

Målt og Modellert Globalstråling ved Ekofisk og i Nordområdene

Masteroppgave i Meteorologi
Amelie Henden



Geofysisk Institutt
Universitet i Bergen
2011

Forord

Jeg hadde to krav som gjorde at jeg endte opp med denne oppgaven. Den første var stråling, og den andre var at oppgaven skulle være nyttig for noen i fremtiden. Selvfølgelig kunne jeg sagt jeg ville skrive en oppgave om det jeg er mest fascinert av i verden; torden og annet ødeleggende ekstremvær. Men sola er i bunn og grunn opphavet til dem alle, klimaendringer og vær og vind generelt. Så hvorfor ikke bare starte fra bunnen av og ta det deretter.

Da jeg startet på denne oppgaven tenkte jeg at dette kom til å gå strålende men det ble nok en større utfordring enn først antatt. Det er ikke til å komme fra at jeg satt som ett spørsmålstegn og rev meg i håret en gang i blant. Men når man forstår hva man ikke kan, så kan man lære seg det!

En stor takk må gis til alle som har vært med på å gjøre denne oppgaven mulig!

- Jan Asle Olseth - for å alltid passe på at jeg hadde nok å gjøre, og for uvurderlig rettleiding!
- Mamma- for mye mas på dårlige dager, og for å sende dyr sjampo til slitt hår.
- Øystein Godøy - for å sende datasett fra Arktis med hull i, og for å være snill nok til å fikse dem.
- Trond Rafoss - for informasjon om instrumentene og datasettene fra Bioforsk.
- Frank Cleveland - for å ha lappet sammen og vridd litt på figur 3.5, 5.28 og 5.30.
- Angus Munro - for å ha trasket rundt på taket på Ekofisk og for målene i figur 5.30.
- Linda Hagen- for å gjøre det til en vane å lese korrektur på oppgaven min når hun skulle ut å fly.
- En noe drøy forkjølelse - for fornyet energi og motivasjon helt i begynnelsen av arbeidet.
- Facebook og Spotify- sier seg selv!
- Resten som har hjulpet med stort og smått. Jeg har ikke glemt dere! (..bare navnet deres..)

Til slutt vil jeg også takke alle medstudentene på Geofysisk Institutt. Disse 5 årene har vært fantastiske! Takk for lange og gode lunsjpauser, morsomme øyeblikk og godt samarbeid. En spesiell takk til alle dem som kom daffende på lesesalen etter lunsj de dagene jeg ikke gjorde det. Gudene skal vite det fikk meg til å føle meg flink!

Forsidebilde: Fotografi med blitsrose av akvarell malt av Siri Henden

Abstrakt

I dette arbeidet er globalstrålingsdata fra Ekofisk, Arktis og fastlandsstasjoner i Norge og Sverige studert. Stasjonene ligger mellom 56°N og 75°N , og all data er hentet fra perioden 2005 til og med 2010. Målinger i Arktis og fra ett fast punkt over åpent hav, som ved Ekofisk, er sjeldne og kvalitetskontroll er viktig da disse skal benyttes videre innen annet forskningsarbeid. De Arktiske stasjonene og Ekofisk er nylig tatt i bruk som målestasjoner for globalstråling, og blir her kvalitetstestet for første gang. Dette blir også gjort for alle de aktuelle målestasjonene og resultatet er analysert. Det er ett godt samsvar mellom målingene og en globalstrålingsmodell for klarvær. Skyenes egenskaper ved Jan Mayen, Bjørnøya og Holt ble også sett på og sammenlignet med Bergen. Det er et lavere vanninnhold og større klarværsindeks ved de arktiske stasjonene. Globalstrålingsdata fra Ekofisk og Holt har også omliggende objekter plassert nært inntil instrumentene som svekker globalstrålingsmålingene ved enkelte tidspunkt.

Innhold:

1 Introduksjon.....	Side 9
2 Strålingsteori.....	Side 13
2.1 Kortbølget stråling.....	Side 13
2.2 Prosesser som påvirker kortbølget stråling.....	Side 15
2.2.1 Spredning.....	Side 15
2.2.2 Absorpsjon.....	Side 15
2.3 Parametere som påvirker kortbølget stråling.....	Side 16
2.3.1 Solhøyde.....	Side 16
2.3.1 Skyer.....	Side 17
2.3.3 Vanndamp.....	Side 19
2.3.4 Turbiditet.....	Side 19
2.3.5 Albedo.....	Side 19
3 Målestasjonene og klima.....	Side 21
3.1 Målestasjonene og plasseringen av instrumentene.....	Side 21
3.1.1 Arktis.....	Side 22
3.1.2 Pasvik og Holt.....	Side 23
3.1.3 Ekofisk.....	Side 24
3.2 Klimaet ved de ulike stasjonene.....	Side 25
3.2.1 Nedbør og Temperatur.....	Side 26
3.2.2 Skydekke.....	Side 27
3.2.3 Bakketrykk.....	Side 27
4 Data og modell.....	Side 29
4.1 Kilder til data.....	Side 29
4.1.1 CM11 pyranometeret.....	Side 30
4.2 Globalstrålingsdata.....	Side 31
4.3 Modellen.....	Side 32
4.3.1 Inputt til modellen.....	Side 33
5 Resultater og diskusjon.....	Side 37
5.1 Kvalitetstesting og analyse av globalstråling.....	Side 37
5.1.1 Modellerte klarværsverdier og målt globalstråling.....	Side 37
5.1.2 Frekvensfordeling av normalisert klarværsindeks.....	Side 42
5.1.3 Analyse av globalstrålingsdatasettene.....	Side 46
5.2 Skyers effekt på globalstråling.....	Side 49
5.3 utfordringer ved Ekofisk.....	Side 58
5.3.1 Plasseringen av instrumentet.....	Side 58
5.3.2 Differanse mellom målte og modellerte verdier.....	Side 62
5.3.3 Negative målte verdier.....	Side 64
5.4 Horisontens påvirkning ved Holt.....	Side 66
6 Resultater og Diskusjon.....	Side 70
Kildehenvisning.....	Side 73

1 Introduksjon

En rekke prosesser knyttet til klimaet vårt, som daglige og årlige temperaturendringer, fordampning og smelting av snø og is, styres i stor grad av mengden solstråling som treffer jordas overflate. Endringen i solas effekt, mengden watt per kvadratmeter (Wm^{-2}) som treffer jordas overflate, gir blant annet de forskjellige årstidene og samtidig ett mål på hvor kraftig sola er som energikilde. Solas effekt kan endres ved at intensiteten eller avstanden til jorda endres. Å beregne denne effekten ved toppen av jordas atmosfære vil være forholdsvis enkelt. Vanskeligere er det å beregne mengden stråling som treffer jordas overflate. Dette grunnet prosessene som påvirker strålingen på vei gjennom jordas atmosfære. Strålingen fra sola, som etter å ha gått igjennom jordas atmosfære og treffer en horisontal flate, vil i dette arbeidet omtales som globalstråling.

Prosessene som påvirker globalstrålingen styres av atmosfærens sammensetning av gasser og partikler. Å endre atmosfærens sammensetning vil derfor kunne føre til at mer eller mindre globalstråling hindres i å trenge igjennom atmosfæren. Klimaendringer kan dermed oppstå ved at en blant annet endrer atmosfærens mengde vanndamp, ozon eller antropogene aerosoler (partikler og støv i atmosfæren grunnet menneskers levemåte og industri). Hvor mye klimaet påvirkes av dette, med tanke på globalstråling, er svært usikkert, men for langbølget stråling er det påvist en sammenheng mellom atmosfærens innhold av drivhusgassen karbondioksid og temperatur (Petit et al., 1999). Endring i atmosfærens sammensetning, blant annet som følge av menneskelig påvirkning og industri, kan ha vært medvirkende til de siste århundrenes globale oppvarming. Dette har forskerne lenge vært uenige om og temaet diskuteres i blant annet i IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) rapporter og i "Modern global climate change" (Karl & Trenberth, 2003).

Det er ikke bare klimaet som påvirkes av globalstrålingen. Mennesker påvirkes også direkte ved at det produseres D-vitamin når strålingen treffer huden, og for planter er sollys livsnødvendig grunnet fotosyntesen. Landbruket avhenger derfor i stor grad av solstråling da avlinger, beite, skog og mark påvirkes både direkte fra strålingen og indirekte via klimaet. Noen av målestasjonene for globalstråling som ses på i dette arbeidet benyttes derfor i forskning innen landbruk, mens andre benyttes innen klimaforskning.

Skyer er en svært viktig faktor når globalstråling skal studeres. Skyer reflekterer tilbake og sprer den direkte strålingen, og deres tykkelse og utbredelse vil derfor ha mye å si for hvor mye globalstråling som treffer jordoverflaten. Skyenes tykkelse vil i dette arbeidet uttrykkes ved skyens optiske tykkelse, en faktor som forteller hvor vanskelig det er for strålingen å trenge gjennom den. Denne avhenger i størst grad av mengden vann i skyene (Liquid Water Path). Ved høye breddegrader vil skyenes optiske tykkelse minke grunnet at temperatur og innholdet av vanndamp i atmosfæren går ned (Leontieva E. , 1994). Skyenes tilbakekoplingsmekanisme er også mest fremtredende i Arktis der en stor del av den observerte oppvarmingen kommer av endringer i skydekket (Vavrus, 2004).

Arktiske områder virker mer sårbare for globale endringer, da en større endring i klimaet ser ut til å finne sted her enn ved tropene (Cuffey et al., 1995). Siden endringer i klimaet er tydeligere i Arktis enn ved lavere breddegrader kan Arktis derfor fortelle noe om hvordan

klimaet globalt sett er på vei til å utvikle seg. Dersom man vet hvordan endringer i det Arktiske klimaet påvirker klimaet globalt er man på god vei til å forstå hvordan endringer i klimaet vil oppstå og dermed også hvordan disse kan unngås. Forskning på dette området er derfor svært viktig, og korrekte strålingsobservasjoner i nord er nødvendig for å få dette til. Til tross for dette finnes det mindre innsamlet data fra Arktis enn ved sørligere breddegrader, men det finnes prosjekter som jobber med å bedre dette. For eksempel iAOOS (Integrated Arctic Ocean Observing System)¹.

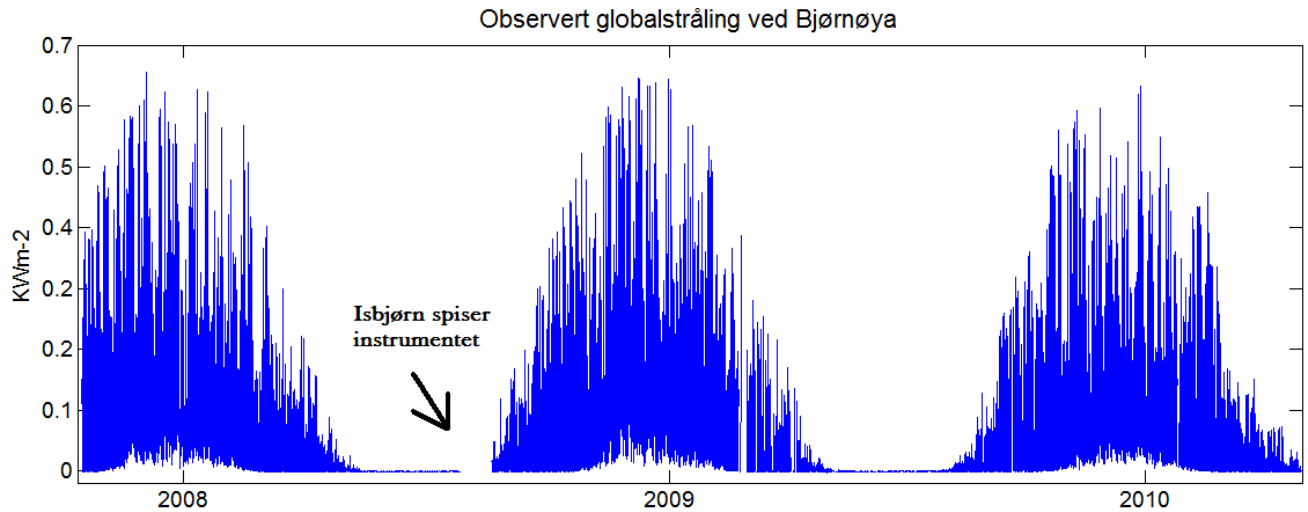
Arktis skiller seg også ut fra lavere breddegrader ved at sola er borte store deler av vinterhalvåret, mens det er midnattssol store deler av sommerhalvåret. Dette fører til høy potensiell solskinnstid der sola står lavt på himmelen. Dette er ofte problematisk ved observasjoner av globalstråling. I tillegg er bakken store deler av året dekket av snø og is. Dersom en oppvarming av polområdene finner sted vil områder der det i dag finnes snø og is heller bestå av flytende vann. En nedgang i globalstråling ble målt i perioden mellom 1950 og 1990, mens en økning i globalstråling er observert etter dette. Denne endringen var også betydelig i polområdene (Stanhill & Callaghan, 1995) selv om menneskelig påvirkning her lokalt sett er liten. Om dette var menneskeskapt og skyltes industri og levemåte er diskutert i flere artikler, blant annet (Wild, 2009) og (Stanhill & Cohen, 2001) men dersom dette er tilfelle tyder det på at polområdene kan ha en kompleks påvirkning på klimaet globalt. Noe som illustrerer godt hvor sårbar Arktis kan være for endringer i det globale klimaet er den positive tilbakekoplingsmekanismen for snø og is. En vannoverflate har i motsetning til snø og is en høy absorpsjonsevne, og globalstrålingen som treffer en slik overflate vil i stor grad absorberes i det øverste vannlaget. Dette vil da varmes opp og føre til ytterligere nedsmelting av polområdene som gjør at en enda større andel av overflata vil bestå av flytende vann.

Strålingsobservasjoner som ved oljeplattformen Ekofisk i Nordsjøen er unik i den forstand at det finnes svært lite observasjoner over åpent hav over lengre tid. Målingene fra Ekofisk er også spesielle da måleinstrumentet er plassert blant master og andre objekter som til enkelte tidspunkt skygger for sola. Det er vanskelig å få tatt faste målinger over åpent hav, men en mulighet i fremtiden vil være å benytte seg av satellitter. Man håper i fremtiden å kunne benytte strålingsmålingene fra blant annet Ekofisk til å verifisere satellittprodukt av stråling over hav. Ett slikt datasett må derfor være så korrekt som mulig, og det er nødvendig å være oppmerksom på alle feil og ødeleggende faktorer som gir uriktige observasjoner. Utenom problemer som følge av plasseringen av instrumentet, kan andre eksempler være feilkalibrering av instrument og svikt i synkronisering mellom instrument og PC. Det er også knyttet en usikkerhet til dataene ved lav sol. Datasett kan også påvirkes av uventede faktorer som sultne isbjørner. Dette var tilfelle ved Bjørnøya i 2009 og grunne dette ses ett tidsrom uten målinger i figur 1.1.

Det vil bli sett på globalstrålingsmålinger fra 7 målestasjoner i nordlige områder og Arktis, mellom 56.5°N (Ekofisk) og 75.5°N (Hopen). Data fra årene 2006-2010 er benyttet der dette var tilgjengelig for alle de norske målestasjonene. For Kiruna er globalstrålingsdata hentet fra perioden mellom 2005 og 2008. De arktiske stasjonene og Ekofisk har nylig blitt tatt i bruk som målestasjoner for globalstråling, og dermed finnes kun begrenset med data

¹ <http://dokipy.met.no/projects/iaaos-norway/radflux.html>

som ikke har gjennomgått en kvalitetskontroll tidligere. Dersom disse datasettene skal benyttes i videre forskning vil det være avgjørende for fremtidige resultater å være oppmerksom på, og kunne korrigere for faktorer som gir uriktig informasjon om globalstrålingen. Kvalitetstesting av datasettene er derfor en viktig og betydelig del av dette arbeidet.



Figur 1.1: Observert globalstråling i kWm^{-2} ved Bjørnøya fra april 2008 og ut 2010.

Oppgaven er delt inn i 6 kapitler. Etter denne introduksjonen, i kapittel 2, følger en kort innføring i strålingsteori, og informasjon om alle målestasjonene og plassering av deres instrumenter finnes deretter i kapittel 3. Datasettene, metoder og modeller som er benyttet i arbeidet beskrives i kapittel 4, og i kapittel 5 blir disse datasettene sammenlignet med modellert klarværsstråling, slik at eventuelle feil eller avvik fra modellen kan oppdages. Skyenes egenskaper og tykkelse ved enkelte av stasjonene blir sett på da en forskjell i breddegrad på omkring 20°N endrer skyenes vanninnhold. Karakteristiske trekk i datasettene ved Ekofisk og Holt vil også bli diskutert. Til slutt, i kapittel 6, gis en kort oppsummering av oppgaven.

2 Strålingsteori

I dette kapittelet følger en kort beskrivelse av hva stråling er og hvilke prosesser den kan utsettes for gjennom jordas atmosfære, samt hvilke parametre som er viktige når globalstråling skal estimeres.

2.1 Kortbølget stråling

Stråling kan beskrives som elektromagnetisk stråling, i form av bølger, eller fotoner, i form av partikler. Ett foton er en elementær partikkel med en spesiell bølgelengde λ . Stråling kan derfor være både partikler og bølger, men er i begge tilfeller energi som strømmer med lysets hastighet. Hvor mye energi denne strålingen inneholder varierer med bølgelengden. Jo kortere bølgelengde, jo mer energirik er strålingen.

All materie sender ut elektromagnetisk stråling med bølgelengder tilpasset sin temperatur, og bølgelengdene er omvendt proporsjonal med temperaturen til objektet det kommer fra. Solas overflate er på nesten 6000 Kelvin og strålingen fra sola er derfor kortbølget og mer energirik enn for eksempel jordas langbølgede stråling.

Den delen av solas kortbølgede stråling som når bakken deles inn i 3 kategorier etter bølgelengde λ :

- Ultrafiolett stråling, omtalt som UV-stråling (0,28 – 0,4 μm)
- Synlig lys (0,4 – 0,7 μm)
- Nær infrarød stråling (0,7 – 4,0 μm)

Fluksen av stråling gjennom et gitt areal kalles irradians og er gitt i Wm^{-2} . Med en gjennomsnittlig sol - jord distanse, d , vil solarkonstanten, S_0 , være

$$S_0 = \frac{L_0}{4\pi d^2} \approx 1368 \text{ Wm}^{-2} \quad (2.1)$$

Dette er irradiansen fra sola på en normal flate ved toppen av jordas atmosfære hvor $L_0 = 3.9 \cdot 10^{26} \text{ W}$ er effekten på strålingen som forlater sola. Tilsvarende kan strålingen på en horisontal flate ved ett gitt tidspunkt beregnes ved å korrigere for sol – jord avstanden. Til dette trenger man i tillegg å vite:

- Eksentrisiteten: avviket i Jorda sin elliptiske bane fra å være sirkulær.
- Tid på året.

Dersom irradiansen på ei horisontal flate skal finnes, er det noen uttrykk det er nødvendig å ha kjennskap til:

- Solhøyde (h) - vinkelen mellom horisonten og midten av solskiva. Solhøyden kan også uttrykkes med Senitvinkelen (θ), vinkelen mellom den lokale normalen til Jordas overflate og midten av solskiva, da $h + \theta = 90^\circ$.
- Deklinasjonsvinkel (δ)- en funksjon av tid på året. Varierer mellom $\pm 23.45^\circ$.
- Timesvinkel (ω)- en funksjon av lengdegrad og tid på døgnet.

Dersom man har oppgitt en breddegrad (φ) vil man sammen med timesvinkel og deklinasjonsvinkel kunne beregne solhøyden:

$$\sin(h) = \cos(\theta) = \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \cos(\omega) \quad (2.2)$$

Den observerte irradiansen når sola står lavt på himmelen blir mindre når den ikke treffer normalt på en flate. Strålingen treffer da bakken på skrå og blir strukket utover ett større område. Dersom strålingen på en hellende flate skal finnes, eller dersom man vil vite hva solhøyden er når den passerer et bestemt punkt i horisonten må man i tillegg vite azimuthvinkelen (ψ). Dette er vinkelen, med klokka, mellom projeksjonen av normalen til overflate og det horisontale og ekte nord. Denne kan finnes ved hjelp av ligningen

$$\sin \psi = \frac{\sin \delta \sin \omega}{\cos h} \quad (2.3)$$

Kortbølget stråling kan deles inn i to kategorier etter hvordan fotonet ble transportert gjennom atmosfæren:

- Direkte stråling - stråling som har gått upåvirket gjennom jordas atmosfære.
- Diffus stråling - stråling som har fått strålingsretningen sin endret etter å ha støtt på gassmolekyler eller partikler i atmosfæren. Denne prosessen kalles spredning, og er grunnen til at det ikke blir helt mørkt selv om man skygger for solskiva som ved en total solformørkelse.

Den kortbølgede strålingen fra sola, som treffer ei horisontalflate på jorda sin overflate, blir ofte omtalt som globalstråling. Globalstråling (G) defineres som summen av direkte stråling (S) og diffus stråling (D).

$$G = S + D \quad (2.4)$$

2.2 Prosesser som påvirker kortbølget stråling

Ett foton på vei gjennom atmosfæren kan oppleve å bli påvirket av to prosesser før det eventuelt treffer bakken:

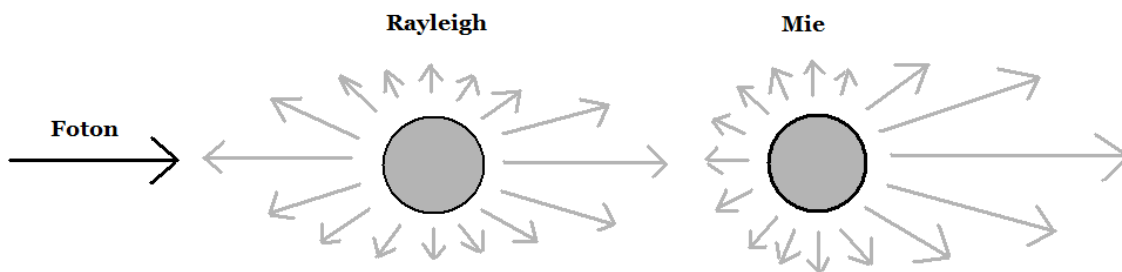
- Spredning
- Absorpsjon

Stråling med forskjellig bølgelengde vil bli påvirket av disse to prosessene i forskjellig grad, ettersom gasmolekyler, aerosoler og skyers påvirkning er avhengig av strålingens bølgelengde.

Spredning + absorpsjon kalles ekstinksjon. Ekstinksjonen forteller hvor vanskelig det er for ett foton å trenge igjennom atmosfæren uten å bli påvirket av dens gasser og partikler. Dersom fotonet når bakken uhindret av disse to prosessene har det blitt transmittert. Dermed kan man si at transmisjon + ekstinksjon = 1.

2.2.1 Spredning

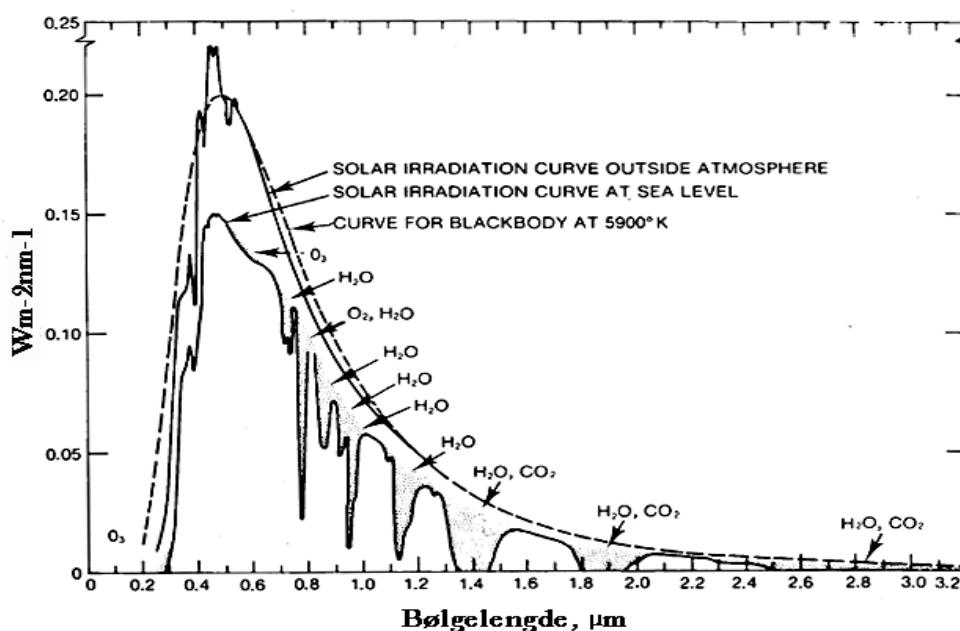
Det finnes to måter stråling kan bli spredt på; Rayleigh og Mie spredning. Rayleigh spredning finner sted der man har små partikler i forhold til bølgelengde, som gasmolekyler, mens Miespredning finner sted der man har store partikler i forhold til bølgelengde, som ved dråper og aerosoler. Rayleigh spredning sprer fotonene i like stor grad fremover som bakover mens Mie sprer for det meste fremover.



Diffus stråling består i større grad av UV-stråling enn direkte stråling. Dette er grunnet at Rayleigh spredning er dominant for kortere bølgelengder og proporsjonal med λ^{-4} .

2.2.2 Absorpsjon

Dersom ett foton treffer et gasmolekyl med en bestemt energi i forhold til fotonets bølgelengde vil det kunne bli absorbert. Forskjellige gasmolekyler vil absorbere fotoner med forskjellige bølgelengder ulikt. Figur 2.1 viser hvordan forskjellige gasser i atmosfæren absorberer den innkommende strålingen fra sola ved forskjellige bølgelengder. For eksempel ses det at ozon (O_3) absorberer de korteste bølgelegdene, mens vanndamp (H_2O) absorberer i ett vidt spekter fra $0.7\mu\text{m}$ og utover.



Figur 2.1: Spektral irradians, som en funksjon av bølgelengde, for ett svart legeme med sola sin temperatur (stiplet linje), strålingen slik den observeres utenfor jordas atmosfære (hel linje) og midlet solstråling ved havnivå etter å ha blitt transportert gjennom jordas atmosfære (nederste kurve)².

2.3 Parametere som påvirker kortbølget stråling

Nedenfor beskrives hvilke parametere som er viktige når globalstråling måles og estimeres. Solhøyden og skyer er de to parametere som påvirker kortbølget stråling i størst grad, men også blant annet turbiditet og bakkens albedo er med på å bestemme hvor mye av strålingen ved toppen av atmosfæren som til slutt vil nå bakkenivå.

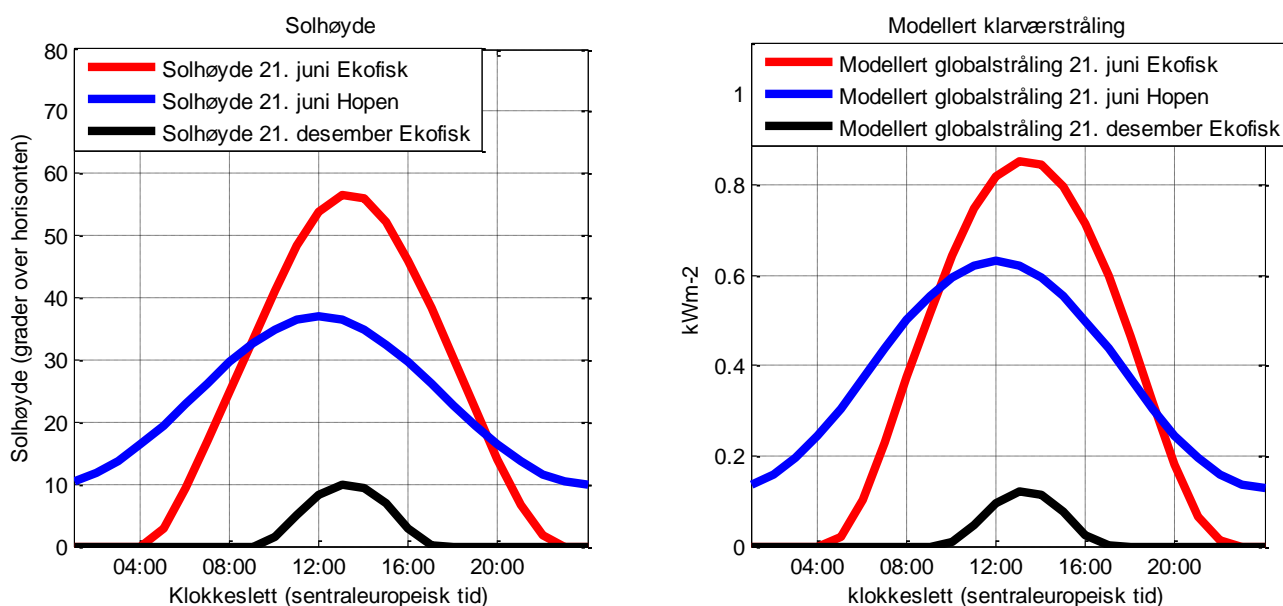
2.3.1 Solhøyde

Den direkte irradiansen i klarvær avhenger av solhøyden. Dersom solhøyden er stor vil strålingen ha en kortere vei å gå gjennom atmosfæren før den treffer bakken. Dette betyr at sannsynligheten for ekstinksjon er mindre. Generelt kan man si at jo lengre avstand fotonene må igjennom mellom toppen av atmosfæren og bakkenivå jo større vil påvirkningen fra atmosfærens gasser og partikler være.

Solhøyden har sin høyeste posisjon ved middag sann soltid og høyden variere fra dag til dag gjennom året. Høyden ved dette tidspunktet varierer med årstid og breddegrad. Se figur 2.2 og ligning 2.2. Grunnet den store avstanden i breddegrad mellom stasjonene er det markant forskjell mellom Ekofisk (56.5°N) i sør og Hopen (75.5°N) i nord når det gjelder tiden sola er over horisonten. De nordlige stasjonene har midnattssol og mørketid. Globalstrålingen er generelt høyest i sommermånedene og ved lavere breddegrader. En

² <http://www.neodc.rl.ac.uk/tutorials/basics/5.htm>

døgnsom om sommeren er derimot høyest for de nordligste stasjonene da midnattssol gir høy globalstråling gjennom ett helt døgn til tross for lavere solhøyde og mindre intensitet.



Figur 2.2: Solhøyden ved Ekofisk og Hopen den 21. juni og for Ekofisk den 21. desember (til venstre) og modellert klarværstrålingen tilsvarende dager ved Ekofisk og Hopen (til høyre).

2.3.2 Skyer

Skyer er den atmosfæriske parameteren som påvirker globalstrålingen i størst grad og gir endringer i mengden globalstråling som treffer bakken fortløpende. Den direkte strålingen kan bli hindret i å nå bakken ved spredning og refleksjon. Skyers effekt på strålingen og klimaet er kompleks.

Ei skys optiske tykkelse er ett mål på hvor mye vann skyen inneholder. I dette arbeidet er vannmengden bestemt ved LWP (liquid water path), som er gitt i g/m^2 . Vannmengden i skyene avhenger i stor grad av temperaturen. Varm luft kan holde på mer vanndamp enn kald luft og på grunn av dette vil skyer som befinner seg langt nord, eller høyt oppe i atmosfæren generelt være optisk tynnere enn f. eks. lave skyer lengre sør. Skyens optiske tykkelse δ avhenger av spredning og absorpsjon fra både gasser og dråper (Graeme L. Stephens, 1984).

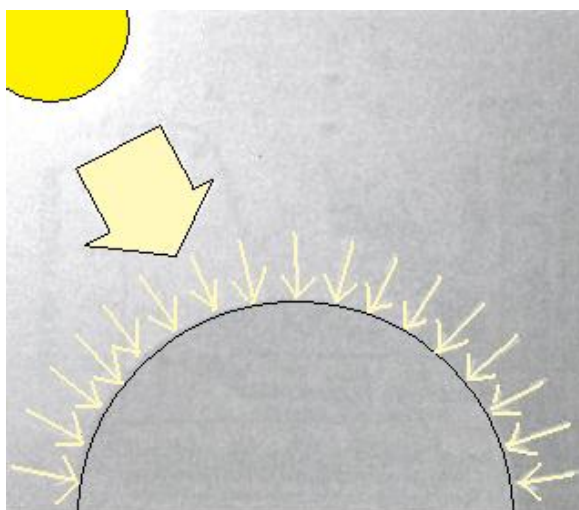
$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_g \quad (2.5)$$

Her er δ_s spredning og δ_a er absorpsjon fra dråper mens δ_g er spredning fra gasser.

En konsekvens av skyer over ett område dekket av snø og is er at noe av strålingen kan reflekteres frem og tilbake mellom bakkenivå og skylaget. Dette fenomenet kalles multippel spredning, og kan føre til økt globalstråling i området. Dette fenomenet vil studeres for Bjørnøya i kapittel 5.2.

Ett skydekke med en tilstrekkelig tykkelse vil svekke globalstrålingen ved å reflektere tilbake direktestråling. Dersom skydekket er spredt vil derimot tilstrekkelig høye skyvegger kunne øke den effektive skymengden. Målinger på bakkenivå kan derfor på kort tidsskala vise høyere globalstråling, da både direktestrålingen og refleksjoner fra skyveggene blir målt. På denne måten kan det måles høyere globalstråling på bakkenivå enn det som treffer toppen av atmosfæren. Denne effekten avtar med måleintervallets lengde.

Ei sky skygger ikke bare for den direkte strålingen. Den vil også kunne skygge for diffus stråling, som i motsetning til direkte stråling er mer isotrop, altså mer likt fordelt over alle himmelretninger. På en klar dag vil diffus stråling være størst nær solskiva, et fenomen kalt "circumsolar brightening", se figur 2.3. På denne måten kan ei sky også minke globalstrålingen ved å skygge for diffus stråling, spesielt om den befinner seg nær solskiva.



Figur 2.3: Fordelingen av diffus irradians i klarvær, består av en circumsolar komponent, mens resten av strålingen er isotrop. Bilde: Jan Asle Olseth.

En skys påvirkning på globalstråling varierer i størst grad etter vanninnhold og solas posisjon. Den faktoren som påvirkes i størst grad er refleksjonen.

Refleksjonen

- Øker med økende vanninnhold
- Øker med minkende solhøyde

Absorpsjon vil også minke globalstrålingen men vil ha en mindre påvirkning enn refleksjonen. Absorpsjon fra vanndamp er liten i forhold til dråpeabsorpsjonen i en sky.

Absorpsjonen

- Øker med økende vanninnhold
- Øker med økende solhøyde

Den delen av globalstrålingen som verken blir reflektert eller absorbert blir transmittert.

Transmisjonen

- Øker med minkende vanninnhold
- Øker med økende solhøyde

2.3.3 Vanndamp

Atmosfærens innhold av vanndamp er svært viktig i strålingsøyemed, og er den største kilden til absorpsjon av kortbølget stråling i klarvær (se figur 2.1). Mengden vanndamp i atmosfæren kan beskrives som mengden utfellbart vann og dette er benyttet i dette arbeidet. Mengden utfellbart vann i atmosfæren regnes i millimeter (mm) som den mengden flytende vann man ville fått dersom man kondenserte all vanndampen i en atmosfærisk søyle.

2.3.4 Turbiditet

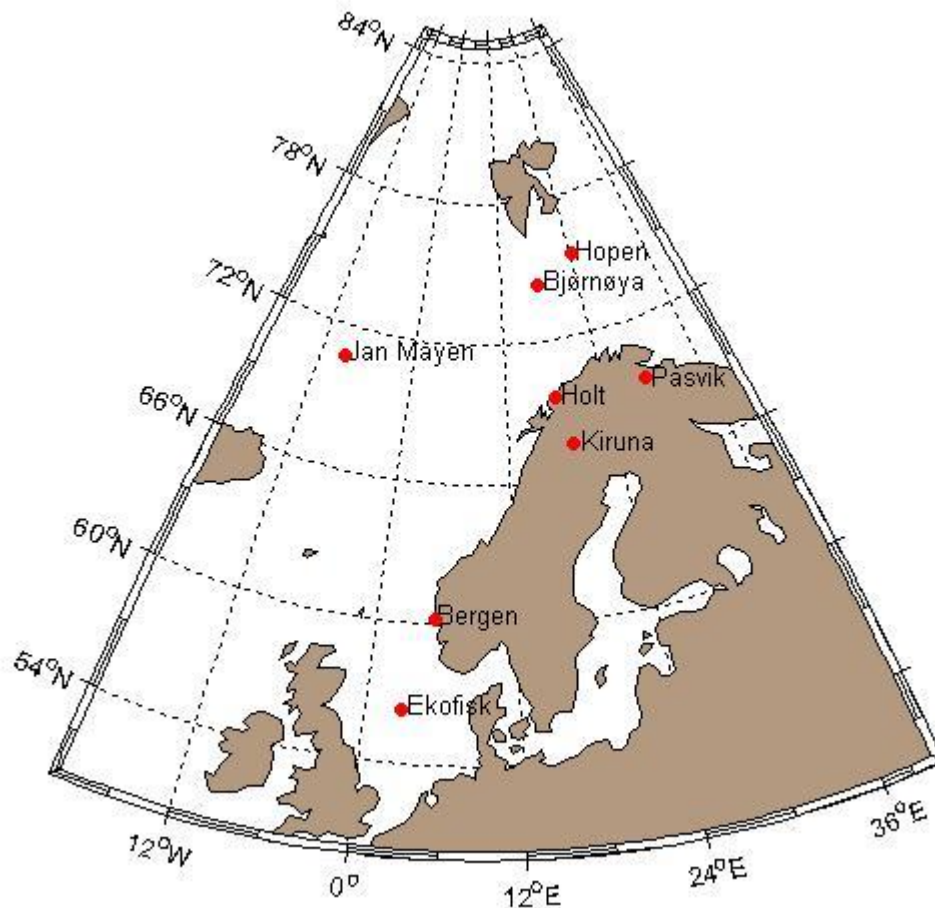
Med atmosfærens turbiditet menes atmosfærens innhold av aerosoler, partikler og dråper. Disse øker ekstinksjonen i atmosfæren og er med på å bestemme atmosfærens optiske tykkelse. Turbiditeten avhenger stort av området man ser på. Ved urbane områder finnes flere aerosoler grunnet luftforurensing fra industri og menneskelige aktiviteter enn for eksempel over hav. Vulkanutbrudd er en stor kilde til høy turbiditet og kan i enkelte tilfeller påvirke den optiske tykkelsen i stratosfæren i flere år.

2.3.5 Albedo

Albedo er gitt som ett tall mellom 0 og 1, og forteller hvor mye av strålingen som reflekteres tilbake til atmosfæren uten å bli absorbert. Albedo på 1 tilsier 100% av strålingen reflekteres, mens en albedo på 0 forteller at 100 % av strålingen absorberes. Snø og is har stor refleksjonsevne og dermed en høy albedo. Flytende vann har lav albedo da mye av strålingen absorberes i det øverste vannlaget. Dersom solhøyden er lav vil derimot flytende vanns refleksjonsevne øke.

3. Målestasjonene og klima

I det følgende kapittelet vil det bli gitt en oversikt over målestasjonenes geografiske plassering, og klimaet i disse områdene vil kort bli beskrevet. Målestasjonene som brukes i dette arbeidet befinner seg mellom 56°N og 76°N , og en oversikt over disse finnes i kartet under og i tabell 3.1.



Figur 3.1: Kart som viser den geografiske plasseringen av de 8 målestasjonene som er benyttet i dette arbeidet.

3.1 Målestasjonene og plasseringen av instrumentene

Plasseringen av instrumentene og målestasjonene har stor betydning for kvaliteten på den observerte globalstrålingen. Høye fjell kan skygge for den direkte strålingen. Det samme kan trær og hus som står plassert nær stasjonen. Stasjonens høyde over havet bestemmer hvor langt strålingen går gjennom atmosfæren, beskrevet i kapittel 2.3.1. Hvide vegger eller glatte flater, snø og is kan også føre til refleksjoner og øke den målte globalstråling. Å vite hvordan instrumentene er plassert er dermed viktig.

Ekofisk, som er en oljeplattform, har instrumentene plassert blant master og andre objekter. Dette kan virke forstyrrende på observasjonene. Jan Mayen, Bjørnøya og Hopen er øyer i Norskehavet og Barentshavet med bemannede meteorologiske stasjoner. De resterende

stasjonene i dette arbeidet finnes på fastlandet i Norge og Sverige. I tabell 3.1 finnes også en oversikt over stasjonene og deres plassering. Data fra Bergen blir i enkelte tilfeller benyttet som sammenligning i kapittel 5.

Stasjon	Breddegrad	Lengdegrad	m.o.h.	Plassering
Ekofisk	56.5°N	3.2°Ø	59m	Nordsjøen
Holt	69.6°N	19°Ø	14m	Norge fastland
Pasvik	69.5°N	30°Ø	36m	Norge fastland
Jan Mayen	70.9°N	8.6°V	10m	Norskehavet
Bjørnøya	74.5°N	19°Ø	16m	Barentshavet
Hopen	75.5°N	25°Ø	4m	Barentshavet
Kiruna	67.5°N	20°Ø	408m	Sverige fastland
Bergen	60.4°N	5.2°Ø	45m	Norge Fastland

Tabell 3.1: Breddegrad, lengdegrad, meter over havet og geografisk plassering for 8 skandinaviske stasjoner som benyttes i dette arbeidet.

I de følgende delkapitlene vil de ulike stasjonene bli presentert på.

3.1.1 Arktis

I dette arbeidet vil de tre stasjonene Jan Mayen, Bjørnøya og Hopen omtales som de Arktiske stasjonene.

Instrumentene på Jan Mayen er plassert på sørøstsiden av den 370 km² store øya med Norges eneste aktive vulkan (2277 m.o.h.). Vulkansk sand er en stor utfordring da den vulkanske sanden kan slite på instrumentene. Derfor er instrumentet plassert på taket av en bygning i håp om at dette fungerer som en spoiler og reduserer det meste av problemet^{*}.

Bjørnøya er ei noenlunde flat øy på 160 km². Øyas høyeste fjell er på 536 m.o.h. Sultne isbjørner viser seg å være ett gjentakende problem ved denne værstasjonen. I 2009 mangler data da en sulten isbjørn tok en jafs av instrumentet og i begynnelsen av 2011 ble også signalkabelen til ett annet instrument ødelagt av isbjørn³.

Hopen er ei langstrakt klippeøy på 46 km². Høyeste punkt ligger 370 m.o.h. Instrumentet som måler globalstråling ble montert her først i november 2009.

Horisontpanorama fra disse stasjonene er ikke tilgjengelig. Dette hadde vært ønskelig spesielt for Jan Mayen som ikke er en like flat øy som de to andre. I tillegg er disse stasjonene dekket av snø og is store deler av året.

1. ³ <http://dokipy.met.no/projects/iaaos-norway/radflux.html>



Figur 3.2: Bjørnøya (venstre) og Hopen (høyre). I midten ses plasseringen av værstasjonen på Jan Mayen. Bilde: Camilla Weum Stjern. Bildene er hentet fra met.no⁴.

3.1.2 Pasvik og Holt

Instrumentene ved Holt og Pasvik blir behandlet noenlunde likt, og skal ses til en gang i uken. I praksis blir dette gjort etter værforholdene. Dersom det snør eller legger seg noe på instrumentet, blir dette tørket av så raskt som mulig. Snø, is eller blader og lignede kan likevel legge seg rundt instrumentet og påvirke observasjonene.

Ved Holt befinner instrumentet seg i en svakt hellende bakke omgitt av fjell. Instrumentet står plassert på midten av en bar med to andre instrumenter plassert mot øst og vest. En instrumenthytte er plassert ett par meter mot nord slik at den kan skygge for lav midnattssol.



Figur 3.3: plassering av instrumentene til Bioforsk på Holt i Tromsø. Foto: Amelie Henden.

⁴ http://met.no/Meteorologi/A_male_varet/Observasjoner_fra_land/Ishavsstasjoner/

3.1.3 Ekofisk

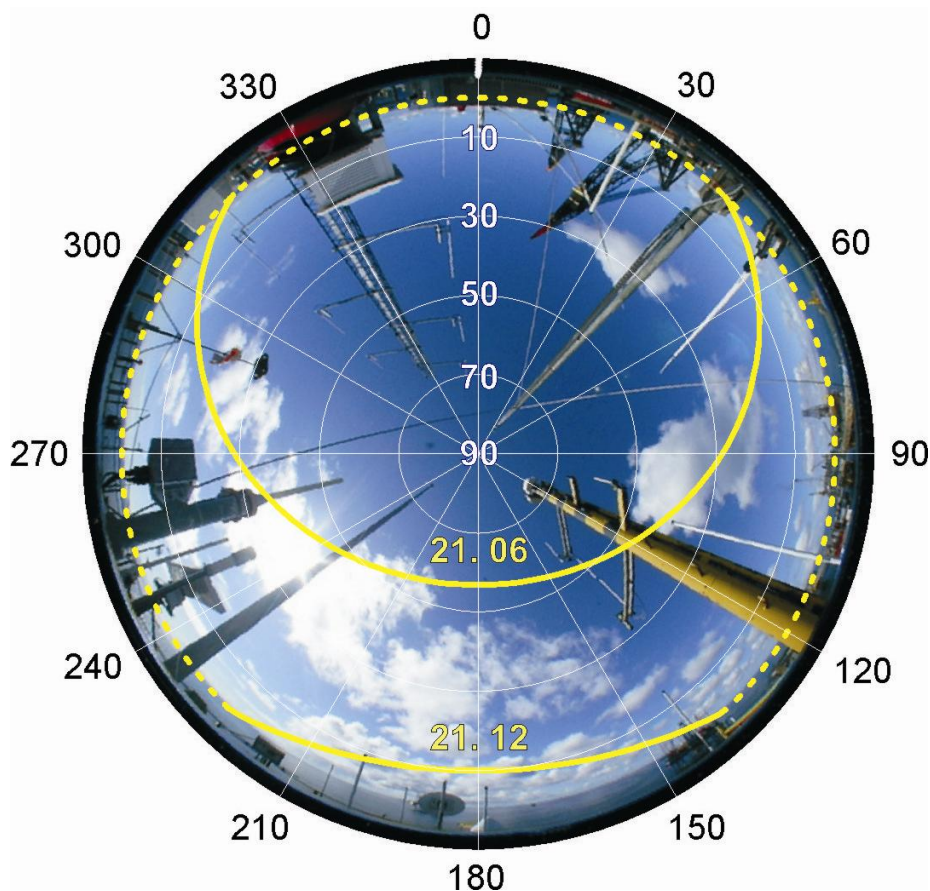
Ett problem som oppstår ved å observere globalstråling på en oljeplattform er at pyranometeret vil stå plassert i ett område med master, andre instrumenter og ulike objekter. Disse vil påvirke observasjonene i større og mindre grad. Årsaken til denne plasseringen er av sikkerhetsmessige årsaker, og for at instrumentene skal være lett tilgjengelige da disse må ses til relativt ofte. Figur 3.4 viser hvordan instrumentene står plassert på taket av en bygning på Ekofisk. En hvit instrumenthytte er plassert nord for instrumentene. Denne vil ikke kunne skygge for direkte stråling slik som ved Holt, men motsatt heller kunne reflektere stråling midt på dagen når sola står i sør. Se mer i kapittel 5.3.2.



Figur 3.4: Plasseringen av 3 strålingsinstrumenter på Ekofisk. Kipp & Zonen CM11 pyranometeret (til venstre), Kipp & Zonen pyrgeometer (midten) og Solar Light UV-biometer (høyre) ses nederst til høyre i bildet. En hvit instrumenthytte kan ses til venstre i bildet. Foto: Jon Halvard Berntsen, met.no.

Figur 3.5 viser et "fisheye" bilde tatt fra UV-biometeret som er plassert ved siden av CM11 pyranometeret på Ekofisk. Bildet gir dermed tilstrekkelig med informasjon om omgivelsene. Bildet viser også solbanen 21. desember og 21. juni, da sola står lavest og høyest på himmelen respektivt. På denne måten vises hvordan de ulike mastene skygger for direkte stråling. Instrumentene er plassert slik at de har ett åpent område mot sør som ikke blir forstyrret av master og andre objekter. Tidsrommet direktestrålingen fra sola ikke forstyrres av objektene, vil i kapittel 5 bli sett på for seg selv.

Ekofisk har ikke vært i bruk som meteorologisk målestasjon over en tilstrekkelig lang nok periode til å kunne ha informasjon om nedbørsmengde, solskinnstid, duggpunktstemperatur og relativ fuktighet. Klimatologiske verdier er derfor ikke mulig å få tak da det ikke ble foretatt observasjoner gjennom perioden 1961 – 1990.



Figur 3.5: "Fisheye"-bilde tatt ved instrumentene på Ekofisk. Solbanene for 21. juni og 21. desember er gitt ved gule kurver. Disse er stiplet og går langs horisonten når sola er under denne. Bildets orientering vises ved gradeskiven på randen av sirkelen der 0° = nord og 180° = sør. Grader over horisonten vises i hvitt i øvre del av bildet der 90° = senit og 0° = horisonten. Fotograf: Kjetil Stiansen

3.2 Klimaet ved de ulike stasjonene

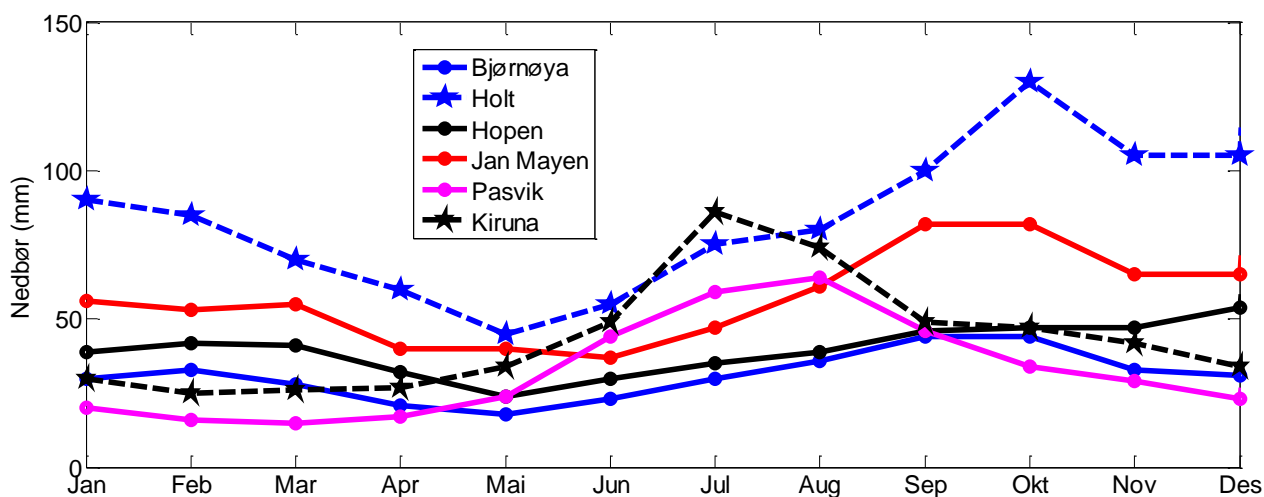
Etter Köppens klimaklassifisering⁵ strekker stasjonene i dette arbeidet seg over 3 klimasoner fra varmtemperert til polart klima. Disse klimasonene blir delt inn etter temperatur- og nedbørsnormaler. Dette samt månedsmiddel av skymengde og trykk vil bli sett på i delkapitlene under.

⁵ http://metlex.met.no/wiki/K%C3%B6ppens_klimaklassifisering

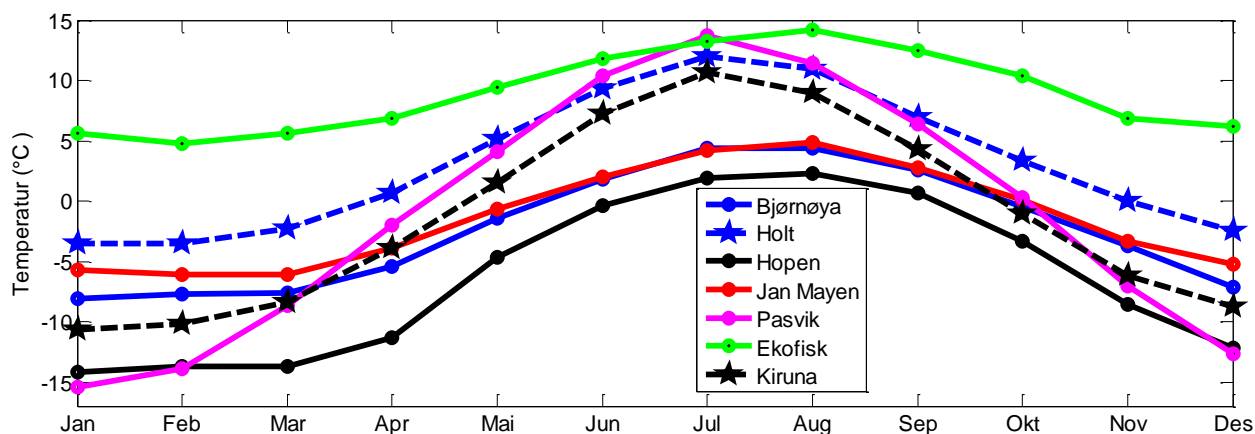
3.2.1 Nedbør og Temperatur

Klimatologisk månedsmiddel for nedbør, vises i figur 3.6, ved alle stasjonene utenom Ekofisk der nedbørsdata mangler. Det kommer tydelig frem at Holt har mest årlig nedbør, og har i likhet med stasjonene i Arktis de tørreste måneder om sommeren. Pasvik og Kiruna har derimot en motsatt fordeling med minst nedbør i vintermånedene.

Figur 3.7 viser at klimatologisk månedsmiddel for temperatur ved stasjonene som ligger i eller nær havområder har mindre sesongvariasjon enn innlandsstasjonen Kiruna. Pasvik er mer skjermet mot Golfstrømmen, og har sesongvariasjoner i temperatur som minner om Kiruna.



Figur 3.6: Klimatologiske månedsmiddel av nedbør for 5 Norske stasjoner i perioden 1961 – 1990 (eKlima.no). Klimatologisk månedsmiddel i samme periode fra Kiruna er fått fra SMHI. Nedbørsmålinger for Ekofisk finnes ikke i denne perioden.



Figur 3.7: Klimatologisk månedsmiddel av temperatur for 6 norske stasjoner i perioden 1961-1990 (eKlima.no). Klimatologisk månedsmiddel for Kiruna er data fått fra SMHI.

Ut i fra temperatur og nedbørnormalene har Holt (Tromsø) et kaldtemperert klima der den varmeste måneden er over 10°C og den kaldeste måneden er under -3°C. Her er det forholdsvis fuktig hele året, med kalde og korte sommere. Pasvik ligger ved grensen til Russland, og ligger skjermet mot en større påvirkning fra den forholdsvis varme

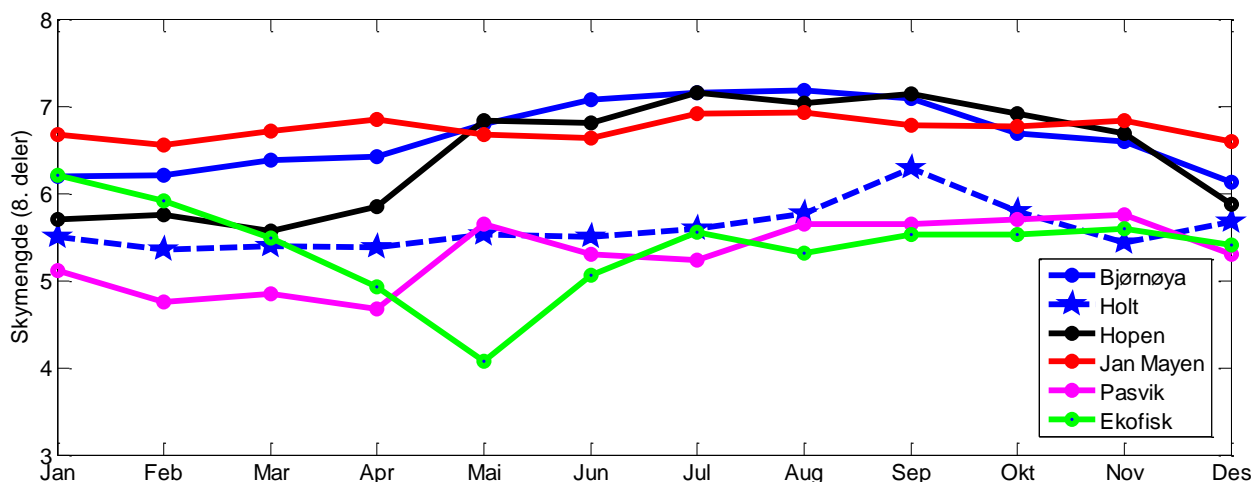
Golfstrømmen. Dette gjelder også Kiruna, som ligger i innlandet i Sverige. Selv om Pasvik og Kiruna faller inn under ett kaldtemperert klima, i likhet med Holt, er sesongvariasjonene her større. Størst er de for Pasvik der månedsmiddeltemperaturen varierer fra -15.4°C til 13.7°C gjennom året.

Jan Mayen, Bjørnøya og Hopen befinner seg i en polar klimasone, da månedsmiddeltemperaturen er under 10°C gjennom hele året. Bjørnøya er betydelig tørrere enn Jan Mayen, mens Hopen, som ligger lengst nord, er den kaldeste av disse stasjonene.

For Ekofisk mangler en nedbørsnormal, men stasjonen befinner seg i en varmtemperert klimasone i likhet med store deler av kyst-Norge.

3.2.2 Skydekke

Figur 3.8 viser månedsmiddel av skydekket i perioden 2001-2010 for 5 av de norske stasjonene. For Ekofisk er månedsmidlene beregnet fra observasjoner i perioden 2007-2010. Data fra Kiruna mangler.

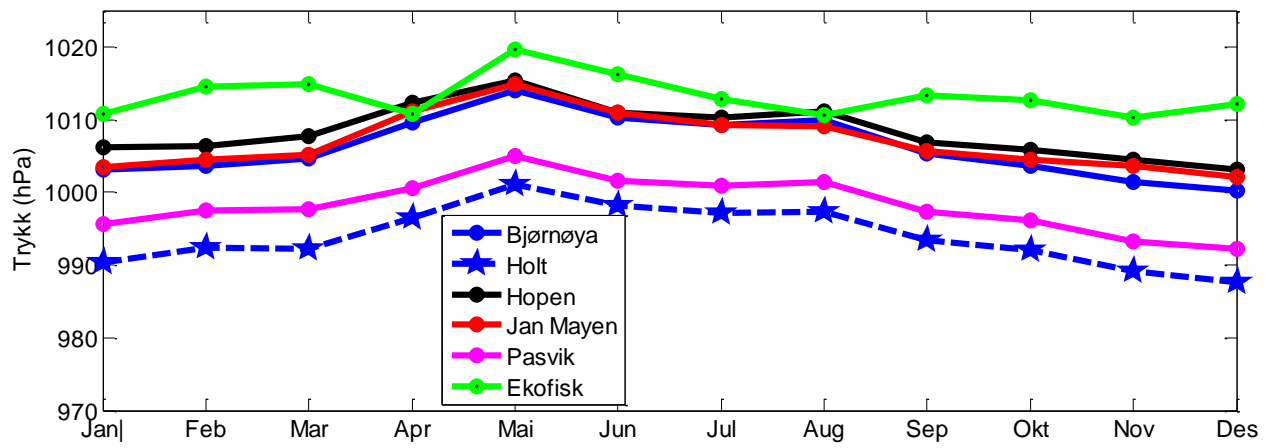


Figur 3.8: Klimatologiske månedsmiddel av skymende i 8. deler for alle stasjoner, utenom Kiruna. Månedsverdiene er beregnet ut i fra observasjoner i perioden 2001-2010 for alle stasjonene utenom Ekofisk, der perioden er 2007-2010. Data hentet fra eKlima.no.

Spesielt i sommermånedene ses en tendens til et mer utbredt skydekke ved Jan Mayen, Bjørnøya og Hopen. Dette fører dermed til få observerte klarværsdager ved disse stasjonene. Dette ses nærmere på i kapittel 5.1.3.

3.1.3 Bakketrykk

Klimatologisk månedsmiddel av trykket ved stasjonene, figur 3.8, viser at Jan Mayen, Bjørnøya, og Hopen noenlunde jevnt over har ett høyere lufttrykk enn Holt og Pasvik. Verdiene er hentet fra observasjoner mellom 1961-1990. For Ekofisk er verdiene beregnet for spredte verdier mellom 2003 og 2010 der dette var tilgjengelig. Videre i dette arbeidet blir trykket satt til en standard på 1013hPa når globalstråling skal modelleres. Dette vil ikke gi ett betydelig utslag i modelleringen. Se kapittel 4.3.1.



Figur 3.8: klimatologiske verdier av bakketrykk for de norske stasjonene i perioden 1961-1990 utenom Ekofisk, der perioden er 2003-2010. Data er hentet fra eKlima.no.

4 Data og modell

Når globalstråling skal studeres kan man måle den direkte ved hjelp av ett pyranometer, eller estimere den ved å benytte en strålingsmodell. I dette arbeidet blir datasett bestående av både observerte og modellerte verdier benyttet, og i dette kapittelet vil globalstrålingsdataene og strålingsmodellen bli gjennomgått.

4.1 Kilder til data

Globalstrålingsdata som benyttes i dette arbeidet er hentet fra flere forskjellige institusjoner. Nedenfor følger kort litt informasjon om disse.

Meteorologisk Institutt startet sin virksomhet i Oslo i 1866. En av oppgavene er å ha et godt meteorologisk observasjonsnett i Norge, nærliggende havområder og på Svalbard. Det finnes i dag nær 700 slike observasjonsstasjoner. I de senere år har meteorologisk institutt startet målinger av stråling ved 3 arktiske stasjoner:

- Jan Mayen
- Bjørnøya
- Hopen

Globalstrålingsdata og UV-data fra Ekofisk kommer som ett resultat av ett samarbeid mellom Meteorologisk institutt, Geofysisk institutt i Bergen og Statens strålevern.

Bioforsk er et forskningsinstitutt innen landbruk, matproduksjon, plantehelse, miljø og ressursforvaltning. Bioforsk har sju forskningssentre med avdelinger over hele Norge. Bioforsk driver Landbruksmeteorologisk tjeneste (LMT). Globalstrålingsdata fra stasjonene i det nordlige fastlandsnorge er hentet fra LMT:

- Pasvik
- Holt

SMHI (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut) ble opprettet i 1919 og tilsvarende Norges meteorologiske institutt. SMHI har hovedkontoret lokalisert i Norrköping i Sverige, og globalstrålingsdata fra Kiruna kommer fra SMHI.

Meteorologisk Institutt's klimadatabase, eKlima.no, er åpen for alle og gratis å bruke⁶. eKlima.no inneholder data fra alle værstasjoner som de har i drift i dag. Her blir det hentet klimatologiske verdier og månedsmiddel som benyttes i modellen, samt skyobservasjoner, for de norske stasjonene.

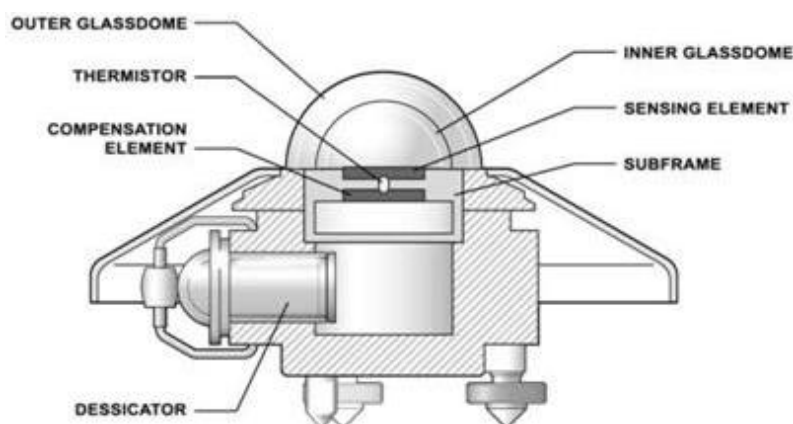
⁶http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73.39035.73_39049&_dad=portal&_schema=PORTAL

Ved alle stasjonene er CM11 pyranometer benyttet til å måle globalstrålingen, og dette instrumentet vil bli beskrevet nærmere i avsnittet under.

4.1.1 CM11 Pyranometer

Alle målinger av globalstråling i dette arbeidet er gjort med CM11 pyranometre fra Kipp & Zonen. Dette instrumentet estimerer globalstrålingen på en horisontal flate ut i fra temperaturdifferanser. Temperatursensorer i en sensorflate varmes opp av solas stråling, mens temperatursensorer i instrumentets indre ikke påvirkes av solstrålingen. Sensoren som varmes av globalstrålingen ligger beskyttet under to glasskupper som forhindrer temperatursvingninger fra andre faktorer. To kupler hindrer også en påvirkning av en eventuell langbølget stråling fra den ytre kuppelen. I tillegg kan instrumentet være ventilert, noe som skal forhindre dugg og isdannelse på utsiden av den øverste kuppelen. Dugg på innsiden av kuppelen skal forhindres av en beholder med ett kjemisk stoff som trekker til seg fuktighet.

Instrumentet i seg selv regnes som svært nøyaktig, men unøyaktigheter kan oppstå ved feilkalibreringer eller at snø, støv, dråper eller fugleekskremitter legger seg på glasskuppelen. På grunn av dette bør instrumentet ses til og tørkes av jevnlig. Instrumentet kan også komme ut av vater, eller påvirkes av elektriske feil, dårlige kontakter og kabler. Globalstrålingsmålinger skal i teorien ikke kunne bli negative men små negative verdier kan likevel måles når sola er under horisonten.



Figur 4.1: CM11 pyranometer fra Kipp & Zonen⁷. Benyttes ved alle stasjonene i dette arbeidet.

Grunnet mye lav solhøyde ved stasjonene i dette arbeidet kan man få en feil fra en såkalt cosinuseffekt. Cosinuseffekten er instrumentets respons på innfallsvinkelen til strålingen. Ved lav sol vil instrumentet kunne ha problemer med å måle nøyaktig globalstråling på en horisontal flate men CM11 instrumentene er kjent for at feilen ved lav solhøyde er liten, og skal ikke være på mer enn 1%⁸. Likevel vil dette problemet kunne unngås ved å ekskludere observasjoner med tilstrekkelig lav solhøyde. I dette arbeidet utelates i de fleste tilfeller observasjoner med en solhøyde under 10°.

⁷ http://users.du.se/~ffi/SERC/Hybrid/technical_data_files/image013.jpg

⁸ <http://meteostanice.agrobiologie.cz/figs/cm11.pdf>

4.2 Globalstrålingsdata

Globalstråling fra stasjonene blir gitt som ett datasett bestående av målinger og tidspunktet de er foretatt i. Lengden på datasettet avhenger av hvor lang måleserien er og hvor hyppig målingene er blitt gjort. I dette delkapittelet følger nødvendig informasjon om datasettene som ses på i dette arbeidet og som er nødvendig for at målte data kunne sammenlignes med modellestimat.

Datasettene med globalstråling som ikke er behandlet eller kvalitetstestet kan inneholde feil og mangler. Synkronisering mellom instrument og PC kan føre til at ett bestemt tidspunkt kan få tildelt to målinger, mens ett tidspunkt der en måling ble foretatt faller bort. Datasett er spesielt sårbare dersom instrumentet byttes ut eller oppgraderes, da forskjellig kalibrering på instrumentene kan gi betydelige endringer i verdiene. Større hull i datasettene kan oppstå ved strømbrudd eller andre tekniske feil. I tabell 4.1 finnes en oversikt over måleperioden, måletidspunkt og intervaller for globalstrålingsdata benyttet for hver enkelt stasjon i dette arbeidet.

Stasjon	Måleperioden	Instrument	Måletidspunkt	Måleintervaller
Ekofisk	26. okt.2007-31. des.2010	CM11	UTC	10 min
Holt	1. jan.2007-31. des.2010	CM11	UTC+1	1 time
Pasvik	1. jan.2007-31. des.2010	CM11	UTC+1	1 time
Jan Mayen	8. nov.2008-31. des.2010	CM11	UTC	1 time
Bjørnøya	2. apr.2008-31. des.2010	CM11	UTC	1 time
Hopen	3. nov.2009-31. des.2010	CM11	UTC	1 time
Kiruna	1. jan.2005-31.des.2008	CM11	UTC+1	1 time

Tabell 4.1: Måleperiode og instrument til måling av globalstråling, måletidspunkt og måleintervaller.

Der datasettene har manglende verdier, blir denne satt lik null. Dette gjøres for at en sammenligning med modellen lettere lar seg gjøre og tidsrom med manglende data kan ses på enkelte figurer, som streker langs x-aksen.

Det er også viktig å vite hvilken tid målingene er gjort i da disse nødvendigvis ikke er like for hvert datasett, eller i samme tid som modellen. Dersom tidsforskyvninger mellom modellen og datasettet ikke korrigeres for vil dette føre til at observasjonene ikke sammenlignes med den tilsvarende modellerte verdien. For Jan Mayen, Bjørnøya og Holt er målingene gjort i UTC (Universell Tid / Greenwich Mean Time). For Pasvik, Holt og Kiruna er målingene gjort i UTC+1 (sentraleuropeisk tid). For alle disse stasjonene er målingene gitt som timesverdier der den målte verdien er snittet av målingene mellom den timen som er oppgitt og timen etter. For Ekofisk er observasjonene 10minutts verdier der verdien er snittet mellom det oppgitte tidspunktet og de 10 neste minuttene. Modellen er kjørt i lokaltid (UTC+1). Forskjellen i tid mellom målingene og modellen er korrigert for.

Modellen beregner globalstråling for 365 dager i året. Derfor vil skuddåret 2008, som har 366 dager, ha en dag mer enn modellen. De målte verdiene for 29. februar 2008 er derfor ikke med i dette arbeidet.

4.3 Modellen

En klarværsmodell benyttes til å beregne global irradians på en horisontal flate. Den opprinnelige modellen er ”The McMaster Model” (Davies, 1982) som ble utviklet ved McMaster universitetet i Canada. Modellen estimerer global irradians, G_0 , for klare dager ved ligningen

$$G_0 = I_0 + D_0 = I_0 + D_R + D_A \quad (4.1)$$

der global irradians er summen av direkte stråling (I_0) og diffus stråling (D_0). Den diffuse strålingen deles igjen inn i to komponenter, diffus stråling fra Rayleigh spredning (D_R) og spredning fra aerosoler (D_A). Her er

$$I_0 = S' \sinh [T_r(o), T_r(R) - a_w] T_r(a) \quad (4.2)$$

$$D_R = S' \sinh T_r(o) \frac{[1 - T_r(R)]}{2} \quad (4.3)$$

$$D_A = S' \sinh [T_r(o), T_r(R) - a_w] \cdot [1 - T_r(a)] \omega_0 f \quad (4.4)$$

S' = den aktuelle solstrålingen ved toppen av atmosfæren, normalt på strålingsretningen.
 h = solhøyden.

ω_0 = det spektrale middelet av ”single scattering albedo” for aerosoler.

f = andelen av foroverrettet spredning av den totale spredningen fra aerosoler.

a_w = absorptiviteten av vanndamp.

$T_r(o)$ = transmisiviteten etter ozon absorpsjon.

$T_r(R)$ = transmisiviteten etter Rayleigh spredning.

$T_r(a)$ = transmisiviteten etter spredning og absorpsjon i aerosoler.

For å beregne globalstråling ved fullstendig overskyet er McMastermodellen kombinert med en transmisjonsmodell (G. L. Stephens, 1978a) og (G. L. Stephens, 1978b).

Modellen er kjørt i lokaltid uten korrigerings for sommertid med 60 kalkulasjoner per time, og gir timesverdier, døgnverdier og månedsverdier for

- Globalstråling
- Diffus stråling
- Direkte stråling

I dette arbeidet blir timesverdier og døgnverdier benyttet. Modellen gir også ut tilhørende solhøyde og azimuthvinkel for hver timesverdi.

En modell med parameteriseringene fra McMastermodellen er benyttet til å beregne verdier av klarværsstråling for hvert 10. minutt ved Ekofisk.

4.3.1 Input til modellen

Modellen som benyttes til å estimere globalstrålingsverdier trenger inputverdier for hver stasjon. Nedenfor følger informasjon om de forskjellige inputverdiene som modellen krever.

Geografisk plassering og tid på året/ dagen

Bredde- og lengdegrad til stasjonene (tabell 2.1) sammen med dag i året og tid på dagen er nødvendig input for å kunne beregne solas posisjon. Dette gjøres ved hjelp av ligning 2.2 og 2.3 fra kapittel 2.1.

Albedo

En typisk verdi av albedoen blir benyttet i modelleringen etter hva slags område som finnes ved stasjonene i de aktuelle månedene. Observasjoner fra eKlima og figurene i kapittel 3 er sett på for å bestemme dette.

Albedo		
Område	Variasjon	Typisk verdi
Dypt vann: lav breddegrad, lite vind	5-10	7
Dypt vann: høy breddegrad, mye vind	10-20	12
Kort grønn vegetasjon	10-20	15
Skog	10-25	17
Skog med sjø	20-35	25
Sjøis uten snø	25-40	30
Gammel smeltende snø	35-65	50
Tørr kald snø	60-75	70
Fersk tørr snø	70-90	80

Tabell 4.2: Typisk verdi og variasjon i albedo fra ulike overflatetyper (Hartmann, 1994).

Vanndamp

I det nær infrarøde området vil kortbølget stråling hovedsakelig absorberes av vanndamp ($> 0.7\mu\text{m}$). Dersom mengden utfellbart vann i atmosfæren dobbles vil den årlige globalstrålingen svekkes med 5.7% i følge modellen. Til sammenligning vil en dobling av mengden ozon svekke den årlige modellerte globalstrålingen med 2.5%*. Vanndamp står altså for den største delen av absorpsjon av globalstråling. Siden denne faktoren gir størst utslag på modellen, er en nøyaktig mengde utfellbart vann for hver enkelt stasjon ekstra viktig.

* Tallene gjelder klarværsmodellering med inputverdier for Jan Mayen.

Klarværsmodellen bruker mengden utfellbart vann, w , som input, og slike data er sjeldent direkte tilgjengelig. Duggpunktstemperaturen T_d , den temperaturen luften må avkjøles til for å bli mettet på vanddamp, kan benyttes som inputverdi i stede for mengden utfellbart vann. Modellen regner da om duggpunktstemperaturen til mengden utfellbart vann, w , med ligningen

$$w = \exp^{0.07 T_d - 0.075} \quad (4.5)$$

hvor tallene 0.07 og 0.075 er konstanter for 60. breddegrad (Perez, 1990). Her er T_d månedsmiddel av duggpunktstemperaturene for hver enkelt stasjon.

Duggpunktstemperaturen kan igjen beregnes ut i fra relativ fuktighet og lufttemperatur dersom målinger ikke finnes. I dette arbeidet er relativ fuktighet og temperatur benyttet til å beregne duggpunktstemperaturen ved hjelp av ligningen

$$T_d = \frac{b \left(\frac{aT}{b+T} + \ln \left(\frac{RH}{100} \right) \right)}{a - \left(\frac{aT}{b+T} + \ln \left(\frac{RH}{100} \right) \right)} \quad (4.6)$$

Der $a = 17.271$ og $b = 237.7$ og den beregnede verdien har en usikkerhet på $\pm 0.4^\circ\text{C}$ ⁹

For mange av stasjonen var data om relativ fuktighet vanskelig å få takt i. I tabell 4.3 ses en oversikt over data duggpunktstemperaturen er beregnet ut i fra. For Ekofisk finnes kun noen få målinger av både duggpunktstemperatur og relativ fuktighet fr 2006. Mellom mai og september benyttes data fra Lindesnes fra 2009, da disse så ut til å stemme noenlunde godt overens med temperaturene for resten av året ved Ekofisk i 2006.

Duggpunktstemperatur (T_d) beregnet fra målt relativ fuktighet (RH) og temperatur (T)				
Stasjon	Antall målinger	Enhet	Målinger mellom tidspunktet	
Ekofisk*	182	Døgnverdier	Jan 2006	Des 2006
Holt	241	Månedsverdier	Jan 1990	Jan 2010
Pasvik	116	Månedsverdier	Jan 2001	Aug. 2010
Jan Mayen	23	Månedsverdier	Okt 2008	Aug. 2010
Bjørnøya	38	Månedsverdier	Feb 2006	Des 2009
Hopen	38	Månedsverdier	Jan 2006	Des 2009
Kiruna	172 774	Timesverdier	Jan 1983	Des 2002

Tabell 4.3: Data duggpunktstemperaturen beregnes ut i fra. *I perioden mai til september for Ekofisk er T_d er hentet fra Lindesnes 2009.

⁹ <http://www.paroscientific.com/dewpoint.htm>

Luftfuktigheten i de nordlige områdene er lav slik at konsekvensene av å ha noe mangelfull data ikke blir så stor. Konsekvensene hadde vært større dersom stasjonene hadde befundet lengre sør der varmere luft kan holde på mer fuktighet.

Ozon

Den totale mengden ozon i en vertikal kolonne i atmosfæren er gitt i enheten ”atmosfærisk cm”. Dette er høyden ei kolonne kun bestående av ozon hadde fått dersom all ozon ble fraktet ned til temperatur og overflate trykk. Mengden ozon er i tabell 4.5 gitt i cm (NTP) og hentet fra (Iqbal, 1983). Her er månedsverdier av ozonmengden for hver 10. breddegrad oppgitt. For stasjoner som befinner seg midt mellom to verdier er gjennomsnittet benyttet.

Ozon												
Måned Stasjon	Jan	Feb	Mars	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Nov	Des
Ekofisk	0,33	0,38	0,40	0,39	0,38	0,36	0,34	0,32	0,30	0,33	0,29	0,31
Hopen	0,34	0,40	0,46	0,43	0,40	0,36	0,34	0,31	0,29	0,28	0,29	0,31
Bjørnøya	0,34	0,40	0,46	0,43	0,40	0,36	0,34	0,31	0,29	0,28	0,29	0,31
Jan Mayen	0,34	0,40	0,45	0,42	0,40	0,36	0,34	0,31	0,29	0,28	0,29	0,31
Pasvik	0,34	0,40	0,45	0,42	0,40	0,36	0,34	0,31	0,29	0,28	0,29	0,31
Holt	0,34	0,40	0,45	0,42	0,40	0,36	0,34	0,31	0,29	0,28	0,29	0,31
Kiruna	0,34	0,40	0,45	0,42	0,40	0,36	0,34	0,31	0,29	0,28	0,29	0,31

Tabell 4.5: Månedvis ozonmengde (NTP) for alle stasjoner (Iqbal, 1983).

Utenom vanndamp og ozon absorberes også stråling ved for eksempel karbondioksid og oksygen, men disse verdiene er små. I denne forholdsvis enkle modellen er absorpsjon fra gasser utenom ozon inkludert i vanndampsabsorpsjonen.

Optisk tykkelse for aerosoler

Modellen estimerer selv aerosol optisk tykkelse τ_a ved å benytte seg av månedsverdien av mengden utfellbart vann som allerede er blitt estimert fra Td.

$$\begin{aligned}\tau_a &= 0.672 \tau_{0.5} - 0.08 \tau_{0.5}^2 \\ \tau_{au 0.55} &= 0.1 + 0.05 \cdot W\end{aligned}\quad (4.7)$$

Hvor $\tau_{0.5}$ er aerosol optisk tykkelse ved $0.5\mu\text{m}$ og W er mengden utfellbart vann (cm). (Skartveit & Olseth, 1992)

Trykk

Standard lufttrykk er satt til 1013hPa ved alle stasjoner. Dette vil ikke utgjøre noen større forskjell i modelleringene selv om trykket ved de ulike stasjonene avviker noe fra dette, se

figur 3.4. Modellen ble kjørt med maks og min trykk observert i Norge, 1061hPa ved Mandal og 940hPa ved Bergen, og ga maksimalt en forskjell på 4.5Wm^{-2} *

Horisontpanorama

Ett horisontpanorama består av informasjon om horisonten for hver 10. grad i alle horisontale himmelretninger, til sammen 36 verdier. Modellen krever ikke denne informasjonen som en inputverdi, men dersom dette benyttes tar modellen hensyn til at den direkte stråling kan skygges for, eller at diffus stråling kan bli reflektert.

* Tallet gjelder klarværsmodellering med inputverdier for Holt.

5 Resultater og diskusjon

I dette kapitlet vil globalstrålingsdata fra hver av de aktuelle målestasjonene først gjennomgå en kvalitetskontroll. Deretter vil skyenes egenskaper ved Jan Mayen, Bjørnøya og Holt bli sett på og sammenlignet med Bergen. I tillegg vil data fra stasjonene Ekofisk og Holt bli studert nærmere.

5.1 Kvalitetstesting og analyse av globalstråling

Som en del av kvalitetstesting av globalstrålingsmålingene blir disse sammenlignet med modellerte klarværsverdier, modellert med modellen beskrevet i kapittel 4.3. Først blir døgnvis, eller akkumulert, målt og modellert globalstråling sammenlignet. Deretter blir det laget en klarværsindeks for hver timesverdi, eller 10minuttsverdi, som er gitt med ligningen

$$\text{klarværsindeks} = \frac{G_{\text{målt}}}{G_{\text{mod}}} \quad (5.1)$$

Her er $G_{\text{målt}}$ den målte globalstrålingen, mens G_{mod} er den modellerte globalstrålingen i klarvær for de målestasjonene som er gitt i tabell 4.1. Døgnverdiene er beregnet som en akkumulert døgnsum av både målte og modellerte timesverdier av globalstråling for alle stasjoner uten om Ekofisk, der en akkumulert verdi av 10minuttsverdier benyttet innenfor ett gitt tidsrom er benyttet.

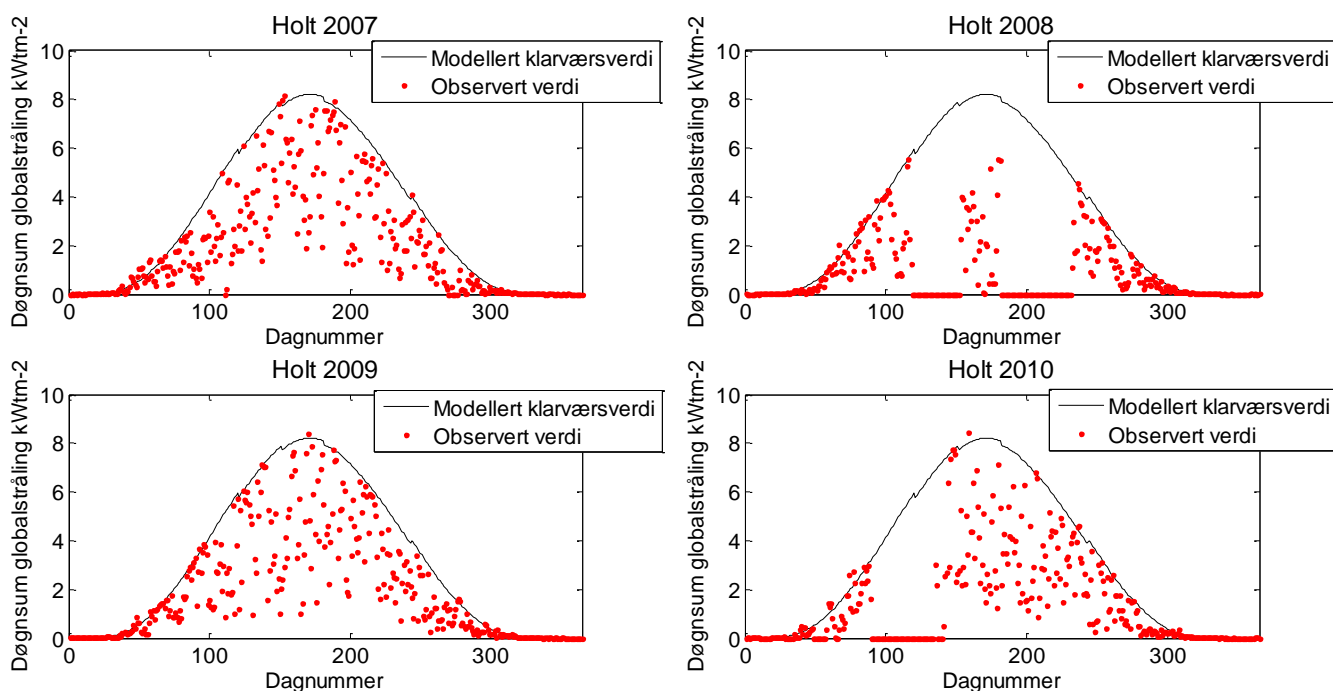
Metodene er benyttet i denne kvalitetskontrollen er beskrevet i ”Retrospective quality control of solar radiation data” (J.A. Olseth, Skartveit, & Skaar).

5.1.1 Målt globalstråling og modellerte klarværsverdier

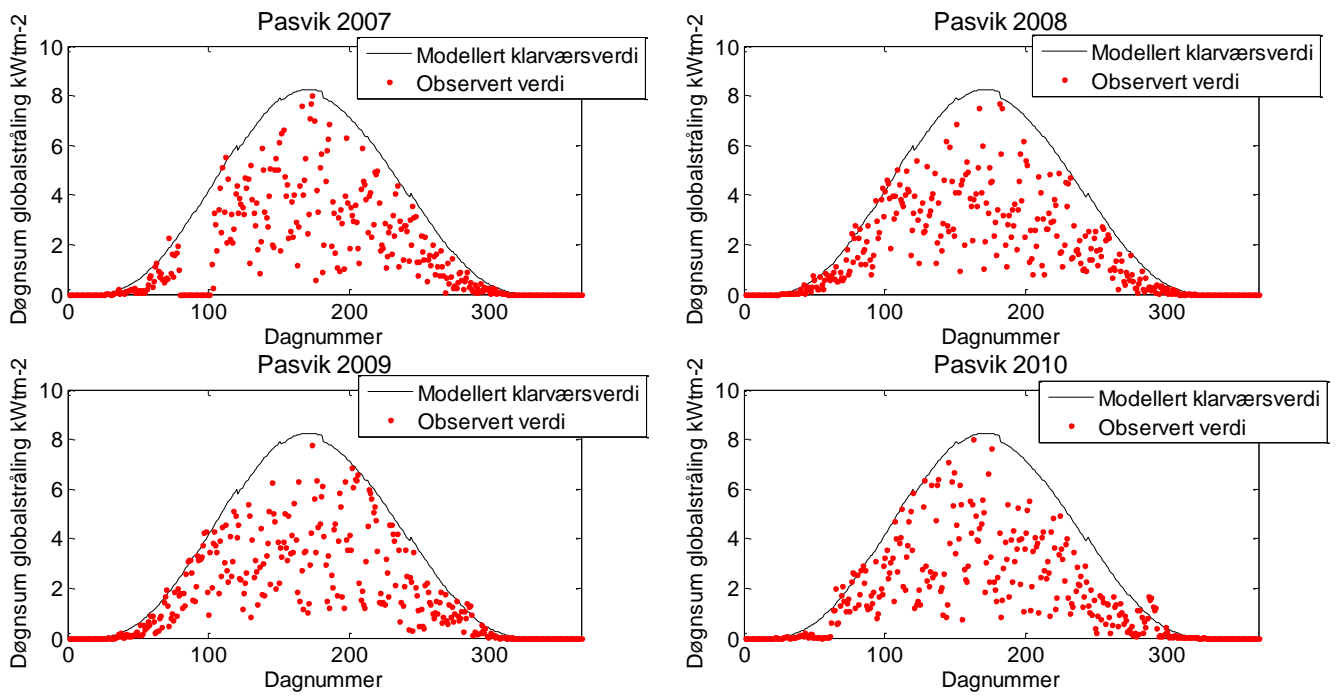
Ved å sammenligne akkumulerte verdier av målt globalstråling med modellert klarværsstråling for den samme perioden kan vi få en indikasjon på om den målte globalstrålingen i klarvær samsvarer med den modellerte klarværsstrålingen. En slik sammenligning ses i figur 5.1-5.7.

For Jan Mayen, Bjørnøya og Hopen vil denne akkumulerte verdien være en døgnsum av all globalstråling i tidsrommet der sola er over horisonten (0°), mens for Holt, Pasvik og Kiruna er målte verdier gjennom hele døgnet tatt med. For Ekofisk vil globalstrålingen mellom klokkeslettet 10:40 til 14:20 være akkumulert. Dette er gjort da den direkte strålingen fra sola i dette tidsrommet ikke blir skygget for av master eller andre gjenstander (se mer om dette og Ekofisk i kapittel 5.3).

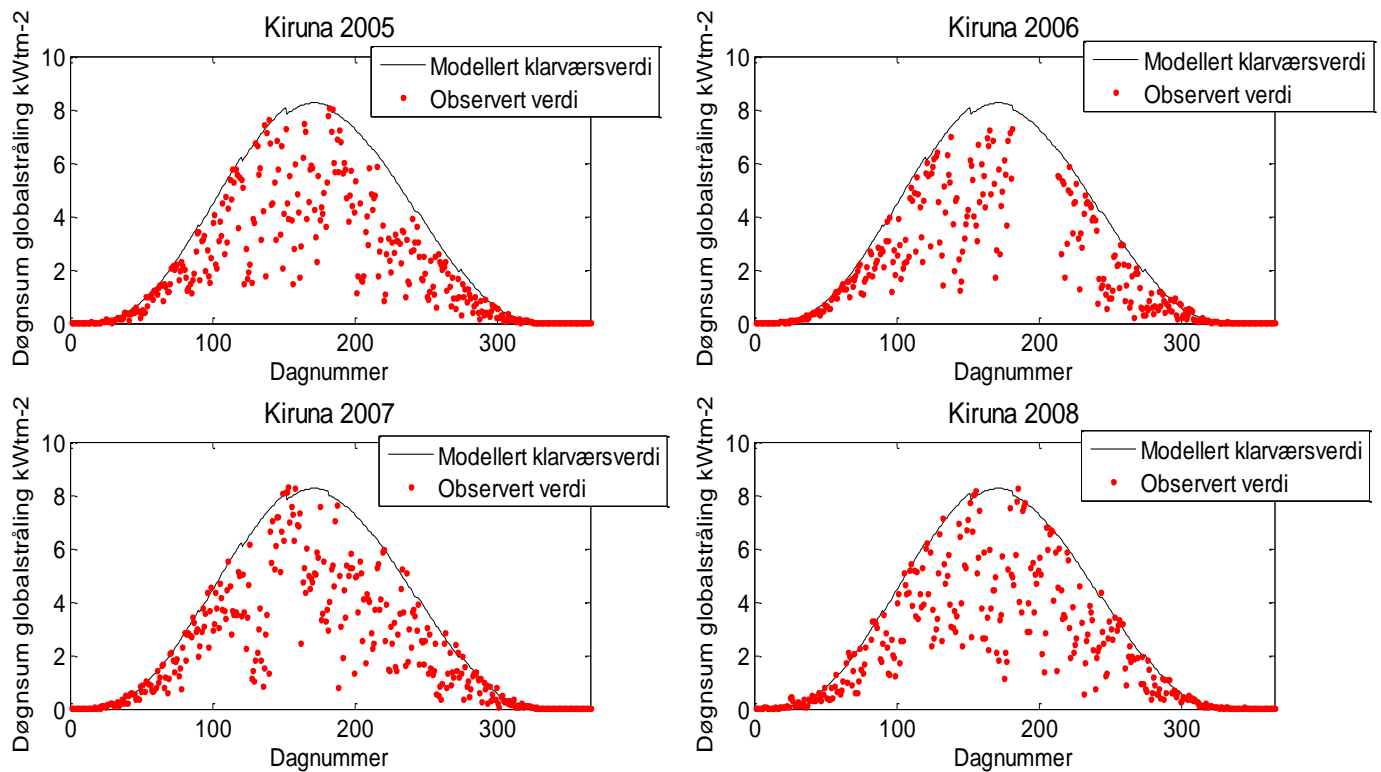
De modellerte verdiene i figur 5.1-5.7 vil ikke variere fra år til år, da inputdata til modellen heller ikke varierer. Derimot vil de variere fra stasjon til stasjon da inputverdiene til modellen er spesifikk for hver enkelt stasjon. Diskontinuitet mellom månedene oppstår i de modellerte verdiene da månedsmidler er benyttet som input til modellen. I første halvdel av året vil dette ses som diskontinuiteter der verdien av globalstrålingens døgnsum faller ned mellom hver måned. Dette skjer fordi mengden utfellbart vann øker fra måned til måned. I siste halvdel av året avtar mengden utfellbart vann og diskontinuitetene vil ses som en økning av globalstråling.



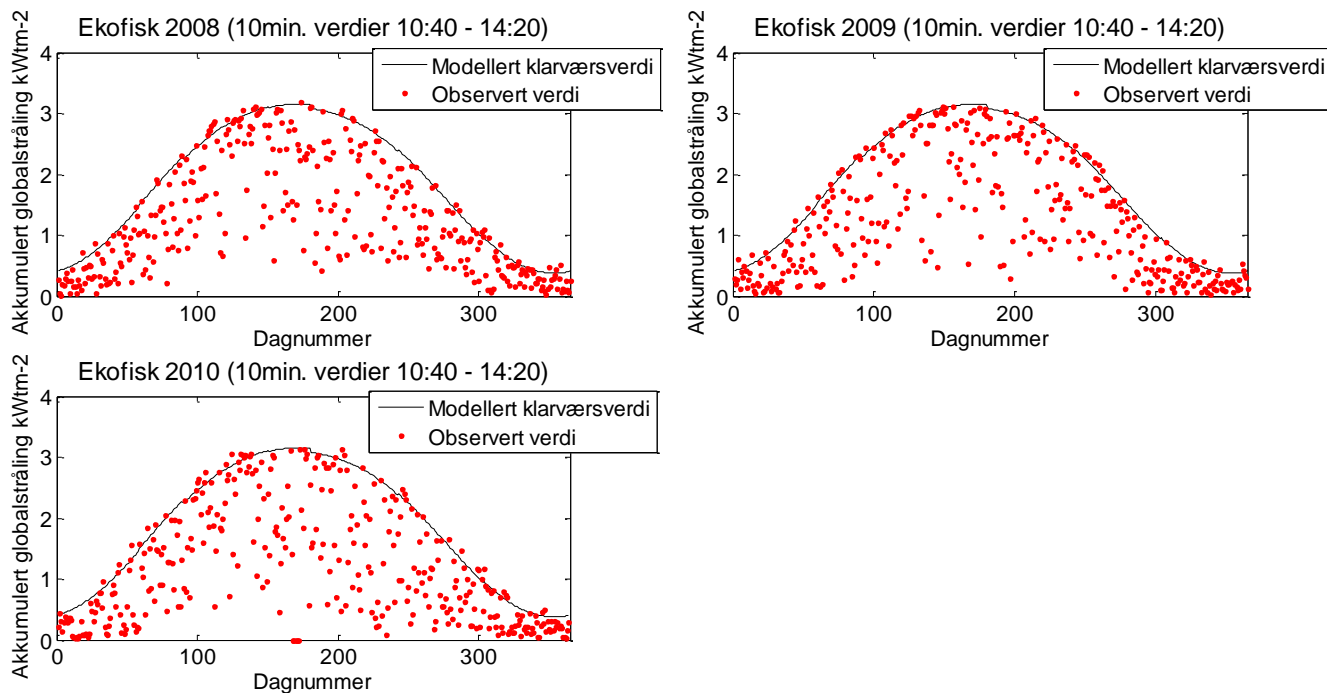
Figur 5.1: Døgnsum av modellert klarværstråling (svart kurve) og observert globalståling (røde prikker) for Holt gjennom årene 2007 – 2010. Manglende data kan ses langs x-aksen. (Det gjøres oppmerksom på at verdiene skal ligge langs x-aksen ved årets begynnelse og slutt da stasjonen opplever mørketid i denne perioden)



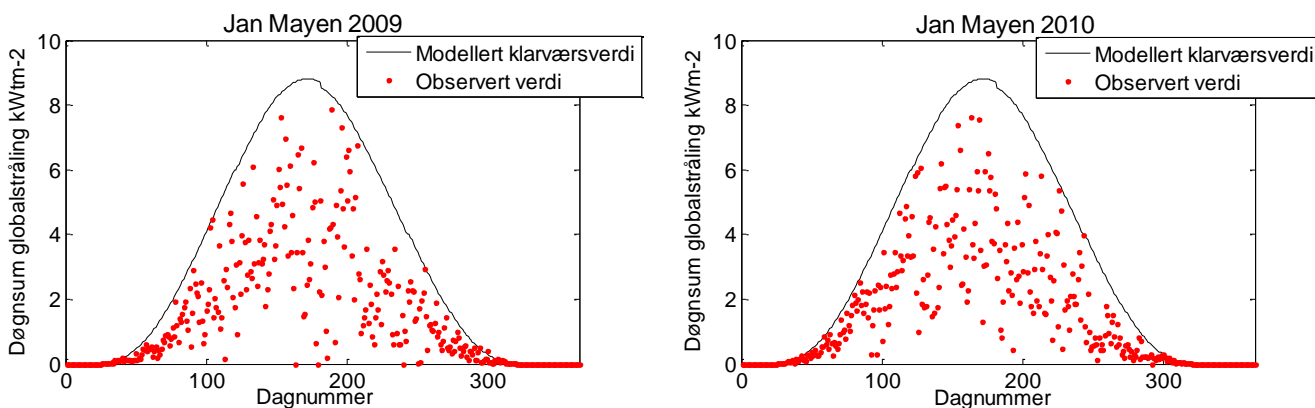
Figur 5.2: Samme som figur 5.1 men for Pasvik.



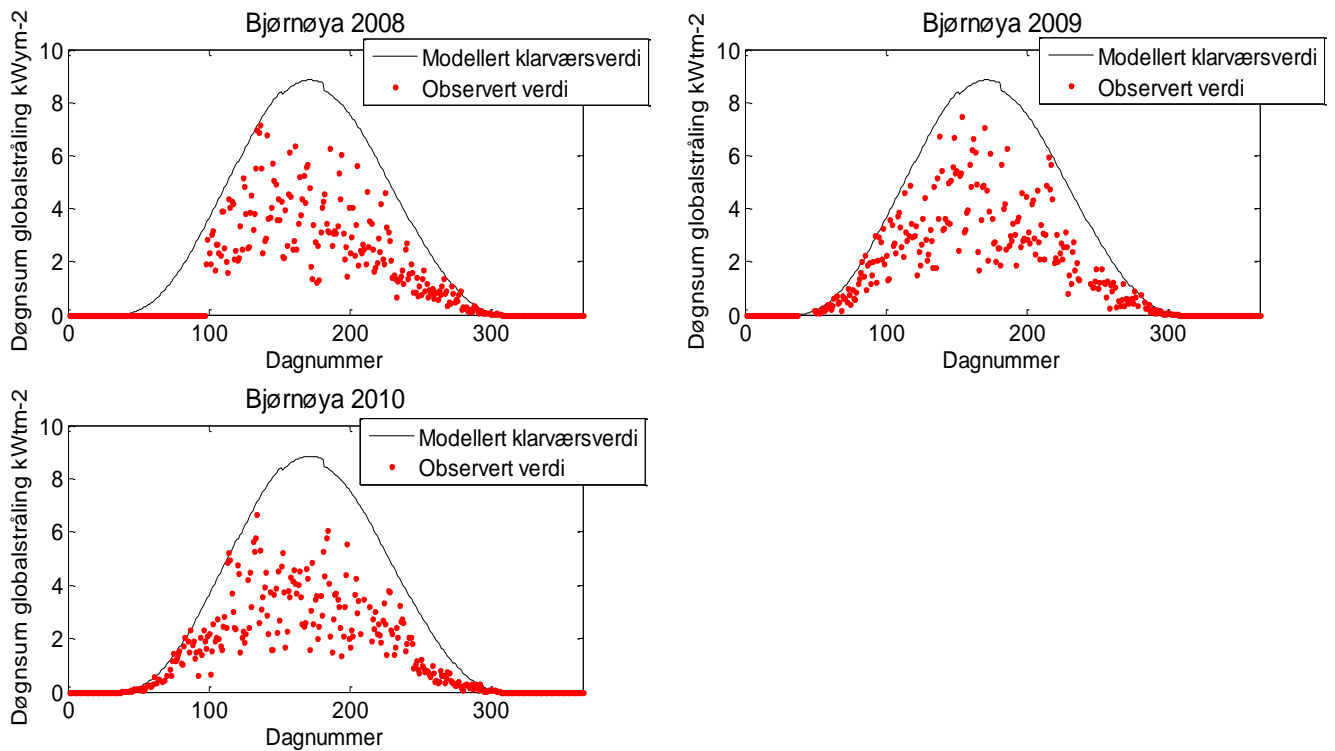
Figur 5.3: Samme som figur 5.1 men for Kiruna gjennom årene 2005-2008, Manglende data ses i 2006 som ett område uten røde prikker.



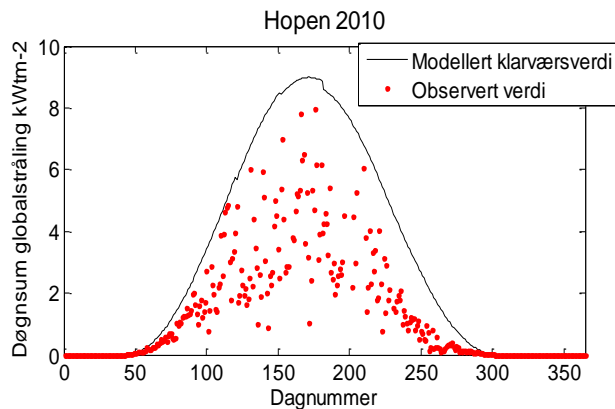
Figur 5.4: Samme som figur 5.1 men for Ekofisk der den akkumulerte verdien er basert på 10minuttseverdier mellom klokkeslettet 10:40-14:20.



Figur 5.5: Samme som figur 5.1 men for Jan Mayen, gjennom årene 2009 -2010, der døgnsommen kun består av observasjoner der solhøyden er over 0° .



Figur 5.6: Samme som figur 5.1 men for Bjørnøya gjennom årene 2008 – 2010, der døgnsommen kun består av observasjoner der solhøyden er over 0° .



Figur 5.7: Samme som figur 5.1 men for Hopen i 2010, der døgnsommen kun består av observasjoner der solhøyden er over 0° .

For Holt, figur 5.1, ligger de høyeste observerte døgnsommene noe over klarværskurva på klare dager ved sen vinter/ tidlig vår. Manglende observasjoner for dette instrumentet er satt til 0. Dette ses tydelig i 2008 og 2010 da LMT hadde en del problemer med dette instrumentet.

Ved Pasvik, figur 5.2, ligger de høyeste døgnsommene noe under klarværskurva vinterstid, men like tendenser som ved Holt ses omkring mars.

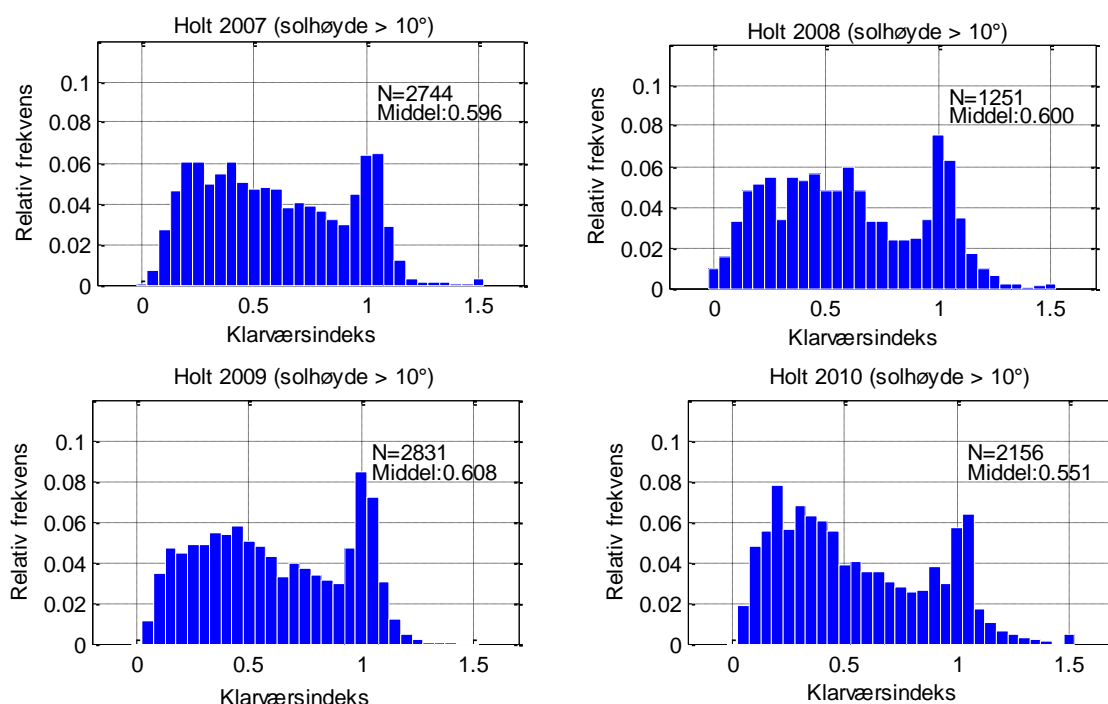
For Kiruna, figur 5.3, stemmer de høyeste døgnsommene godt over ens med klarværskurva gjennom hele året. Det samme gjelder figur 5.4 for Ekofisk, men de akkumulerte observasjonene av 10minuttseverdier ligger oftere over klarværskurva.

I Arktis, figur 5.5- 5.7, finnes noen få klare dager på høyde med klarværskurva, men generelt ses det tydelig at de akkumulerte verdiene ligger under klarværskurva om sommeren. Ved Bjørnøya og Hopen ses dette også tydelig om høsten, spesielt i 2010.

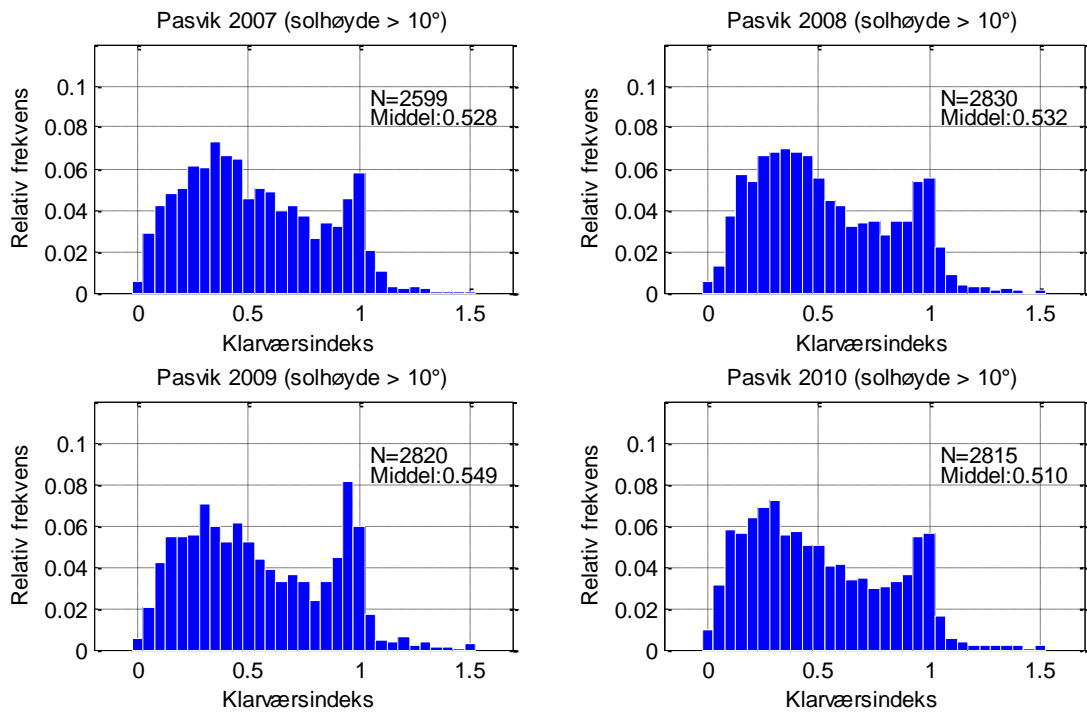
5.1.2 Frekvensfordeling av normalisert klarværsindeks

Ved hjelp av ligning 5.1 er en klarværsindeks beregnet for timesverdiene, eller 10minuttsverdier, mellom målt og modellert globalstråling. Figur 5.8 til 5.14 viser den relative frekvensen av klarværsindeksene i grupper med en bredde på 0.05. Alle verdier der klarværsindeksen er over 1.5 er plassert i gruppen 1.5 ± 0.025 .

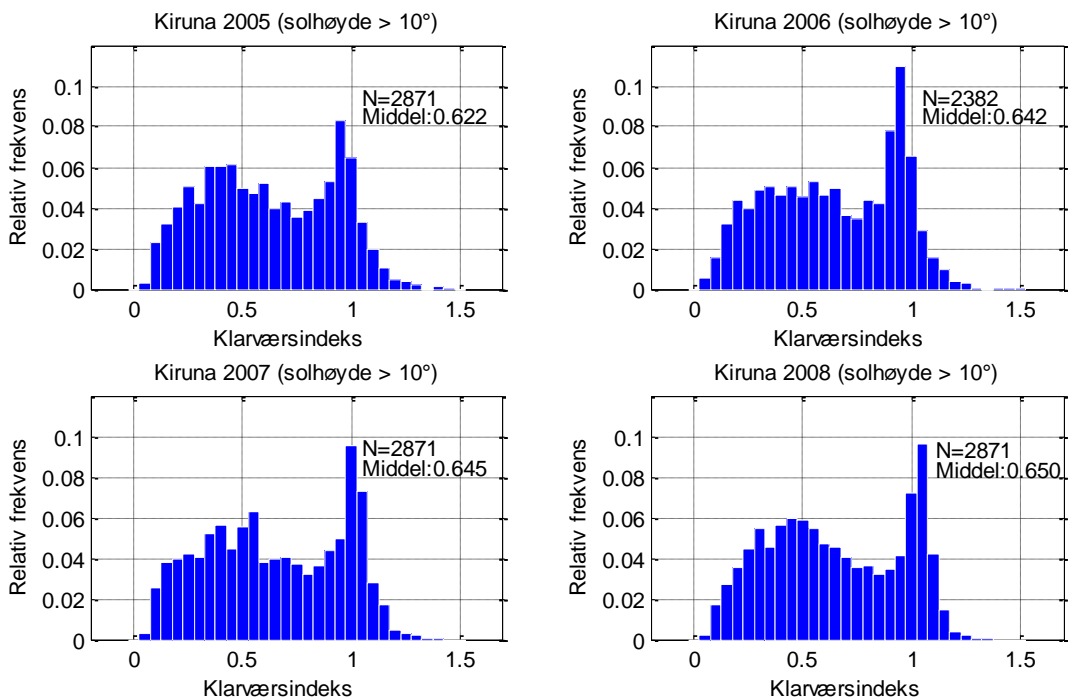
I disse figurene er kun verdier der solhøyden er over 10° vist. En grunn til dette er at man da unngår de fleste tilfeller der horisonten skygger for direktestrålingen. I tillegg er globalstrålingen ved lav solhøyde liten, slik at klarværsindeksen er forholdet mellom to små tall. Denne begrensningen i solhøyde vil også føre til at deler av året, spesielt for stasjonene som opplever mørketid, ikke blir med i denne analysen.



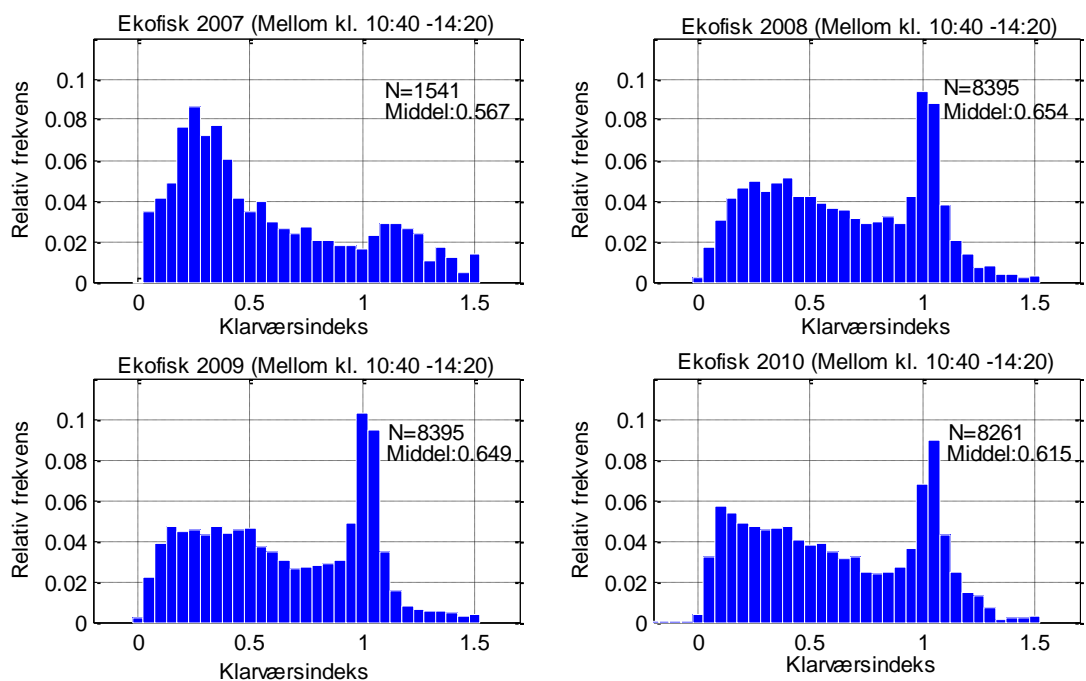
Figur 5.8: Relativ frekvensfordeling av klarværsindeks mellom timesverdier av målt globalstråling og modellert klarværstråling ved Holt fra 2007- 2010. Antall observasjoner (N) og midlere klarværsindeks er oppgitt for hvert år. Kun solhøyde over 10° er tatt med.



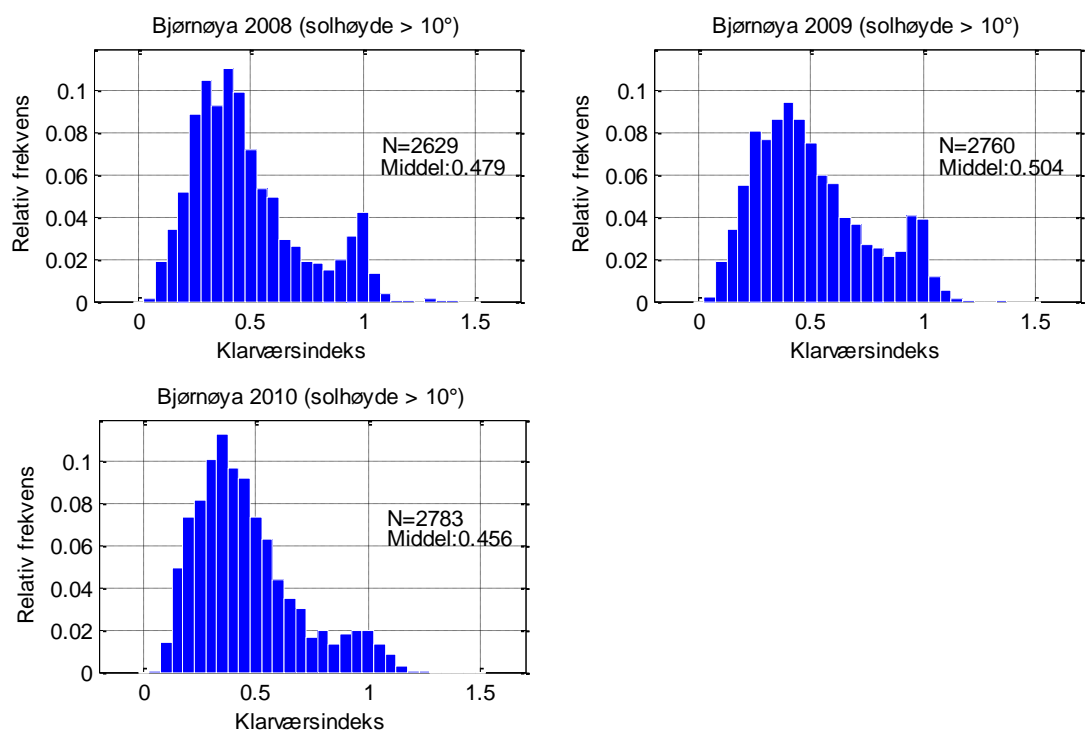
Figur 5.9: Samme som figur 5.7 men for Pasvik.



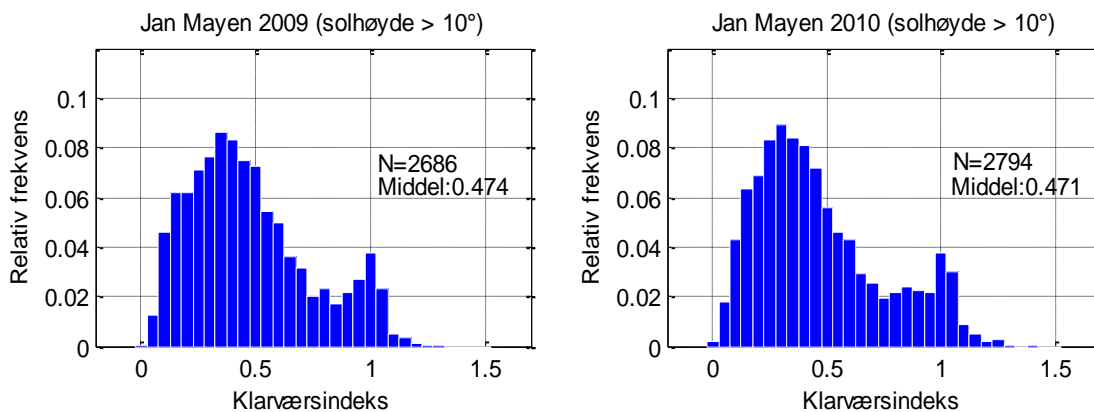
Figur 5.10: Samme som figur 5.7 men for Kiruna i perioden 2005-2008.



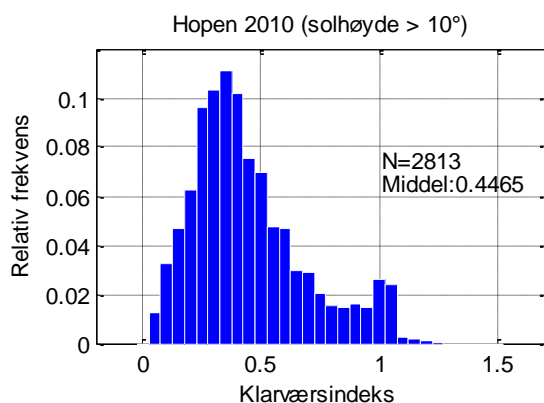
Figur 5.11: Samme som figur 5.7 men for Ekofisk. Her er kun tidspunktet 10:40 – 14:20 benyttet.



Figur 5.12: Samme som figur 5.7 men for Bjørnøya årene 2008-2010.



Figur 5.13: Samme som figur 5.7 men for Jan Mayen årene 2009-2010.



Figur 5.14: Samme som figur 5.7 men for Pasvik.

For alle figurene, 5.8-5.14, ses to topper i frekvensfordelingen, en ved lave verdier (<0.5) og en omkring 1. En hale av verdier over 1 ses også ved samtlige stasjoner.

For Holt, figur 5.8, ses en definert klarværstopp omkring 1, men det er fremdeles en høy relativ frekvens av verdier rett over. I 2008 mangler store deler av målingene gjennom året. Grunnet færre målinger og sesongvariasjoner skiller figuren for 2008 seg noe ut fra resten.

For Pasvik, figur 5.9, ses en klarværstopp omkring 1, i likhet med Holt, men har en høyest frekvens av verdier ligger omkring 0.3 i 2007, 2008 og 2010. I 2009 er derimot frekvensen av verdier omkring 0.9 noe høyere.

For Kiruna, figur 5.10, vises at for 2005 og 2006 ligger den høyeste frekvensen rett under 1. I 2007 ligger den noenlunde på 1, mens i 2008 ligger den så vidt over. Dette kan ses i sammenheng med figur 5.4 der døgnsummene for 2005 og 2006 ligger lavere enn 2007 og 2008. Kiruna har også samlet sett den høyeste middelverdien av alle stasjonene.

For Ekofisk, figur 5.11, ses en klart høyest frekvens av verdier omkring 1. I 2010 ligger, til forskjell fra 2008 og 2009, den høyeste frekvensen på 1.1. Frekvensfordelingen for Ekofisk består i motsetning til de andre stasjonene av 10minuttersverdier og en forholdsvis stor hale av verdier over 1 kan observeres her. For 2007 er det kun observasjoner fra november og

desember som er med på figuren. På grunn av sesongvariasjoner gjennom året ses ikke den samme frekvensfordelingen her som de tre etterfølgende årene.

Ved Arktis, i motsetning til ved de andre stasjonene, ligger den høyeste relative frekvensen tydelig omkring 0.3-0.4 mens klarværstoppen, som forventes omkring 1, er forholdsvis svak. Middelerdien ved de Arktiske stasjonene ligger også noe lavere enn stasjonene lengre sør, på omkring 0.4-0.5.

5.1.3 Analyse av globalstrålingsdatasettene

For frekvensfordelingsfigurene skal klare dager ha en klarværsindeks omkring 1 mens overskyete dager vil ha en mye lavere verdi. Det forventes dermed en klarværstopp omkring 1 i disse figurene dersom kvaliteten på dataen er bra. Klarværstoppen i figur 5.8-5.14 varierte på å ligge mellom 0.9 og 1.1. Slike små forskyvninger er forventet i disse figurene da klarværsindeksen er delt inn i små grupper på ± 0.025 og en liten forskjell i desimaltall vil føre klarværsindeksen over i nabogruppen.

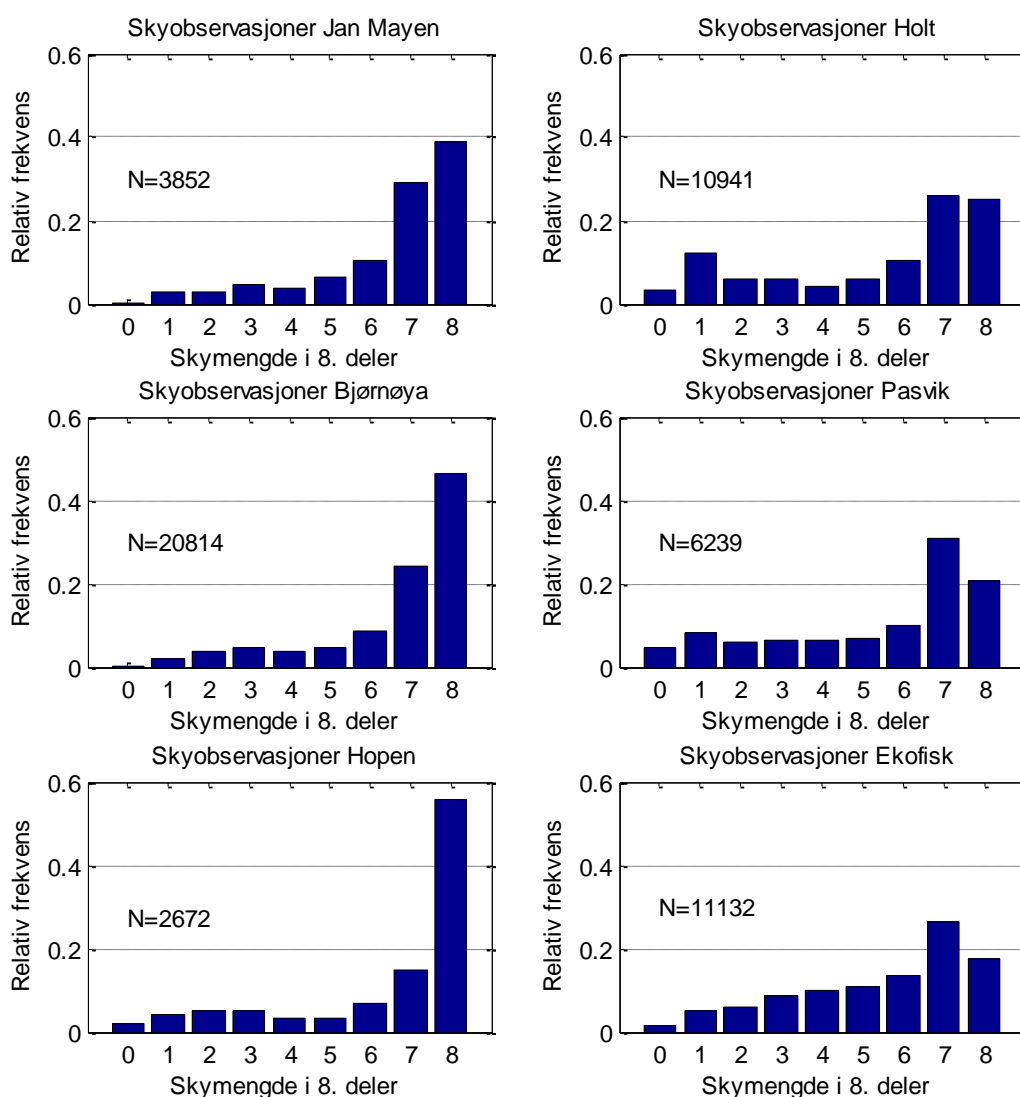
Verdien av målt globalstråling på en helt klar dag skal teoretisk sett ikke kunne bli høyere enn den modellerte klarværsverdien, dersom modellen stemmer. For enkelte målinger ligger likevel den målte globalstrålingsverdien over den modellerte klarværskurva, og derfor er en hale av verdier over 1 forventet. Dette skyldes i stor grad at spredt skydekke kan øke den effektive skymengden, og diffus stråling reflektert fra skyveggene kan treffe instrumentet i tillegg til den direkte strålingen når sola ikke skygges for. Se kapittel 2.3.2. Denne effekten er mest tydelig når måleintervallet er kort. For Ekofisk ses det på frekvensfordelingen av 10minuttersverdier. Derfor vil en hale av verdier over 1 være mer fremtredende her enn ved stasjoner der det ses på frekvensfordelingen av timesverdier. En døgnsum vil ikke påvirkes i særlig grad av dette fenomenet.

Høye verdier av observert globalstråling kan også skyldes snø som ligger rundt instrumentet, eller i horisonten, slik at man får en økt refleksjon og økte målinger. Dette er en mulighet, spesielt ved de arktiske stasjonene, da bakken er snødekt store deler av året. Refleksjoner kan også komme fra omliggende gjenstander. Ved Ekofisk finnes blant annet en hvit instrumenthytte nord for instrumentet som kan reflektere stråling når sola står i sør. Denne vil bli diskutert nærmere i kapittel 5.3.2. I motsatt tilfelle, kan for eksempel snø og is legge seg på instrumentet og skygge for strålingen slik at observasjonene blir lavere enn realiteten. Det samme kan skje dersom horisonten skygger for direktestråling ved lav sol. En døgnsum vil likevel ikke påvirkes i større grad av dette da globalstrålingen ved lav sol er liten. Derimot er skyer den største faktoren som gir observasjoner lavere enn klarværsmoellen.

Målte og modellerte verdier kan også bli ulike ved at modellen ikke gir ett riktig estimat. Liten tilgang på klimatologisk data og feil input til modellen kan føre til at modellen estimerer for lav klarværsstråling. Dette vil skje dersom det benyttes for høy mengde utfellbart vann som input til modellen. I figur 5.4 for Ekofisk ses det at døgnsummen av målte verdier ligger til tider litt over den modellerte klarværskurva. Hvorvidt dette er en mulighet ved Ekofisk blir sett nærmere på i kapittel 5.4.1.

Når figurene i de to foregående delkapitlene skal analyseres, er skyenes frekvensfordeling viktig. En sammenligning mellom modellert klarværsstråling og målinger vil være vanskelig dersom det ikke finnes klare dager å sammenligne med. Dersom døgnsummer av de observerte verdiene aldri er på høyde med klarværskurva, kan dette skyldes at klarværsdager ikke finner sted. Som beskrevet i kapittel 2.3 er solhøyden og skyene de to faktorene som påvirker globalstrålingen i størst grad. En klarværsindeks som benyttes i figur 5.8- 5.14 er lite solhøydeavhengig (J. A. Olseth, A. Skartveit, 1993), dermed er skyer den parameteren som i størst grad påvirker frekvensfordelingen.

Figur 5.15 viser frekvensfordelingen av skydekket i 8. deler for alle de norske stasjonene. For Kiruna mangler informasjon om skydekket. Figuren viser tydelig at det er mye overskyet ved de arktiske stasjonene, mens de tre resterende stasjonene har en betydelig jevnere fordeling, selv om frekvensen av overskyet vær er størst også her.

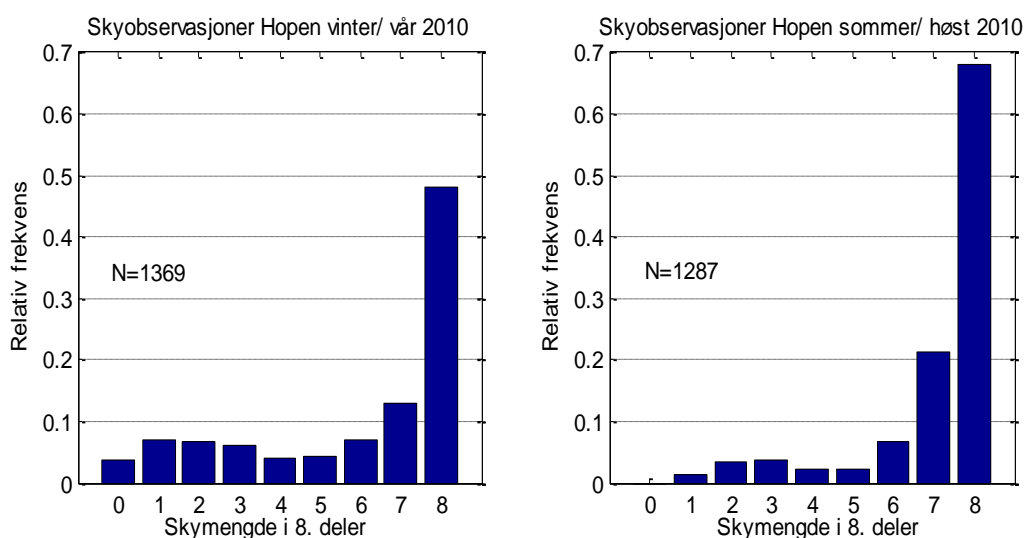


Figur 5.15: Relativ frekvens av observert skymengde for alle stasjoner utenom Kiruna i det aktuelle tidsrommet strålingsdata har blitt sett på i denne oppgaven. N = antall observasjoner (eKlima.no).

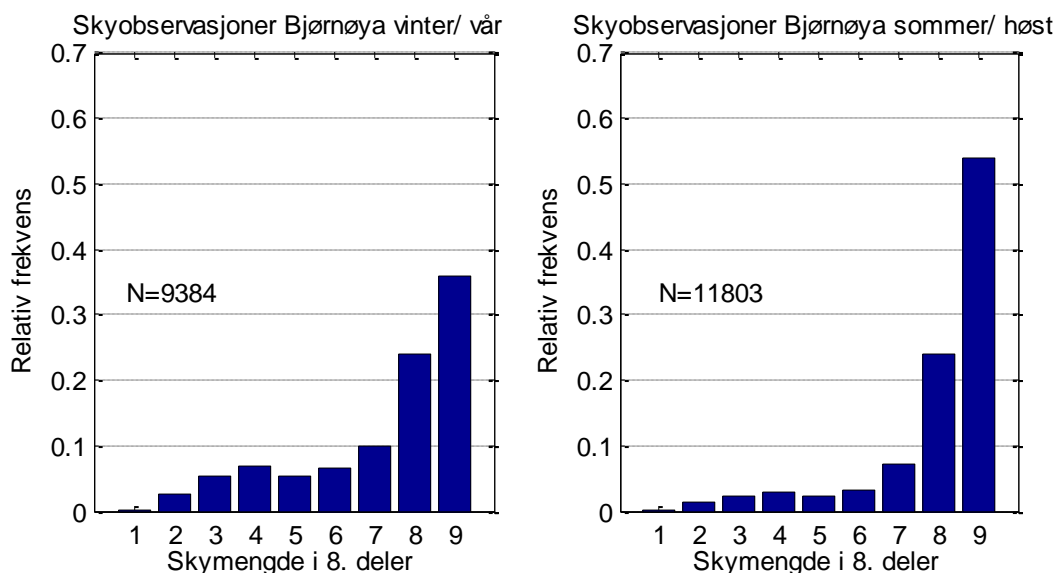
For de arktiske stasjonene ses en døgnsom av målt globalstråling i figur 5.5- 5.7 som ligger klart under klarværskurva. Sett i sammenheng med figur 5.15 vil dette kunne forklares med svært lite klarvær i området. En døgnsom vil her sjeldent ha en høy verdi da skyer ofte skygger for den direkte strålingen. Dette ses også igjen i figur 5.12- 5.14 der man ser en høy frekvens av lave klarværsindekser og en svak klarværstopp. Denne fordelingen vil også gjenspeiles i middelverdien oppgitt for alle figurer 5.8 -5.14. For de arktiske stasjonene gir en høyere frekvens av stor skymengde en høyere frekvens av lav klarværsindeks, noe som også fører til en lavere middelverdi på omkring 0.45-0.50. Stasjoner med høyest frekvens av klarvær vil ha en høyere middelverdi, som Holt, på opp mot 0.6. Pasvik har den høyeste middelverdien på 0.65 men her mangler skyinformasjon slik at om dette skyldes mye klarvær er ukjent.

For Hopen ble det i figur 5.15 sett en relativ frekvens på opp mot 0.6 for 8/8 skydekke, mens den relative frekvensen av klarvær var liten. I figur 5.16 vises de samme dataene for Hopen som i figur 5.15, men nå delt opp for vinter/ vår (november - mars) og sommer/ høst (mai - oktober). Figuren viser at denne relative frekvensen er sesongavhengig og totalt overskyet vær forekommer oftest ved sommer/ høst. Dette forklarer usymmetrien i figur 5.7, og viser at de observerte døgnsommene ikke kan nå opp til døgnsommene for klare dager høsten 2010, da klare dager ikke ble observert. En figur tilsvarende 5.16 er også fremstilt for Bjørnøya, figur 5.17. Denne viser den samme sesongvariasjonen som Hopen, og forklarer i likhet med figur 5.7 usymmetrien for Bjørnøya som ses i figur 5.5, der målte verdier om sommeren og høsten er svært lave.

Frekvensfordelingen for Ekofisk i 2007 figur, 5.11, sett i sammenheng med de 3 etterfølgende årene, viser tegn på en sesongfordeling i likhet med den sett for Hopen og Bjørnøya. Grunnen til dette er at kun månedene november og desember er tatt med i figuren for 2007 som derfor har en ulik frekvensfordeling sammenlignet med de tre etterfølgende årene. Dette ses ved en liten klarværstopp og høy frekvens av verdier over 1. Den høye andelen av verdier over 1 kan skyldes mye lav sol i denne vinterperioden, som gjør at klarværsindeksen beregnes ut i fra to forholdsvis små tall. Dersom en måling er større enn den modellerte verdien vil den relative forskjellen fort bli stor.



Figur 5.16: Relativ frekvensfordeling av skyobservasjoner ved Hopen om vinter/ vår (til venstre) og om sommer/ høst (til høyre) i det aktuelle tidsrommet strålingsdata blir studert i dette arbeidet. N = antall observasjoner (eKlima.no).



Figur 5.17: Relativ frekvensfordeling av skyobservasjoner ved Bjørnøya om vinter/ vår (til venstre) og om sommer/ høst (til høyre) i det aktuelle tidsrommet strålingsdata blir studert i dette arbeidet. N = antall observasjoner (eKlima.no).

5.2 Skyers effekt på globalstråling

Skyene påvirker globalstrålingen i størst grad ved å reflektere den kortbølgede direkte strålingen tilbake mot verdensrommet. På denne måten har skyene mye å si for den observerte globalstrålingen. Men skyenes egenskaper er ikke like ved alle målestasjonene i dette arbeidet. Lengre nord er skyene tynnere og transmittansen vil være større grunnet mindre vannmengde i skyene (Hartmann, 1994).

I ett tidligere arbeid (J. A. Olseth, A. Skartveit, 1993) er følgende sammenheng mellom døgnvis globalstråling og skymengde funnet for Bergen

$$R_d = \frac{G_{\text{målt}}}{G_{d \text{ max}}} = 0,691 + 0,647 c_d^2 + 0,189 (1 - c_d)^{0,5} \quad (5.2)$$

Her er R_d klarværsindeks, $G_{\text{målt}}$ er målt globalstråling, c_d er skymengden i % og $G_{d \text{ max}}$ er en ekstrem klarværsindeks gitt ved

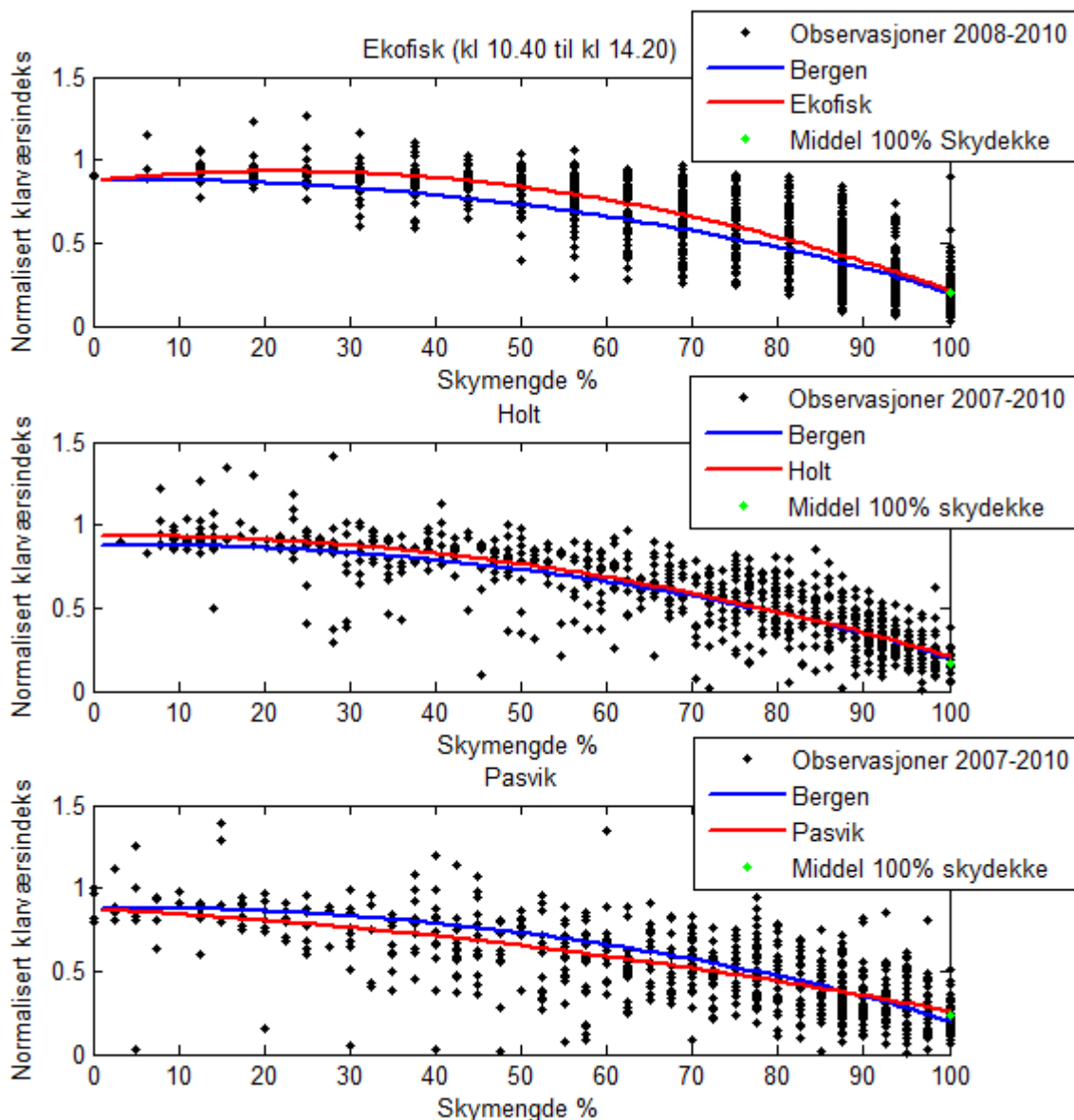
$$G_{d \text{ max}} = 1.1 \cdot G_{\text{mod}} \quad (5.3)$$

Her er $G_{\text{målt}}$ målt globalstråling og G_{mod} klarværsstråling modellert med McMastermodellen beskrevet i kapittel 4.3. Ligning 5.2 er utviklet for Bergen men er testet mot data fra stasjoner lengre sør i Europa. I dette arbeidet vil denne bli sammenlignet med de 6 norske stasjonene der 5 av dem befinner seg lengre nord.

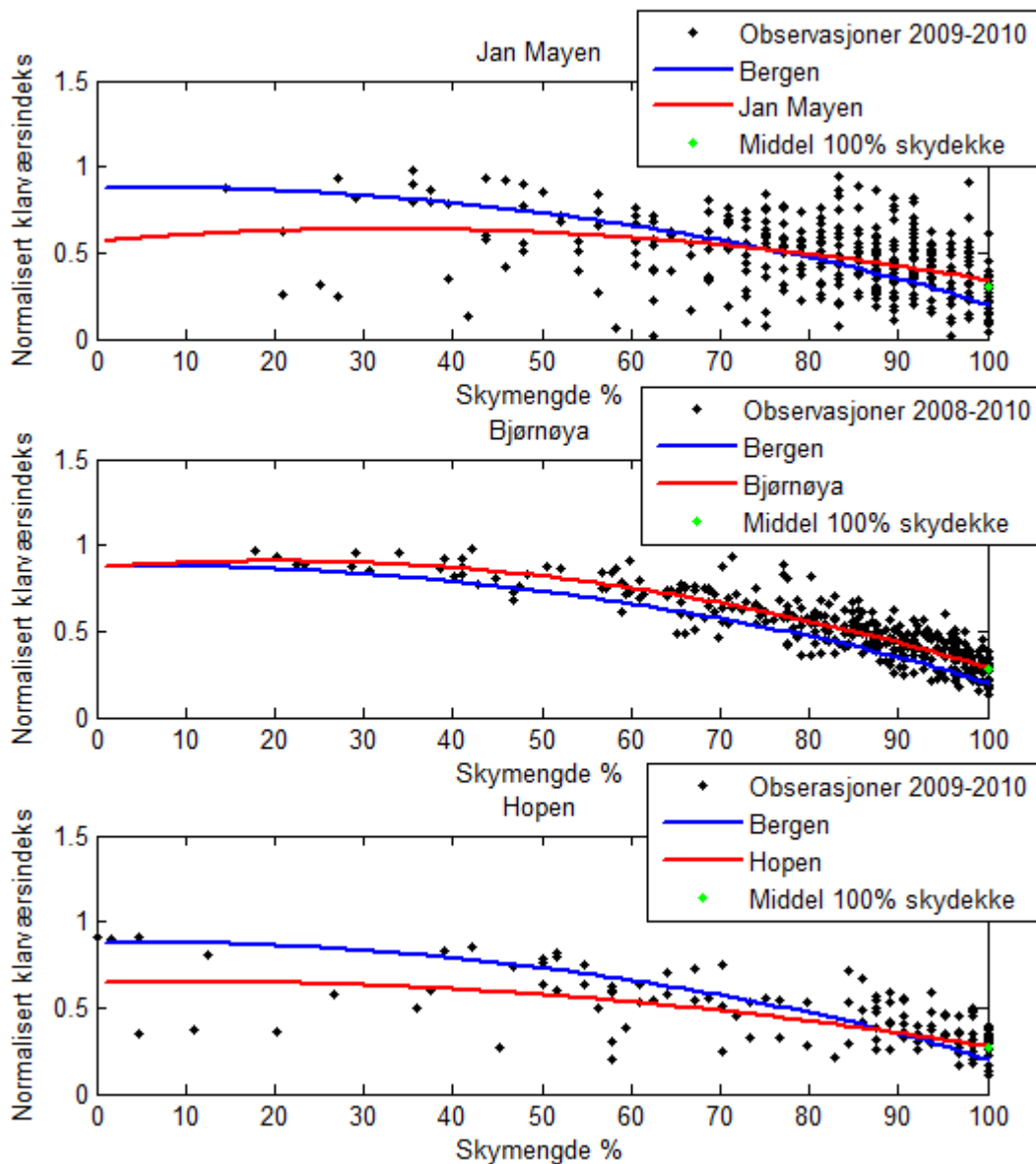
I figur 5.18 og figur 5.19 er klarværsindeksen plottet opp mot døgnvis skymengde i prosent (%) for de ulike stasjonene. Kun verdier der solhøyden er over 10° er tatt med. Et andregrads polynom

$$y = ax^2 + bx + c \quad (5.4)$$

er tilpasset hver stasjon og gitt sammen med ligning 5.2 for Bergen.



Figur 5.18: Døgnvis klarværsindeks ($Rd = Gobs / 1.1Gmod$) plottet mot døgnvis skymengde (% for solhøyde $> 10^\circ$). For Ekofisk er kun tidsrommet mellom 10:40 og 14:20 benyttet. Et andregrads polynom tilpasset data for hver av stasjonene Ekofisk, Holt og Pasvik (rød kurve) er gitt sammen med et tilsvarende for Bergen (ligning 5.2, blå kurve). Middelet for helt overskyete dager (100% skymengde) er gitt som ett grønt punkt på høyre akse.



Figur 5.19: Samme som figur 5.18, men for Jan Mayen, Bjørnøya og Hopen.

Når vi ser på figurene 5.18 og 5.19 ser vi at det er stor spredning i klarværsindeksen for gitt skymengde. Dessuten er antallet dager med liten skymengde få, særlig gjelder dette de arktiske stasjonene (se kapittel 5.1.3). Kurvetilpassningen til dataene (ligning 5.4) er derfor i stor grad styrt av fordelingen av skymengde. På grunn av dette er middelet av klarværsindeksen for alle observasjoner med 100% skydekke gitt som tilleggsinformasjon i figuren og vises som en grønn prikk på høyre y-akse.

Kurvene for Ekofisk og Bergen sammenfaller ved klart vær og 100% skydekke, mens kurven for Ekofisk ligger noe over den for Bergen mellom disse to punktene. Dette kommer nødvendigvis ikke av at skyenes egenskaper for ett spredt skydekke ved Ekofisk og Bergen er forskjellige. For Ekofisk er døgnvis globalstråling basert på målinger mellom 10:40 og 14:20, det vil si den delen av døgnet der sola står høyest på himmelen. Ved delvis skydekke vil sannsynligheten for at direkte sol treffer instrumentet og dermed gir høyere klarværsindeks være større når solhøyden er stor. Dette kan være hovedårsaken til at kurva for Ekofisk ligger over den for Bergen i slike situasjoner.

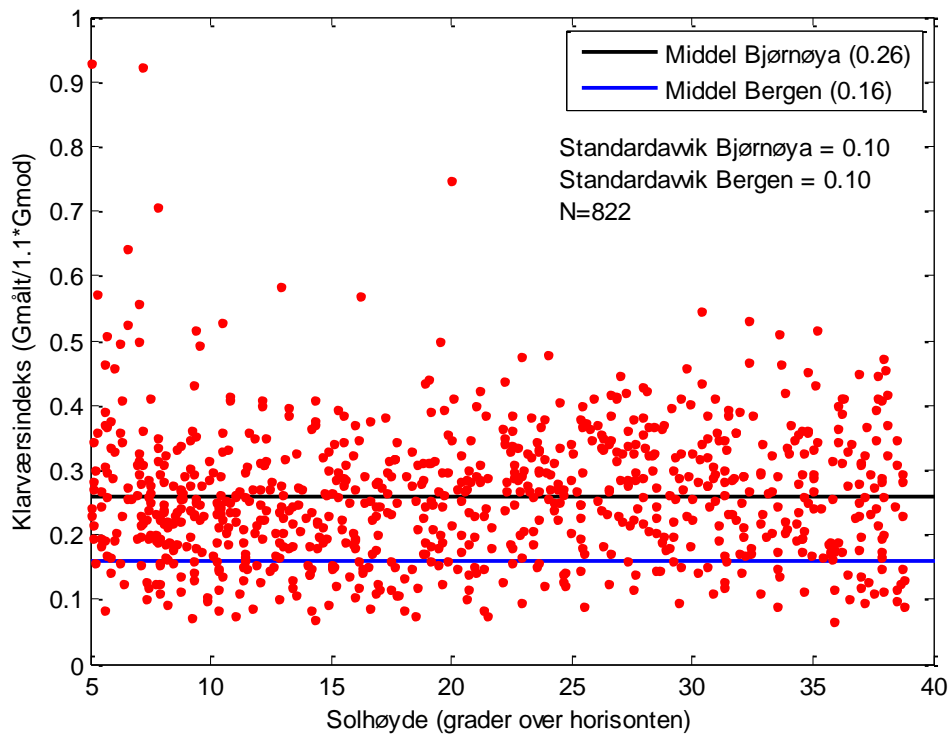
Ved Holt og Pasvik finnes det, i likhet med resten av stasjonene, få og spredte verdier av normaliserte klarværsindeksen ved forholdsvis klare dager. Dette gjør at polynomet lett kan påvirkes av enkelte observasjoner. For Holt ligger kurvetilpasningen derimot nært inntil den beregnet for Bergen, noe som ikke er overraskende da Bergen og Holt har lignende værforholdene og klima.

På hver figur, som nevnt tidligere, er midlere klarværsindeks for dager med 100% skydekke gitt som et grønt punkt på høyre y-akse. For de arktiske stasjonene (figur 5.19) ser denne ut til å ligge over tilsvarende verdi for Bergen (ligning 5.2). En grunn til dette kan være at de arktiske stasjonene har skyer med mindre optisk tykkelse grunnet mindre vannmengde i skyene. En annen kan være at disse stasjonene har høyere albedo, forårsaket av snø og is, slik at multippel spredning mellom bakken og skybasen kan gi økt globalstråling. Videre i dette kapittelet vil disse to mulighetene bli sett nærmere på, og helt overskyete dager ved Bjørnøya, Jan Mayen og Holt vil bli studert.

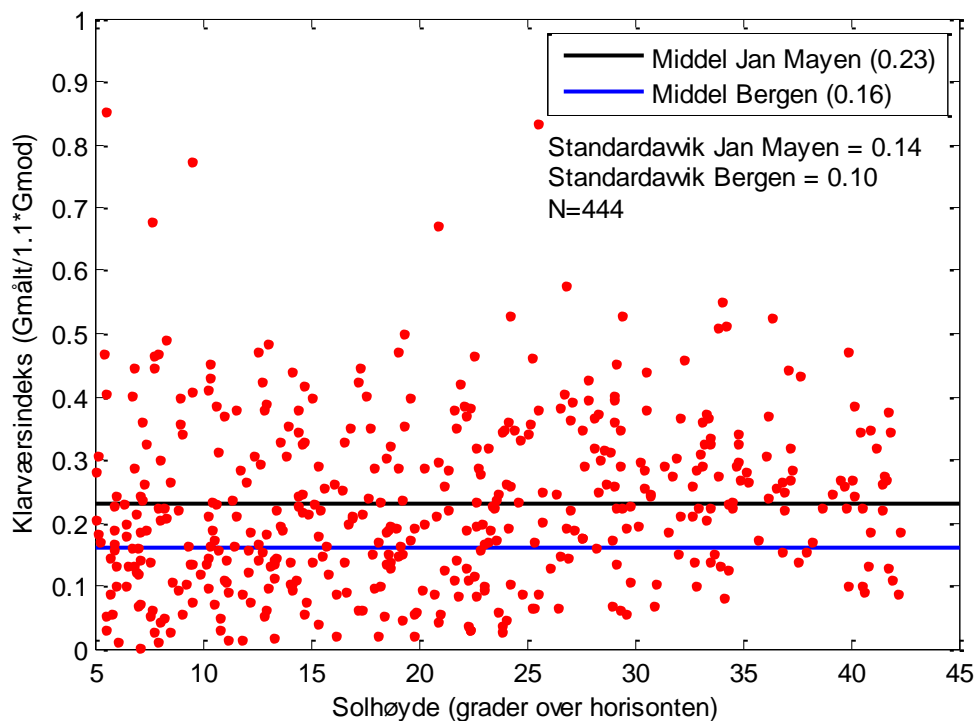
Overskyete dager

Fullstendig overskyete dager for Bjørnøya er funnet ved å se på timesvise skyobservasjoner. Dager der det kun observeres 8/8 deles skydekke ses på som en fullstendig overskyet dag. Det samme gjelder Jan Mayen, men her finnes kun 5 observasjoner av skydekket gjennom ett døgn. Manglende informasjon ved enkelte observasjonstidspunkt er sett bort i fra. Ved Holt finnes, i tillegg til skyobservasjoner hver 3 time, informasjon om solskinnstiden i minutt hver time. Dager der det kun er observert 8/8 deles skydekke med 0 minutter i observert solskinnstid kvalifiserer som en fullstendig overskyet dag.

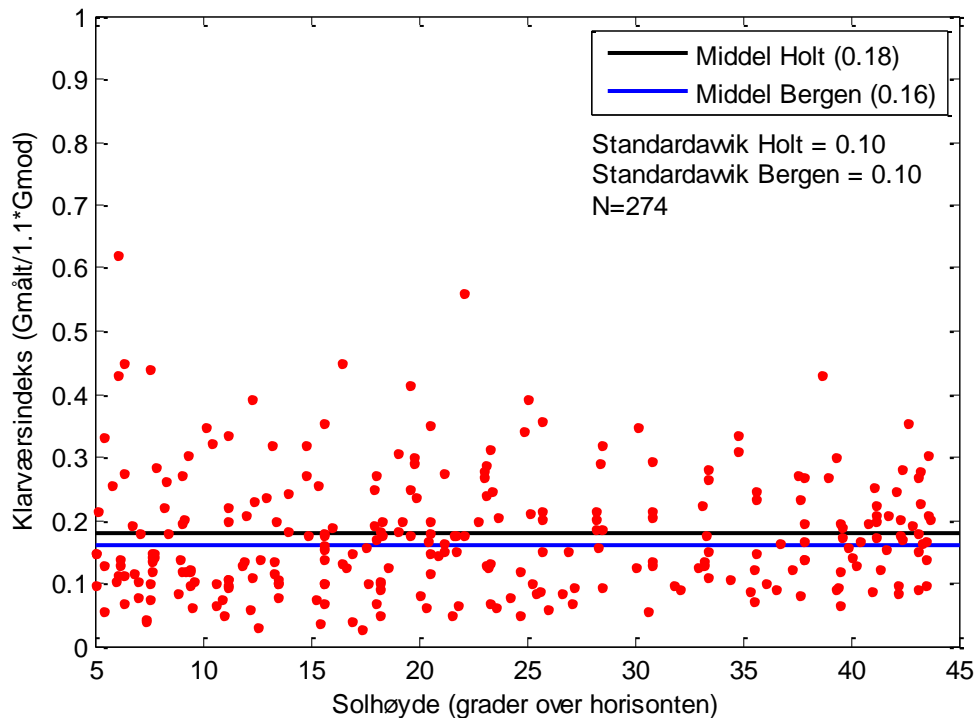
Dersom skyene ved Arktis er tynnere enn skyene ved Bergen vil dette kunne ses på fullstendig overskyete dager. I figurene 5.20 -5.22 er klarværsindeksen plottet som en funksjon av solhøyde for alle timer med solhøyde over 5° i overskyete dager. Dette blir gjort for de to arktiske stasjonene med mest data, Bjørnøya og Jan Mayen, og for fastlandsstasjonen Holt. Middelet og standardavviket ved disse stasjonene er sammenlignet med middel (0.16) og standardavvik (0.10) for målinger ved overskyet vær i Bergen. Kravet for overskyet ved Bergen er at timen før og etter observasjonstidspunktet også skal ha 8/8 dels skydekke (J. A. Olseth, A. Skartveit, 1993), dermed er kravet for overskyet for stasjonene sett på i dette arbeidet strengere. Dersom skyenes optiske tykkelse ved disse stasjonene var like ville det derfor kunne forventes at den midlere klarværsindeksen ved Bergen lå noe høyere.



Figur 5.20 Ekstrem klarværsindeks for fullstendig overskyete dager ved Bjørnøya (skyobservasjoner blir foretatt hver time) plottet opp mot solhøyde. Middel for Bjørnøya (svart strek) og middel for Bergen (blå strek) er plottet for sammenligning. N = antall observasjoner benyttet for Bjørnøya.



Figur 5.21: Ekstrem klarværsindeks for fullstendig overskyete dager ved Jan Mayen (skyobservasjoner foretatt 5 ganger i døgnet) plottet opp mot solhøyde. Middel for Bjørnøya (svart strek) og middel for Bergen (blå strek) er plottet til sammenligning. N = antall observasjoner benyttet for Jan Mayen.



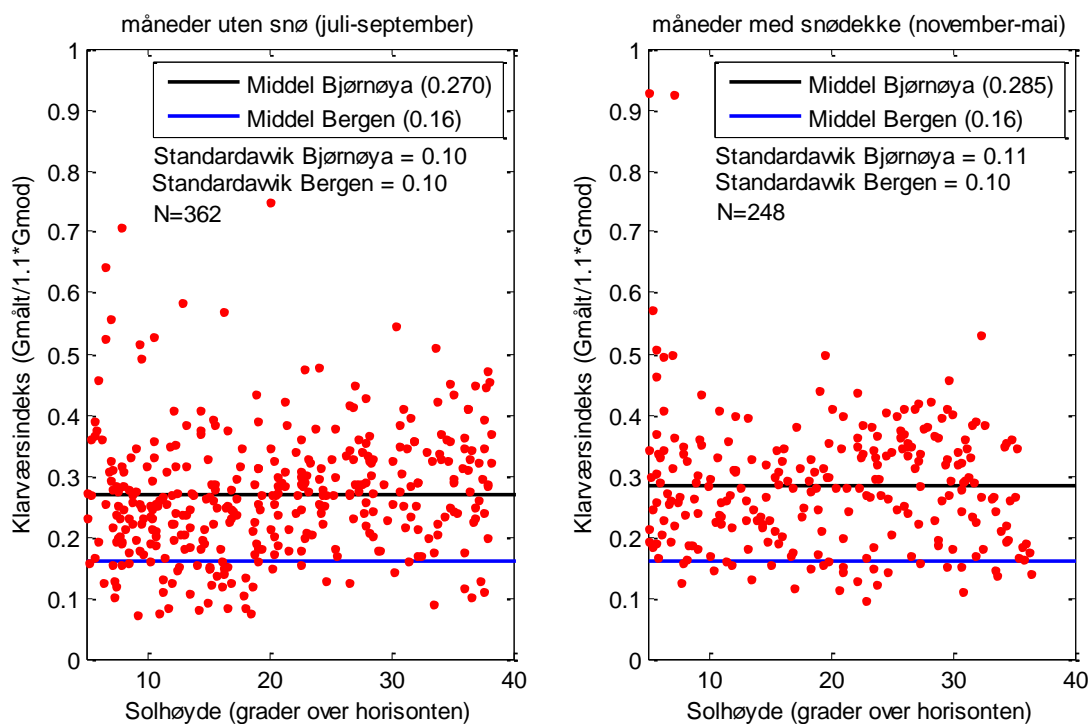
Figur 5.22 Ekstrem klarværsindeks for fullstendig overskyete dager ved Holt (skyobservasjoner blir foretatt 7 ganger i døgnet) plottet opp mot solhøyde. Middelt for Bjørnøya (svart strek) og middelt for Bergen (blå strek) er plottet til sammenligning. N = antall observasjoner benyttet for Holt.

Figur 5.20-5.22 viser at Bjørnøya har en midlere klarværsindeks på 0.26, Jan Mayen 0.23 og Holt 0.18. Tilhørende standardavvik er 0.10, 0.14 og 0.10. Til sammenligning er beregninger med alle solhøyder foretatt. Middelet for disse stasjonene var da 0.27, 0.24 og 0.18, mens standardavviket var 0.11, 0.19 og 0.10. Figurene som viser dette er ikke tatt med i dette arbeidet.

Den midlere klarværsindeksen på Bjørnøya og Jan Mayen ligger mellom den som er funnet ved Bergen for middels høye (0.22) og høye skyer (0.36). (J. A. Olseth, A. Skartveit, 1993) Dette viser, i likhet med figur 5.19, at klarværsindeksen er større ved de Arktiske stasjonene når det er helt overskyet. De to mulighetene for dette, multippel spredning og lavere vannmengde i skyene (LWP) vil bli diskutert nedenfor.

Multippel spredning

I figur 5.23 blir dataen fra figur 5.20 delt opp i to ved at måneder med snø (november til mai) og måneder uten snø (juli-september) blir plottet hver for seg. Månedene er valgt ut i fra målinger av nedbør og temperatur. Juni og oktober er utelatt i figurene da snødekket disse månedene var usikkert. Dersom multippel spredning ved snødekt bakke fører til økt globalstråling, vil dette vises ved at middelet er høyere i månedene med snø.



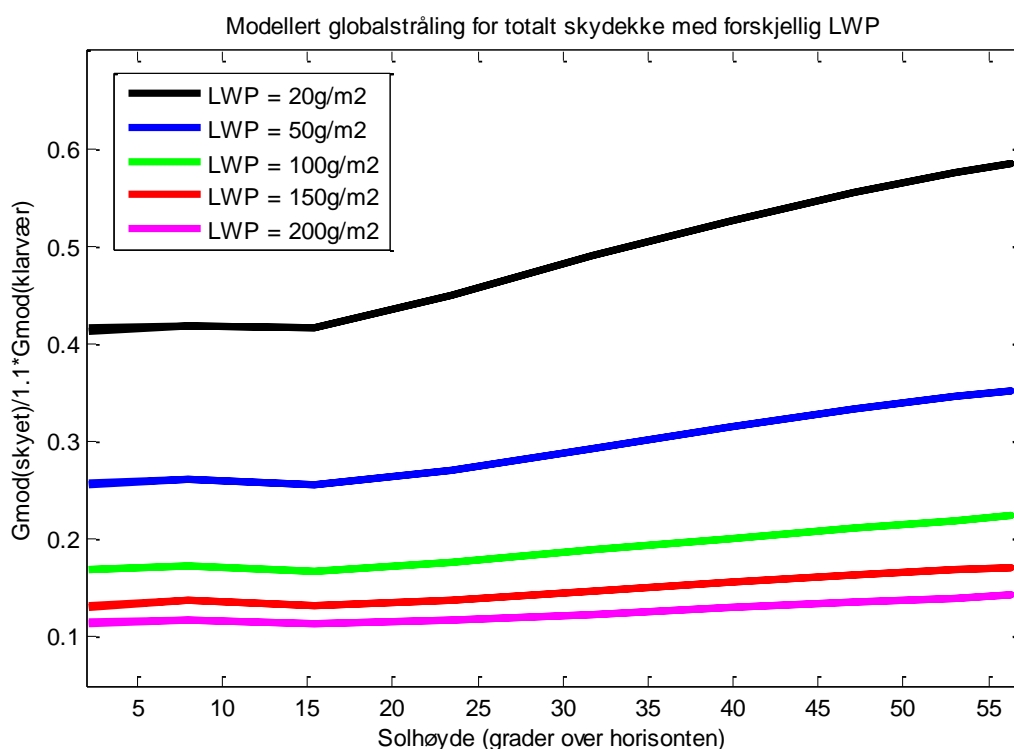
Figur 5.23 Ekstrem klarværsindeks for fullstendig overskyete dager ved Bjørnøya (skyobservasjoner blir foretatt hver time) plottet opp mot solhøyde i likhet med figur 5.3.3. Figuren er delt opp etter måneder med snødekke (til høyre) og uten snødekke (til venstre).

Figur 5.23 viser at middelet stiger fra 0.270 til 0.285, det vil si omtrent 5 % høyere i månedene med snødekt bakke. Men her må det nevnes at temperaturen i vintermånedene er lavere enn om sommeren slik at mengden vann i skyene er mindre. Dermed er optisk tynnere skyer i vintermånedene forventet i forhold til sommermånedene. Figuren viser at multipel spredning sannsynligvis forekommer men utgjør en liten forskjell i målingene og ikke kan forklare hvorfor klarværsindeksen i Arktis på overskyete dager er høyere enn i Bergen. Om årsaken dermed kommer av at skyene har en lavere optisk tykkelse grunnet lavere LWP, vil bli diskutert nedenfor.

Optisk tykkelse

For å se hvordan endret vannmengde (LWP; Liquid Water Path) påvirker globalstrålingen ble modellen kjørt med fullstendig skydekke for breddegraden 53°N den 21. juni for forskjellige mengder LWP mellom 20g/m^2 og 200g/m^2 . Tidspunktet og breddegraden ble valgt for å få den største variasjonen i solhøyde sett i dette arbeidet. Figur 5.24 viser den ekstreme klarværsindeksen beregnet med ligning 5.3 som en funksjon av solhøyden.

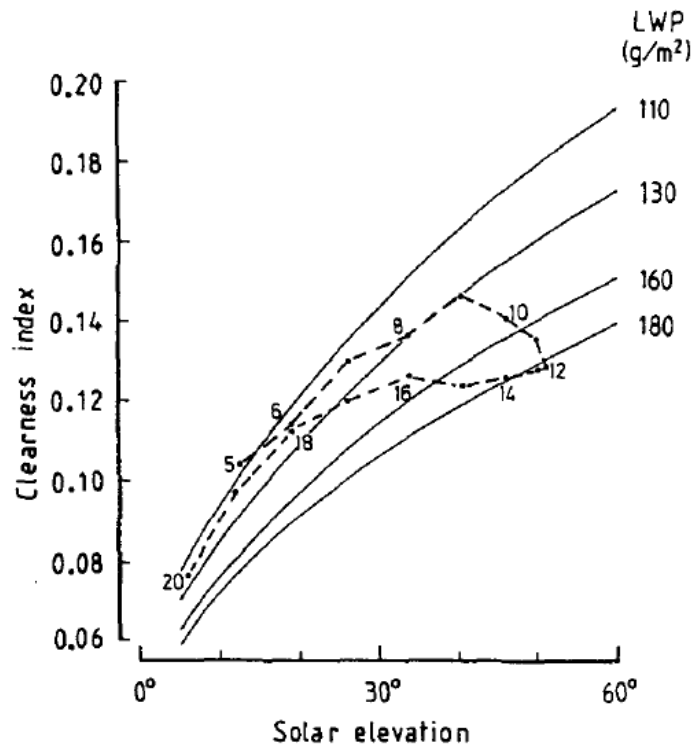
Figuren viser at en sky med høy LWP har en lavere klarværsindeks og er mer optisk tykk enn en sky med lav LWP. Det vises også at ved lav LWP vil den modellerte klarværsindeksen øke med økende solhøyde i større grad enn ved høyere LWP, og transmisjonen vil derfor være størst midt på dagen. At denne solhøydeavhengigheten avtar ved høyere mengde LWP er en konsekvens av at tykke skyer i større grad reflekterer tilbake direktestrålingen (Hartmann, 1994).



Figur 5.24: Modellert klarværsindeks mot solhøyde ved 53°N den 21. juni for fullstendig skydekke med LWP fra 20 -200 g/m².

Figur 5.24 sammen med figur 5.20 viser at skyene ved Bjørnøya har en LWP på omkring 50g/m² da den midlere klarværsindeksen lå på 0.26. Dette er betydelig mindre vannmengde enn Bergen som i følge figur 5.24 ligger omkring 100g/m², da den hadde en midlere klarværsindeks på 0.16. Vannmengden vil dermed i følge modellen omtrent halveres fra Bergen til Bjørnøya. Siden begge disse stasjonene befinner seg med havnivå er dette ett resultat av 25° forskjell i breddegrad mellom stasjonene. I Tibet har man stasjoner på 3000-4500 meters høyde over havet. Her vil LWP ligge på ett nivå enda lavere enn Bjørnøya til tross for at breddegraden er lavere, omtrent 30°N (Yangzom, 2010). Yangzom konkluderer med at Tibet hadde en midlere klarværsindeks på omtrent 0.5, noe som i Figur 5.24 tilsier en LWP på omtrent 20g/m².

Figur 5.24 er fremstilt av modellkjøringer som har en fast LWP gjennom døgnet. Studier ved Bergen (J. A. Olseth & Skartveit, 1989) viser derimot at LWP varierer gjennom døgnet og er høyest ved middag når sola står høyest på himmelen, vist i figur 5.25. Dette fører til en nedgang i klarværsindeksen midt på dagen, altså motsatt av figur 5.24 der klarværsindeksen er høyest ved dette tidspunktet.

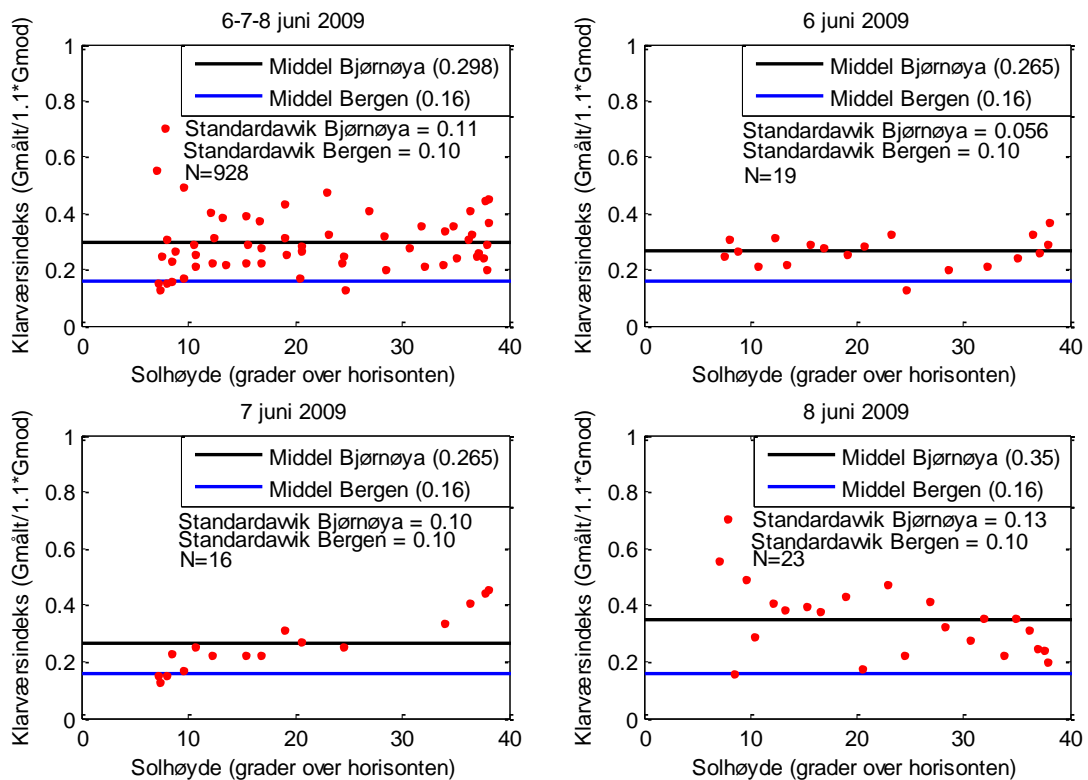


Figur 5.25: Gjennomsnittlig observert klarværsindeks ved Bergen for forskjellig solhøyde. LWP (Liquid Water Path, g/m^2) varierer med solhøyden. Basert på 139 overskyete dager fra 1985 - 1985. (J. A. Olseth & Skartveit, 1989)

For å se hva som er tilfellet i Arktis ble klarværsindeksen for 3 etterfølgende fullstendig overskyete dager, 6.-8. juni 2009, ved Bjørnøya fremstilt. Alle dagene er i figur 5.26 først plottet sammen, deretter hver for seg.

For den 6. og 7. juni er midlere klarværsindeks lik (0.265). Mens klarværsindeksen for den 6. juni er forholdsvis konstant gjennom dagen, ser den ut til å ha en svak økning med økende solhøyde dagen etter. For den 8. juni er midlere klarværsindeks større (0.35) noe som tyder på lavere LWP. Her ser det ut til å være en minkende klarværsindeks med økende solhøyde, noe som kan tyde på større LWP midt på dagen.

Arktis, som har en lavere LWP enn Bergen, vil ikke få den samme økningen av optisk tykkelse midt på dagen. Solhøydeavhengigheten til klarværsindeksen er likevel trolig en kombinasjon av at den øker med solhøyde grunnet høyere transmisjon, og synker grunnet en økende optisk tykkelse for skyer midt på dagen.



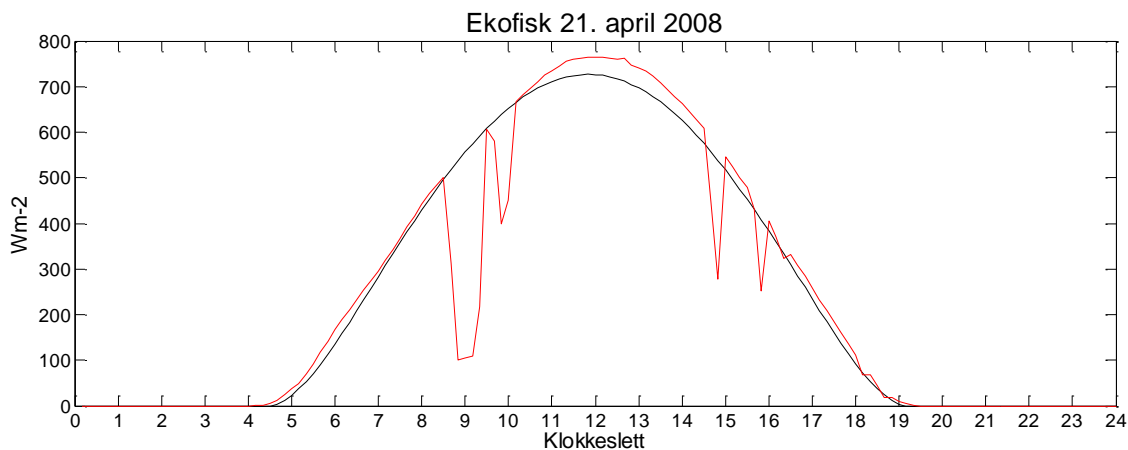
Figur 5.26: Ekstrem klarværsindeks ved Bjørnøya, 6-8 juni 2009, mot solhøyde. Alle dagene samlet øverst til venstre. Figuren viser observasjoner ved Bjørnøya (røde punkt), middel for Bjørnøya (svart linje) og middel for Bergen (blå linje). Tilhørende standardavvik for Bjørnøya og Bergen blir opplyst. N = antall observasjoner.

5.3 utfordringer ved Ekofisk

Som beskrevet i kapittel 3.1.3 vil omliggende objekter ødelegge for deler av datasettet fra Ekofisk. Av den grunn er ikke all data herfra benyttet i dette arbeidet. I tillegg ser de modellerte klarværsverdiene ut til å ligge noe over de målte verdiene ved klare dager på våren, og datasettet har periodevis unormalt lave negative verdier når sola befinner seg under horisonten.

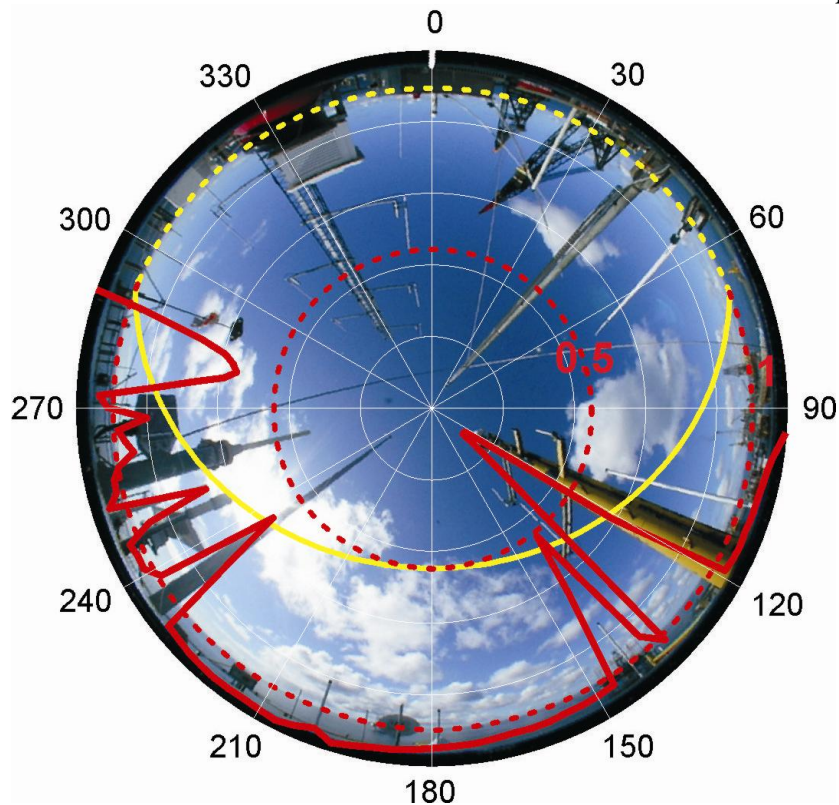
5.3.1 Plasseringen av instrumentet

Som vist i kapittel 3.1.3 er instrumentene på Ekofisk plassert slik at master og andre objekter kaster skygger over pyranometeret. Dette fører til at direktestrålingen ved enkelte tidspunkt skygges for. Figur 5.27 viser hvordan målingene påvirkes en klar dag, 21. april 2008. Man kan se at det oppstår ett kraftig fall i den målte verdien når sola går bak to objekter på formiddagen omtrent kl 09:00 til kl 10:00. Et område i sørlig retning er uforstyrret frem til omtrent kl 14:30. På ettermiddagen forstyrres målingen merkbart av 2 nye objekter.



Figur 5.27: Modellert globalstråling (svart kurve) og målt globalstråling (rød kurve) på en klar dag ved Ekofisk. Enkelte tidspunkt påvirkes den målte globalstrålingen av objekter i området rundt instrumentet.

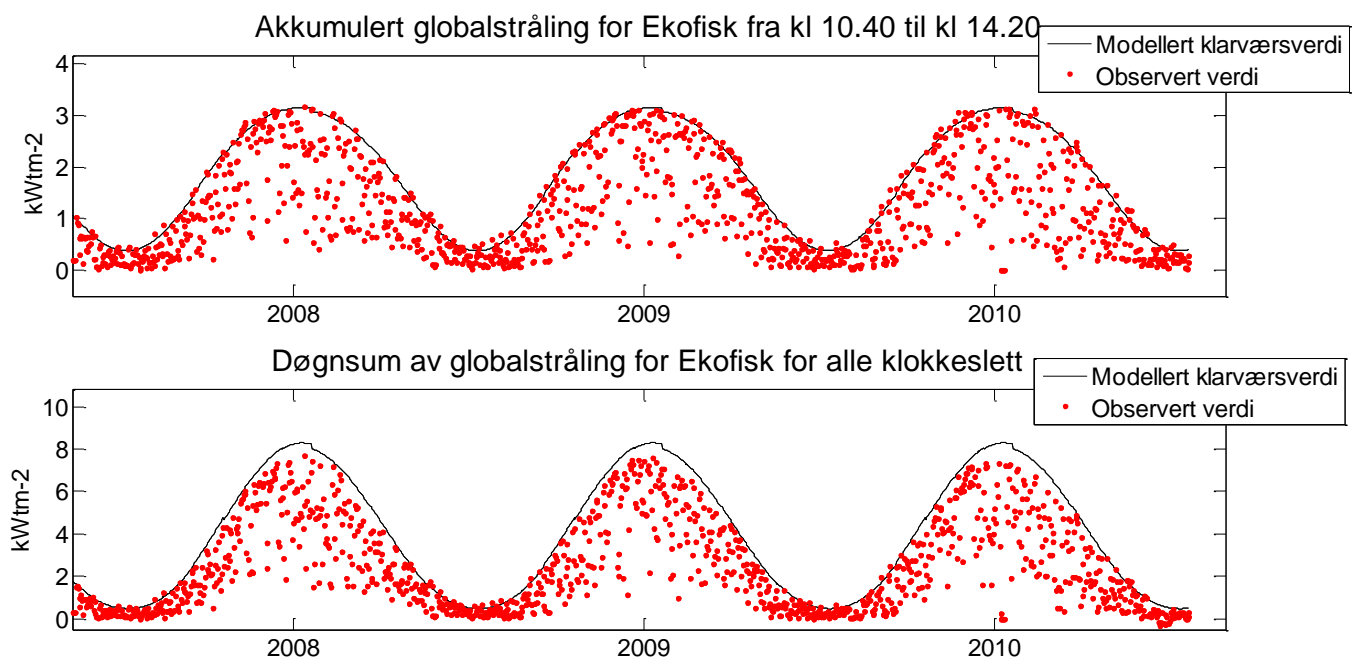
Ett fisheyebilde gir en god oversikt over hvordan mastene er plassert i forhold til instrumentet. Fisheyebildet, sett i figur 3.5, er i figur 5.28 satt sammen med ett polarplot av klarværsindeksen for den klare dagen 21. april 2008 og den tilhørende solbanen. Her er den heltrukne røde kurva for klarværsindeksen kuttet når den går utenfor randen på figuren. Dette skjer ved lav sol når målingene har en større verdi enn modellert klarværsverdi. Effekten på klarværsindeksen forsterkes ved at man har to små tall dividert på hverandre.



Figur 5.28: Fisheyebilde tatt fra UV-biometeret ved Ekofisk viser omgivelsene rundt instrumentene. Klarværsindeksen (heltrukne røde kurve) og den tilhørende skalaen (rød stiptet linje) vises for en klar dag, 21. april 2008. Den tilhørende solbanen denne dagen vises som en heltrukken gul kurve. En stiptet gul kurve langs horisonten forteller at sola er under horisonten. Bildets orientering vises ved gradeskiven på randen av figuren der 0° vil være mot nord og 180° er mot sør.

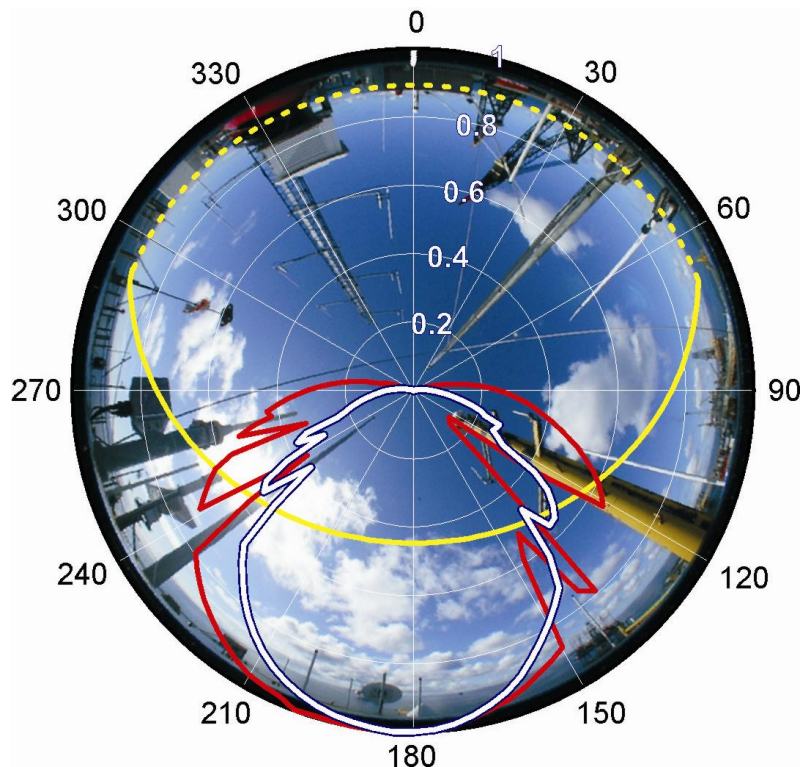
På grunn av forstyrrelsene vist i figur 5.27 og 5.28 vil ikke en døgnsum av målte globalstrålingsverdier nå opp til den modellerte klarværskurva tilsvarende den sett for de andre stasjonene i figurene 5.1-5.7. For at målinger på klare dager skulle kunne sammenlignes med den modellerte klarværskurva ble tidsrommet der strålingsmålingene ble forstyrret fjernet fra datasettet. Etter å ha studert flere klare dager, så solas bane ut til å være uten direkte påvirkning av master og andre objekter mellom klokka 10:40 og 14:20. ”Døgnsummer” for Ekofisk ble derfor laget som akkumulerte 10minuttersverdier i dette tidsrommet. Ved å benytte dette tidsintervallet falt også tidsrommet med lav solhøyde bort. Det gjorde også muligheten for påvirkning av ytterligere gjenstander som lå nede i horisonten.

Figur 5.29 viser forskjellen mellom modellerte og målte akkumulerte verdier av globalstrålingen. Øverst vises kun det begrensede tidsrommet mellom kl 10:40 og kl 14:20. Nederst vises en døgnsum av alle målingene gjennom hele døgnet. Det ses tydelig at døgnsummen for de klareste dagene, der alle klokkeslett er inkludert, ligger under den modellerte klarværskurva om sommeren.

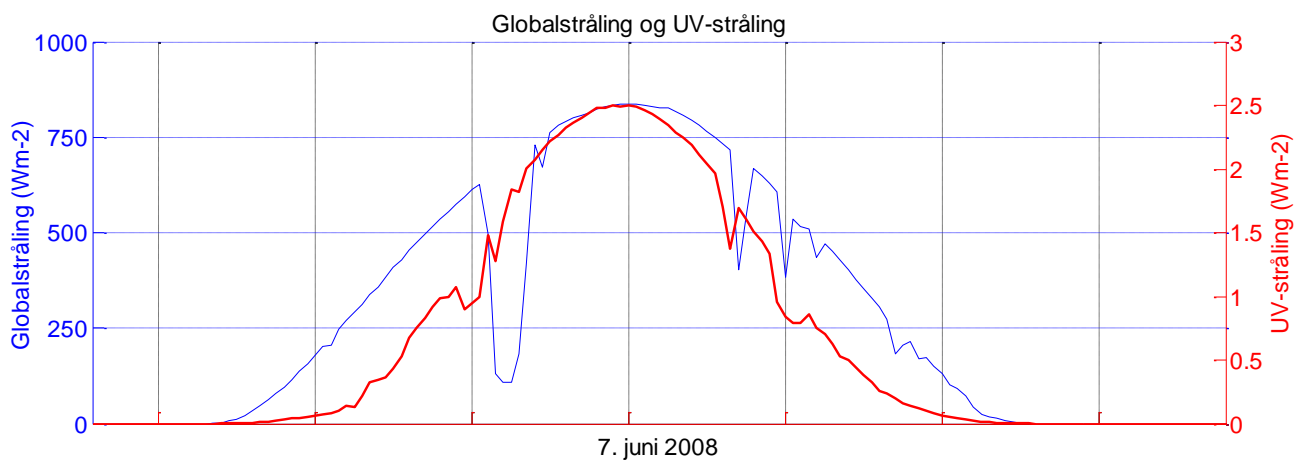


Figur 5.29: Akkumulerte 10minuttsverdier av globalstråling ved Ekofisk i tidsrommet 10:40 til 14:20 (øverst). Døgnsummer av globalstrålingen gjennom hele døgnet vises under.

Som nevnt i kapittel 3.1.3 er fisheyebildet i figur 3.5, 5.28 og 5.30 tatt fra UV-biometeret på Ekofisk, plassert til side for CM11 pyranometeret. På grunn av dette vil fallet i figur 5.30 og i klarværsindeksen i figur 5.28 være noe forskjøvet i forhold til objektene som skygger for solbanen. I figur 5.30 vises at fallet i den normaliserte UV-stråling (hvit kurve), målt fra UV-biometeret, faller bedre sammen med mastenes plassering i forhold til solbanen. Det ses også tydelig at fallet i strålingsmålingen, der mastene skygger for, er større for globalstrålingen enn for UV-strålingen. Dette vises også i figur 5.31 der målt global- og UV-stråling er blitt sammenlignet en klar dag ved Ekofisk, 7. juni 2008.



Figur 5.30: Globalstråling (rød kurve) og UV stråling (hvit kurve) en klar dag, 21. april 2008, ved Ekofisk normalisert med hensyn på seg selv. Verdiene er gitt i hvitt, der en ligger på randen av figuren. Solbanen denne dagen vises som en gul kurve. Denne er stiplet der sola er under horisonten. Himmelretningen vises i grader der 0 er mot nord og 180 er mot sør.



Figur 5.31: UV-stråling (rød kurve) og globalstråling (blå kurve) observert den 7. juni 2008 ved Ekofisk.

UV-stråling er, som nevnt i kapittel 2, den delen av globalstrålingen med kortest bølgelengde (λ). Rayleighspredning, som er den viktigste spredningsprosessen i atmosfæren, er dominant for kortere bølgelengder og proporsjonal med λ^{-4} . På grunn av dette finnes en større andel diffus stråling i UV-strålingen enn i globalstrålingen.

Da den diffuse strålingen er spredt stråling fra ulike retninger på himmelen, påvirkes den ikke i like stor grad av de omliggende objektene. Derfor vil heller ikke UV-strålingen påvirkes i like stor grad som globalstrålingen. Likevel vil mastene til en hver tid skygge for noe av den diffuse strålingen uansett hvilken retning sola står i. Dersom mastene ikke hadde vært til stede ville i teorien målingene av globalstråling til en hver tid vært høyere

ved at diffus stråling ikke ble skygget for. Gjennom kommunikasjon med Bjørn Johnsen fra Statens Strålevern har det kommet frem at den målte UV-strålingen i klarvær ligger omtrent 20% under den modellerte klarverskurva for UV-stråling. Om objektene som skygger for globalstrålingen kan forklare så mye som ett 20 % avvik i UV-strålingen er usannsynlig.

5.3.2 Differanse mellom målte og modellerte verdier

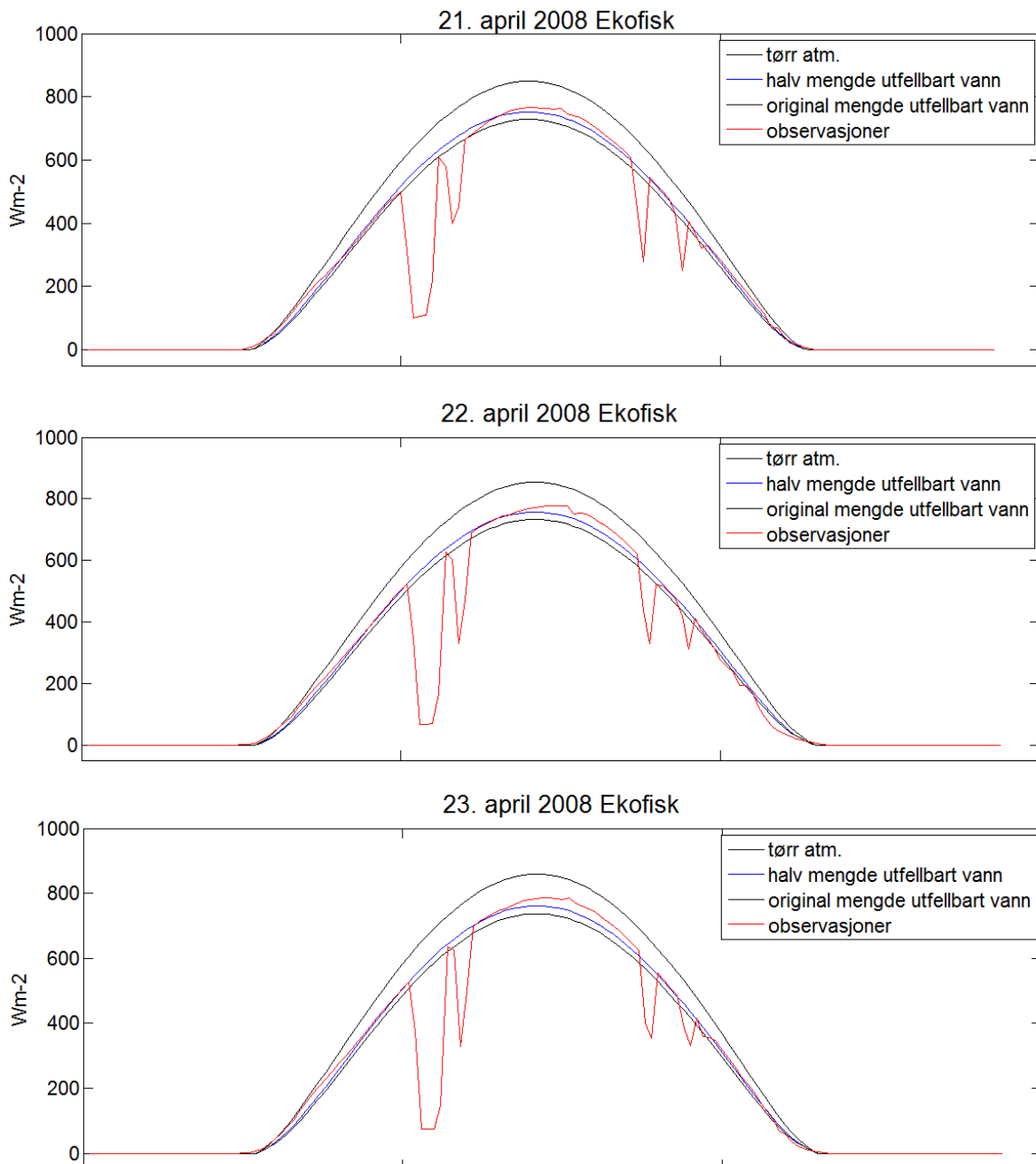
Figur 5.27 og 5.28 viser at den målte globalstrålingen for den klare dagen 21. april 2008 ligger over verdiene for den modellerte klarværsstrålingen når det ikke blir skygget for pyranometeret ved sol i sørlig retning. De to etterfølgende dagene 22. og 23. april er også regnet som klare dager selv om skymengden her ikke er satt til 0 åttendedeler gjennom hele dagen. En oversikt over skymengden i åttendedeler disse dagene er gitt i tabell 5.1.

Observert skydekke i 8. deler 21. -23. april 2008			
Klokka \ Dag	21 april	22 april	23 april
1	1	X	X
4	1	2	3
7	1	1	X
10	2	1	1
13	1	1	2
16	1	2	1
19	1	X	2
22	2	3	2

Tabell 5.1: Skymengde i 8. deler for tre etterfølgende dager (21. og 23. april). Disse regnes som klare dager i dette arbeidet. X = ukjent skymengde.

Flere klare dager ved Ekofisk ble studert. Om våren, mars-mai, hadde klare dager generelt for høye verdier av globalstråling i forhold til de modellerte. Forholdsvis klare dager med for høye verdier resten av året ble også funnet, men var ikke like fremtredende. Det skal også nevnes at de klareste dagene ved Ekofisk ble observert på våren.

Årsaken til at modellerte globalstrålingsverdier er for lave sammenlignet med målte verdier kan komme av at inputverdiene til modellen er ukorrekte. For eksempel vil for høy mengde utfellbart vann, som også påvirker modellen i størst grad (se kapittel 4.4.1), gi for lave modellerte verdier, mens refleksjoner fra de omliggende mastene og objektene ved Ekofisk kan gi for høye målinger. Grunnet det tynne grunnlaget for beregnet mengde utfellbart vann ved Ekofisk, og at en endring i mengden utfellbart vann vil gi størst utslag på modellen, vil dette kunne forklare hvorfor modellen estimerer for lave verdier. Derfor ble de tre etterfølgende klare dagene, fra tabell 5.1, plottet i figur 5.32 på samme måte som figur 5.27 men sammen med en modellkjøring for tørr atmosfære og en for halvert mengde utfellbart vann. Figuren viser da hvor sensitiv modellen er for endret mengde utfellbart vann, samtidig som den viser omtrentlig hvor stor endringen i mengden utfellbart vann må være for at modellens beregninger av globalstråling skal sammenfalle med de målte verdiene.

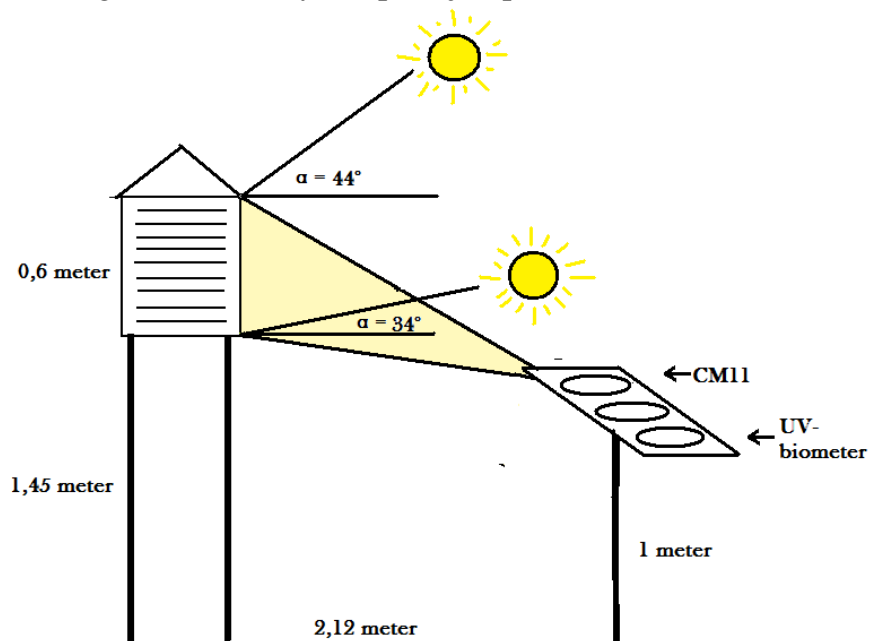


Figur 5.32: Modellert klarværstråling for tørr atm. (svart, øverst), halvert mengde utfellbart vann (blå), original mengde vann benyttet i resten av oppgaven (svart, nederst) og observert globalstråling den 21-23. april 2008 ved Ekofisk.

Figur 5.32 viser at dersom mengden utfellbart vann er årsaken til de lave modellerte verdiene, må den reduseres med mer enn halvparten av det som er benyttet som inputverdi. Temperaturen som må til for at denne mengden utfellbart vann skal være en realitet ved Ekofisk må da synke fra 12.4°C til 2.5°C i juli og fra 2.9°C til -6.9°C i februar (beregnet med ligning 4.5). Dette er urealistisk lave temperaturer for Ekofisk, slik at ukorrekte inputverdier til modellen av mengden utfellbart vann alene ikke kan være årsaken til forskjellen i målt og modellert globalstråling.

En annen grunn til at de målte globalstrålingsverdiene for klare dager ikke sammenfaller med de modellerte klarværsverdiene kan være refleksjoner fra objektene i nærheten. En

hvit instrumenthytte som er plassert i nord/ nordvestlig retning vil kunne reflektere sollyset i en slik retning at det treffer instrumentet og gir for høye observerte verdier. Hvilken påvirkning instrumenthytta har på målingene er usikkert, men dens plassering, se figur 5.33, gjør den til en mulig refleksjonskilde. Det kan ses i figur 5.28 at hytta ikke står direkte mot nord, men noen grader mot vest. Til tross for dette regnes det at en eventuell refleksjon vil finne sted når sola står i sør, da sola er høyest på himmelen. Ved å benytte målene i figur 5.33 beregnes det at hytta kan reflektere direktestråling når solhøyden er mellom 34° og 44° . De dagene der den høyeste solhøyden ligger mellom 34° og 44° ved Ekofisk er 21. mars-19. april. En usikkerhet er om sør-veggen til instrumenthytta står normalt på strålingsinstrumentene. Dersom dette ikke er tilfellet må perioden mellom 21. mars og 19. april forskyves mot sommeren, grunnet at solhøyden når refleksjonene treffer instrumentet ikke lenger er solas høyeste posisjon på himmelen.

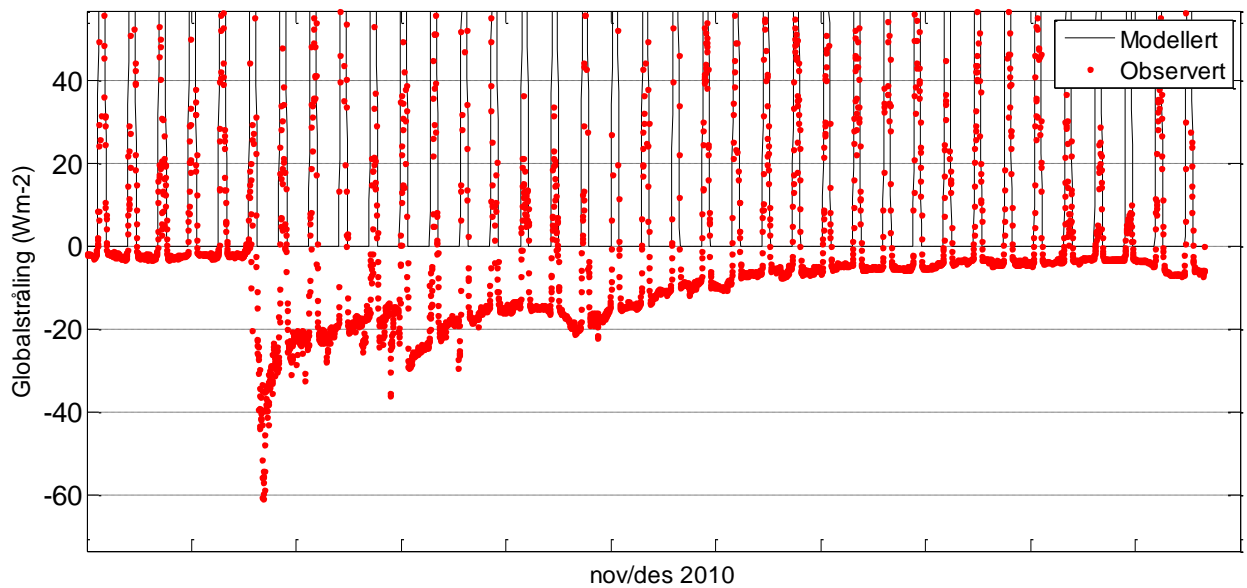


Figur 5.33: Plasseringen av instrumenthytten og strålingsinstrumentene på Ekofisk, sammen med beregnet solhøyde, α , for når en eventuell refleksjon vil treffe CM11 pyranometeret.

5.3.3 Negative målte verdier

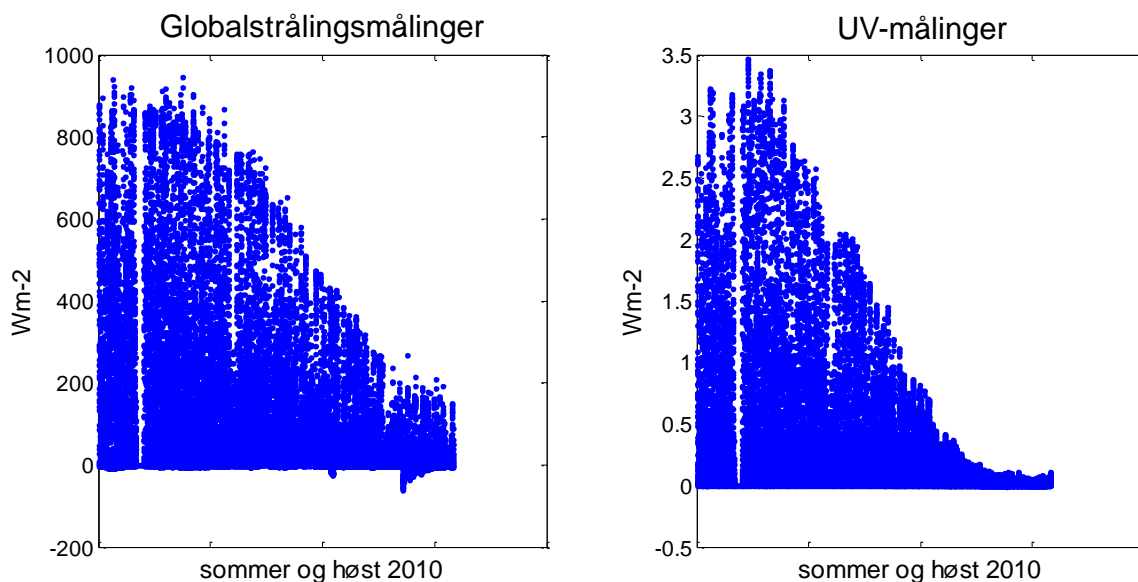
CM11 pyranometeret benytter seg, som nevnt i kapittel 4.1.1, av temperaturdifferansen mellom temperatursensorer i sensorflaten og instrumentets indre for å beregne globalstrålingen. Dersom det oppstår negative verdier på nattetid kan dette komme av langbølget strålingsavkjøling av kuplene slik at en får en strålingstransport fra sensorflaten mot kuplene. Globalstrålingsmålingene når sola er under horisonten ligger normalt på mellom 0 til -2 Wm^{-2} .

Ved Ekofisk blir det målt store negative verdier på nattetid i slutten av 2010. Omkring 29. november ligger disse helt ned mot -60 Wm^{-2} . Grunnet lite klarvære er det vanskelig å si noe om disse negative verdiene får betydning for målingene gjort når sola er over horisonten. Figur 5.34 viser hvordan observasjonene relativt raskt faller ned mot lave verdier, for så å sakte rette seg opp mot normale verdier igjen. Ved andre mindre perioder med negative verdier i datasettet, synker verdiene sakte for deretter å gå hurtig tilbake til verdier nærmere 0.



Figur 5.34: Utsnitt av målte og modellerte globalstrålingsverdier (10minuttsverdier) i november og desember 2010. Observasjonene vises som røde prikker, ned mot -60Wm^{-2} , mens modellen ses som hele svarte linjer.

Figur 5.35 viser at uvanlige lave verdier kun måles ved CM11 pyranometeret og ses ikke i målingene fra UV-biometeret. Dette tyder på at de lave verdiene skyldes instrumentet eller dets strømtilkobling. En løsnet kontakt kan skape ett fall som ses i figur 5.34 men kan ikke forklare den gradvise forbedringen som ble målt etter dette. Instrumentet på Ekofisk ble sett til av Angus Munro vinteren 2011. Han observerte ikke noe galt med verken instrumentet eller de elektriske koblingene. Målinger av globalstråling ved Ekofisk fra vinteren 2011 er blitt sett på og ser ut til å ha stabilisert seg på omkring -1 til -2Wm^{-2} om natten.



Figur 5.35: Målte verdier for globalstråling og UV- stråling sommer og høst 2010. Negative verdier tilsvarende dem som ses for målt globalstråling ses ikke for målt UV- stråling.

Korreksjonsfaktor

Det har i dette kapittelet blitt pekt på faktorer som gjør at globalstrålings data fra Ekofisk ved enkelte tidspunkt ikke er egnet til bruk i videre forskningsarbeid. Men dersom man likevel vil benytte målinger fra Ekofisk ved tidspunktene der mastene påvirker direktestrålingen, hadde det vært ideelt å komme med korreksjonsfaktorer. Noe som gjør det til en vanskelig oppgave å finne disse er at en den ikke bare må finnes for hvert klokkeslett men også for hver enkelt dag gjennom året. Dette er fordi målingene ikke er gjort i sann soltid, men i sentraleuropeisk tid (UTC+1). Solas posisjon på himmelen ved bestemte klokkestett endrer seg derfor gjennom året. På dager med spredt skydekke vil en korreksjonsfaktor også være vanskelig å finne, fordi man ikke vet om skyene skygger for sola eller ikke.

5.4 Horisontens påvirkning ved Holt

Globalstrålingen ved alle stasjonene sett på i dette arbeidet har blitt estimert med fri horisont. Grunnen til dette har vært manglende informasjon om horisonten ved de fleste av stasjonene. For Holt finnes derimot ett horisontpanorama fra 1997, der det som kan skygge for solbanen i horisonten er målt for hver 10° i alle horisontale himmelretninger. Modellen ble dermed kjørt en gang til for Holt med horisontpanoramaet som en ekstra inputverdi.

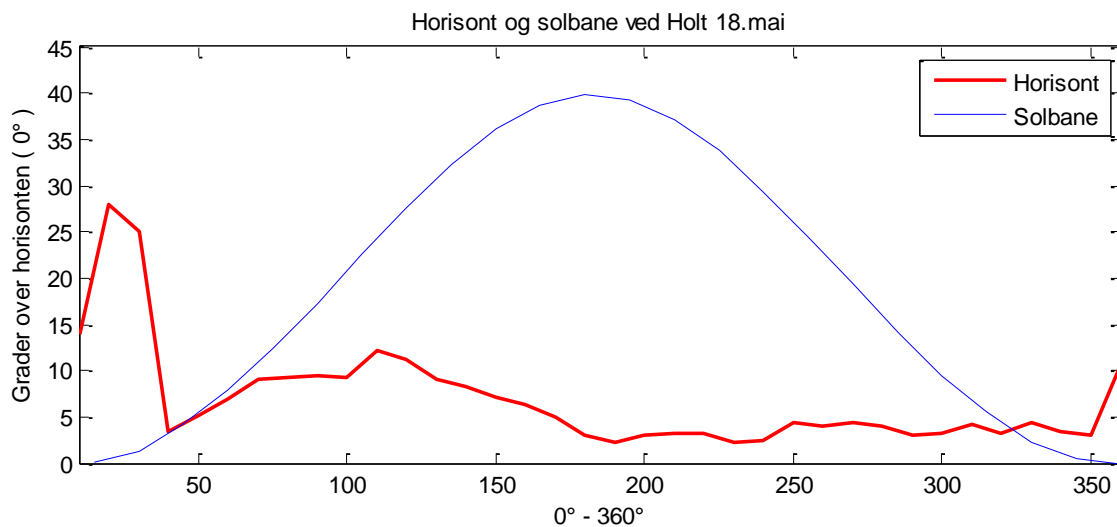
I figur 5.37 er modelleringen med horisont (rød kurve) og uten horisont (blå kurve) vist for en bestemt klar dag ved Holt, 18. mai 2009. Figuren viser at modelleringen med horisont gir en lavere klarværskurve når sola står lavt på himmelen, spesielt i nordøstlig retning. Figur 5.36 viser solas bane denne dagen sammen med ett plot av horisonten. Her ses det at horisonten skygger for direktestrålingen fra sola til den er omtrent 5° over horisonten i den samme nordøstlige retningen.

Klarværsindeksen ved Holt denne dagen ble deretter beregnet på nytt med ligningen

$$\text{Klarværsindeks} = \frac{G_{\text{målt}}}{G_{\text{horisont}}} \quad (5.5)$$

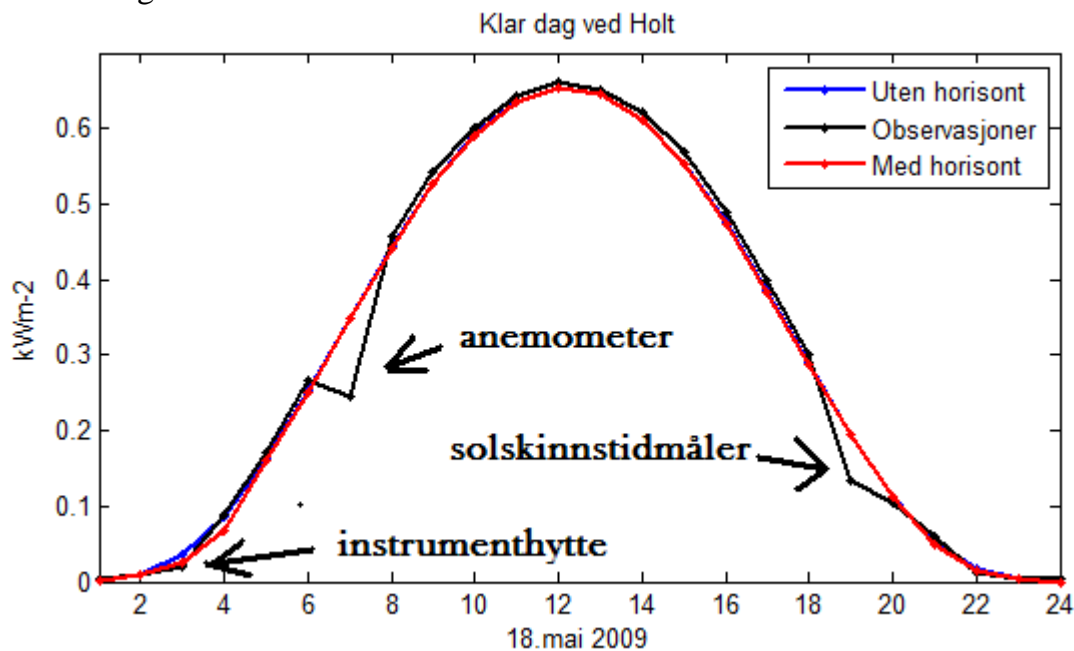
der G_{horisont} er modellens estimering av globalstrålingen i klarvær dersom horisonten ble benyttet som en ekstra innputtverdi. Dette viser at modellen kjørt med horisontpanorama ikke vil påvirke den gjennomsnittlige klarværsindeksen med mer enn en faktor på 10^{-3} ved denne dagen.

Å kjøre modellen uten horisontpanorama ved Holt, spesielt dersom ikke det ikke benyttes målinger der lav solhøyde forekommer, vil påvirke resultatet i liten grad. Dette er fordi horisonten vil skygge for direktestrålingen som ved lav sol er en svært liten del av globalstrålingen. På døgnbasis er også strålingen i dette tidspunktet lav, og vil ikke utgjøre en stor del av en døgnsum.



Figur 5.36: Horisontpanorama fra 1997 (rød) sammen med solbanen den 18. mai (blå) ved Holt. 0° og 360° tilsvarer retning mot nord, 180° mot sør.

I figur 5.37 ble også observasjonene den 18. mai 2009 plottet (svart kurve). Denne viser at globalstrålingen synker ved 3 områder, en gang i nordøst, en gang i øst og en i vest. Spesielt de to avvikene fra klarværskurvene i øst og vest kan ikke forklares med horisontpanoramaet, som ikke viser at noe skal skygge for instrumentet når sola står i disse himmelretningene.



Figur 5.37: Målinger av globalstråling (svart kurve), modellert klarværstråling uten horisont (blå kurve) og modellert klarværstråling med horisont (rød kurve) en klar dag, 18. mai 2009, ved Holt.

Figur 5.38 viser at pyranometeret ved Holt er plassert mellom to instrumenter, ett anemometer og en solskinnstidmåler. Disse to vil til enkelte tidspunkt og årstid kaste skygger over pyranometeret og forårsake avvikene mot øst og vest i figur 5.37. I tillegg til disse to finnes en instrumenthytte mot nord, se figur 3.3. Denne kan skygge for sola når det er midnattssol ved Holt. Påvirkning på den observerte globalstrålingen ses tydeligst på klare dager i månedene mai-juli.

Instrumentene har vært plassert slik siden instrumentene ble oppført en gang på 80-tallet, derfor burde horisontpanoramaet fra 1997 fortelle noe om instrumenthytta og de to andre instrumentene. Spesielt siden instrumentet i øst svekker målingene på det meste med så mye som 30%. En løsning på problemet vil være å flytte instrumentene lengre fra hverandre slik at det ikke blir kastet skygger over instrumentet.



Figur 5.38: Plasseringen av pyranometeret på Holt. Til venstre ses et anemometer (Fabrikat Friedrichs) og til høyre en solskinnstidsmåler (Fabrikat Haenni modell Solar 11). Foto: Amelie Henden

6 Sammendrag og konklusjon

I dette arbeidet ble globalstrålingsdata fra Ekofisk, Arktis og fastlandsstasjoner i Norge og Sverige studert. Alle stasjonene ligger mellom 56°N og 75°N og all data er fra perioden mellom 2005 og 2010. Globalstrålingsdata fra hver av de aktuelle målestasjonene ble først kvalitetstestet og resultatet ble analysert. Deretter ble skyenes egenskaper ved Jan Mayen, Bjørnøya og Holt sett på og sammenlignet med Bergen. I tillegg ble data fra stasjonene Ekofisk og Holt diskutert nærmere.

Målestasjonene i Arktis og Ekofisk er nylig tatt i bruk som målestasjoner for globalstråling og data benyttet i dette arbeidet fra disse har ikke blitt studert tidligere. Det finnes få slike målestasjoner i disse områdene og målingene er derfor sjeldne. Spesielt er målingene ved oljeplattformen Ekofisk unike da dette er globalstrålingsmålinger fra ett fast punkt over åpent hav. En kvalitetskontroll av disse målingene er derfor viktig da disse skal benyttes videre innen annet forskningsarbeid.

Ved alle stasjonene måles globalstrålingen på en horisontal flate med ett CM11-pyranometer. For å kunne foreta en kvalitetskontroll av den målte globalstrålingen ble en strålingsmodell, McMastermodellen (Davies, 1982), benyttet til å modellere tilsvarende globalstrålingsverdier i klarvær for hver stasjon. Denne modellen krever inputverdier av lengde- og breddegrad, duggpunktstemperatur, ozon og albedo, og beregner 60 globalstrålingsverdier for hver time. Disse midles over til 10minutts, times eller døgnverdier som ble benyttet i dette arbeidet. De nordligste stasjonene sett på i dette arbeidet opplever midnattssol i sommermånedene og mørketid i vintermånedene. Her kan mye lav sol gjøre målingene unøyaktige.

For alle målestasjonene i dette arbeidet ble døgnsummer av målt globalstråling, eller akkumulerte verdier, sammenlignet med en tilsvarende modellert klarværsverdi. På klare dager bør dermed den målte verdien samsvare med den tilsvarende modellert klarværsverdien. Ved samtlige stasjoner var det bra samsvar mellom modellert klarværstråling og de høyeste målte døgnsummene. Ved de Arktiske stasjonene lå derimot døgnsummene av målt klarværstråling noe under den modellerte klarværskurva i sommermånedene, og for Hopen og Bjørnøya også på høsten. Det konkluderes med at dette skyldes svært lite klarvær i området, og det ble vist i figur 5.16 at opp mot 70% av skyobservasjonene ved Hopen, sommer og høst 2010, hadde 8/8 skydekke.

Som en del av kvalitetskontrollen ble det for alle datasettene også fremstilt en relativ frekvensfordeling av klarværsindeksen mellom målte timesverdier, eller 10minuttsverdier av globalstråling og tilsvarende modellerte klarværsverdier. For klare dager skal denne klarværsindeksen ligge på en verdi omkring 1. For mindre klare dager skal denne ligge lavere. Samtlige stasjoner har en klarværstopp omkring 1, noe som tyder på at målingene og modellens verdier samsvarer godt ved klarvær. Her kom det også tydelig frem at Arktis opplever mindre klarvær og mer overskyet enn de andre målestasjonene da frekvensen av lave klarværsindekser her var størst. Dette ble også sett ved at en midlet klarværsindeks ble beregnet for alle år i figur 5.8 -5.14. Her var middelet under 0.5 for de arktiske stasjonene, men rundt 0.6 for Holt. Generelt viste kvalitetskontrollen at målingene fra alle stasjonene er

av god kvalitet. For Ekofisk gjaldt kontrollen kun for ett bestemt tidsintervall 10:40-14:20. Dette vil si den delen av døgnet der sola står høyest på himmelen. Ved delvis skydekke vil sannsynligheten for at direkte sol treffer instrumentet og dermed gir høyere klarværsindeks være større når solhøyden er stor. Dette kan være med på å forklare hvorfor den midlere klarværsindeksen ved Ekofisk så høy som 0.65. Sett i sammenheng med figur 5.15 har også Ekofisk størst frekvens av spredt skydekke noe som kan gi en økt klarværsindeks.

Skyenes mengde og tykkelse er en faktor som har stor påvirkning på globalstråling. Temperatur, nedbør og luftfuktighet går generelt ned dersom man beveger seg mot en høyere breddegrad, men i Arktis ses en høyere frekvens av større skymengde enn ved de andre målestasjonene. Svært mange overskyete dager ved de arktiske målestasjonene gjør at skyenes egenskaper kan studeres disse dagene. Ved Hopen er frekvensen av 8/8 skydekke opp mot 60%. Til sammenligning er høyeste frekvens av 8/8 skydekke utenfor Arktis omkring 25%. Resultater fra ett tidligere arbeid fra Bergen (J. A. Olseth, A. Skartveit, 1993) ble brukt som sammenligning av data fra Jan Mayen, Bjørnøya og Holt. Det ble vist at skyenes optiske tykkelse i Arktis var lavere for helt overskyete dager sammenlignet med Bergen. For Bjørnøya var denne forskjellen størst med en midlere klarværsindeks på overskyete dager på 0.26 mot en tilsvarende verdi for Bergen på 0.16. Det ble vist at påvirkningen multippel spredning mellom en reflekterende snøflate og skybunnen ved Bjørnøya spiller liten rolle. Dermed måtte den høyere klarværsindeksen komme av lavere vanninnhold (LWP) i skyene. Skyenes omtrentlige LWP ved Bergen, Bjørnøya og Tibet (Yangzom, 2010) ble funnet ved hjelp av modellen og var 100 g/m^2 ved Bergen, 50 g/m^2 ved Bjørnøya og 20 g/m^2 ved Tibet. Dette understreker at LWP minker med økende breddegrad, og med høyde over havet.

I dette arbeidet blir målingene ved Ekofisk sett nærmere på. Omliggende objekter og master skygger ved enkelte tidspunkt for direktestrålingen og forstyrrer målingene i betydelig grad. Tidsintervallet 10:40-14:20 ble benyttet da den direkte strålingen ikke ble skygget for i dette tidsrommet. Deler av den diffuse strålingen blir til en hver tid skygget for. Det ble funnet at skyggeeffekten på klare dager var større for globalstrålingen enn for UV-strålingen, noe som kommer av at Rayleigh-spredningen fører til en større andel av UV-stråling er diffus eller spredt stråling. Skjermingseffekten fra objektene blir derfor mindre for UV-strålingen.

Dersom en korreksjonsfaktor ikke finnes for direktestrålingen som skygges for ved Ekofisk bør kun klokkeslettet mellom 10:40 til 14:20 benyttes. Dager som var klare i dette tidsintervallet ble studert, og det ble sett at disse, spesielt på våren, hadde litt høyere verdier av målt globalstråling i forhold til klarværsmodellen. Om dette skyldtes for høye verdier av mengden utfellbart vann som input til klarværsmodellen ble diskutert, men temperaturen, som skulle til for at mengden utfellbart vann alene skulle være årsak til avviket mellom målte og modellerte verdier, måtte da ha sunket fra 12.4°C til 2.5°C i juli og fra 2.9°C til -6.9°C i februar. Dette er urealistisk lave temperaturer for Ekofisk, slik at ukorrekte verdier av mengden utfellbart vann ikke kunne være eneste årsaken til dette avviket mellom målingene og modellen.

Refleksjoner fra objektene i nærheten av instrumentet på Ekofisk kan øke den målte verdien. En hvit instrumenthytte som er plassert i nord/ nordvestlig retning ble sett nærmere på. Det beregnes at hytta kan reflektere direktestråling når solhøyden er mellom 34° og 44°

midt på dagen, som er i perioden mars-april. Ved Ekofisk er det i to perioder målt uvanlig lave verdier når sola er under horisonten, ned mot -60 Wm^{-2} . Dette observeres kun ved CM11-pyranometeret og kunne ikke ses i UV målingene i disse periodene, noe som tyder på feil ved instrumentet eller dets strømtilkobling. Om disse negative verdiene også forskyver målingene når sola er over horisonten kunne ikke undersøkes da det ikke ble observert klare dager i disse periodene.

Data ved Ekofisk kan benyttes til verifisering av satellittprodukt og i videre forskning, dersom man er klar over alle faktorer som gir ett utslag på observasjonene. Ideelt sett burde instrumentene ved Ekofisk bli flyttet til ett område der målingene ikke blir forstyrret, men dette er vanskelig av praktiske og sikkerhetsmessige årsaker.

For Holt ble modellen kjørt på nytt med ett horisontpanorama fra 1997 som en ekstra inputverdi. Ved å legge inn horisonten i modellen, ble resultatene i dette arbeidet ikke påvirket i større grad, da målinger mellom under 5° og 10° ikke ble benyttet. På en bestemt klar dag synker den målte globalstrålingen ved 3 tidspunkt, slik at den avviker fra den modellerte klarværstrålingen. Dette skjer når sola står i nordøst, øst og i vest. I øst svekkes observasjonene på det meste med så mye som 30%. Pyranometeret ved Holt er plassert mellom to instrumenter, ett anemometer og en solskinnstidsmåler, som ved å skygge for pyranometeret vil kunne forårsake avvikene mellom målingene og modellen. I tillegg til disse to finnes en instrumenthytte mot nord. Disse tre objektene ble ikke indikert på horisontpanoramaet. Påvirkning på den målte globalstrålingen fra disse tre objektene ses tydeligst på klare dager i månedene mai-juli. En løsning på problemet vil være å flytte instrumentene lengre fra hverandre slik at det ikke blir kastet skygger over strålingsinstrumentet.

Kilder

- Cuffey, K. M., Clow, G. D., Alley, R. B., Stuiver, M., Waddington, E. D., & Saltus, R. W. (1995). Large Arctic Temperature Change at the Wisconsin-Holocene Glacial Transition. *Science*, 270(5235), 455-458.
- Davies, J. A. M., D. C. . (1982). Estimating solar irradiance and components. *Solar energy*, 29(1), 55-64.
- Hartmann, D. L. (1994). *Global Physical Climatology* (Vol. 56): Academic Press.
- Iqbal, M. (1983). *An introduction to solar radiation*. London: Academic Press.
- Karl, T. R., & Trenberth, K. E. (2003). Modern Global Climate Change. *Science*, 302(5651), 1719-1723.
- Leontieva E. , S. K., Olseth J. A. . (1994). Cloud optical properties at Bergen (Norway) based on the analyses of long-term solar irradiance records. 73 -82.
- Olseth, J. A., A. Skartveit. (1993). Characteristics of hourly global irradiance modelled from cloud data. *Solar energy*, 51, 197-204.
- Olseth, J. A., & Skartveit, A. (1989). Observed and modelled hourly luminous efficacies under arbitrary cloudiness. *Solar energy*, 42(3), 221-233.
- Olseth, J. A., Skartveit, A., & Skaar, E. RETROSPECTIVE QUALITY CONTROL OF SOLAR RADIATION DATA.
- Perez, R. I., Pierre Seals, Robert Michalsky, Joseph Stewart, Ronald. (1990). Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance. *Solar energy*, 44(5), 271-289.
- Petit, J. R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N. I., Barnola, J. M., Basile, I., et al. (1999). Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. [10.1038/20859]. *Nature*, 399(6735), 429-436.
- Skartveit, A., & Olseth, J. A. (1992). The probability density and autocorrelation of short-term global and beam irradiance. *Solar Energy*, 49(6), 477-487.
- Stanhill, G., & Callaghan, T. V. (1995). Solar Irradiance, Air Pollution and Temperature Changes in the Arctic. *Philosophical Transactions: Physical Sciences and Engineering*, 352(1699), 247-258.
- Stanhill, G., & Cohen, S. (2001). Global dimming: a review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences. *Agricultural and Forest Meteorology*, 107(4), 255-278.
- Stephens, G. L. (1978a). Radiation Profiles in Extended Water Clouds I: Theory. *Atmospheric Sciences*, 35, 2111-2122.
- Stephens, G. L. (1978b). Radiation Profiles in Extended Water Clouds. II: Parameterization schemes. *Atmospheric Sciences*, 35, 2123.

- Stephens, G. L. (1984). The Parameterization of Radiation for Numerical Weather Prediction and Climate Models. *Monthly Weather Review*, 112(4), 826-867.
- Vavrus, S. (2004). The Impact of Cloud Feedbacks on Arctic Climate under Greenhouse Forcing*. *Journal of Climate*, 17(3), 603-615.
- Wild, M. (2009). Global dimming and brightening: A review. *J. Geophys. Res.*, 114, D00D16.
- Yangzom, D. (2010). *Modeled and Measured Solar Radiation in Tibet*. University of Bergen, Bergen.
1. <http://dokipy.met.no/projects/iaaos-norway/radflux.html>
 2. <http://www.neodc.rl.ac.uk/tutorials/basics/5.htm>
 3. <http://dokipy.met.no/projects/iaaos-norway/radflux.html>
 4. http://met.no/Meteorologi/A_male_varet/Observasjoner_fra_land/Ishavsstasjoner/
 5. http://metlex.met.no/wiki/K%C3%B6ppens_klimaklassifisering
 6. http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39049&_dad=portal&_sc_hema=PORTAL
 7. http://users.du.se/~ffi/SERC/Hybrid/technical_data_files/image013.jpg
 8. <http://meteostanice.agrobiologie.cz/figs/cm11.pdf>
 9. <http://www.paroscientific.com/dewpoint.htm>

