0.4 0.1 0.8])
hold('on')
plot(aar, ones(length(aar)), 'k')
hold('off')
axis([1997 2012 0.60 1.40])
set(gca, 'XTick', 1997:3:2012)
set(gca, 'YTick', 0.70:0.30:1.30)
set(gca, 'FontName', 'Times', 'FontSize', 14)
xlabel('\AA{}r', 'Interpreter', 'Latex', 'FontSize', 14, ...
'FontName', 'Times')
ylabel('Relativ_ozonmengde', 'Interpreter', 'Latex', 'FontSize', 14, ...
'FontName', 'Times')
grid on
set(figure(1), 'Position', [0 0 700 200])
legend('Ozonmengde')
legend('boxoff')
title('\textbf{Utvikling_av_total_ozonmengde_over_Ny-\AA{}lesund_i_april}', ...
'Interpreter', 'Latex', ...
'FontSize', 14, 'FontName', 'Times')

```