



Forord

Denne masteroppgaven representerer den siste innsatsen i mastergraden innen Miljøfysikk og fornybar energi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU).

Masteroppgaven er skrevet som et samarbeid mellom Meteorologisk Institutt (MET) og Institutt for matematiske realfag og teknologi (IMT).

Jeg vil benytte anledningen til å takke alle som har hjulpet meg i arbeidet med masteroppgaven. Aller først vil jeg takke hovedveilederen min Mareile Astrid Wolff for tålmodig og god veiledning gjennom hele oppgaven. Jeg vil også takke medveilederen min Arne Auen Grimnes for gode og grundige tilbakemeldinger på oppgaven. Min medstudent Marthe Wiik-Hansen Bjerkåsholmen må takkes for god hjelp med Excel og beroligende ord når det ble oppdaget feil i datasettene. Uten hjelpen jeg har fått fra disse tre ville ikke denne oppgaven vært mulig.

Jeg vil også rette en stor takk til Signe Kroken som har stilt opp som en tålmodig kilde til data fra Søråsfeltet og hjulpet meg med informasjon om målerutiner. I tillegg vil jeg takke Tom Ringstad for behandling av målerdata og tilsyn av skjermer. Til slutt vil jeg takke venner og familie for støtte og oppmuntring under arbeidet med oppgaven min.

Ås, 13. desember 2015

Ada Viktoria Husmo Duaas

Sammendrag

Temperatur er en sentral parameter i klimaforskning. Temperaturmåling utføres med temperatursensorer beskyttet av strålingsskjermer. Skjermene beskytter mot direkte solstråling og nedbør. Det finnes flere forskjellige design og størrelser på strålingsskjermer, og i Norge brukes det flere forskjellige typer. I sammenheng med automatisering av målestasjoner foretar Meteorologisk institutt (MET) en utskifting fra trehytter til multiplateskjermer. Forskjellige skjermene påvirkes ulikt av omgivelsene og den indre temperaturen i skjermene kan være ulike ved samme værforhold. Hovedformålet med denne oppgaven har vært å sammenligne seks forskjellige strålingsskjermer for å se om den registrerte temperaturen varierer mellom skjermene og undersøke om det er noen spesielle værforhold som forårsaker forskjellene.

Undersøkelsen av skjermene har foregått på det meteorologiske feltet ved NMBU i Ås i Akershus. Skjermene som ble sammenlignet var to multiplateskjermer fra Young, en kunstig ventilert skjerm fra Young, en kunstig ventilert skjerm fra Apogee, og en multiplateskjerm og temperaturhytte i tre fra MET. Sammenligningen ble gjort i perioden januar 2015 til november 2015. Temperaturdata fra skjermene ble samlet inn på minutt- og timebasis. Parametere som er brukt til å undersøke værforholdene er globalstråling, snødybde, vindstyrke og vindretning. Det ble også foretatt manuelle observasjoner av værforholdene hver tredje time på dagtid i perioden 24. august til 8. november.

Den kunstig ventilerte skjermen fra Young ble brukt som referanse i oppgaven. Når temperaturdifferansene mellom skjermene og referansen beregnes har trehytten fra MET et standardavvik på $0,13\text{ °C}$ og et gjennomsnittlig avvik på $-0,13\text{ °C}$. Multiplateskjermen fra MET har det nest største standardavviket med $0,12\text{ °C}$, men har det laveste gjennomsnittlige avviket på $<0,01\text{ °C}$. Ved en sammenligning av multiplateskjermene har begge skjermene fra Young høyere døgnmiddel enn skjermen fra MET.

Undersøkelse av værforhold viser at de største forskjellene mellom referansen og skjermene fra MET oppstår ved lave vindhastigheter. For sammenligningen av de kunstig ventilerte skjermene ser det ikke ut at temperaturoppfatningen påvirkes av vindhastigheten. Stråling ser også ut til å påvirke størrelsen på differansene. Skyfrie dager og dager hvor det er delvis skyet har større avvik en overskyede dager. De kunstig ventilerte skjermene ser ikke ut til å være påvirket av strålingen.

En meteorologisk Davisstasjon ble sammenlignet med referanseskjermen. Davisstasjonen er en lavkostnadsstasjon som er lett tilgjengelig. Stasjonen har et av de laveste gjennomsnitt av avvikene med $0,01\text{ °C}$, men standardavviket er det største av alle skjermene med $0,14\text{ °C}$.

Ved en utbyting av trehytter til multiplateskjermer fra MET er det nødvendig å homogenisere dataene. Forskjellen mellom skjermene er spesielt stor om sommeren og for døgntemperaturer er det registrert forskjeller på opptil 0,63 °C. For dagsmaksimum og dagsminimum er det registrert store forskjeller og store spredninger i avvikene. For dagsmaksimum er det største avviket på 1,2 °C og for dagsminimum er det største avviket -1,8 °C.

I områder med lave vindhastigheter må det vurderes om det skal settes opp en kunstig ventilert skjerm for å sikre gode temperaturmålinger selv ved lave vindhastigheter.

Abstract

Temperature is an important parameter in climate studies. Temperature measurements are carried out with temperature sensors protected by radiation screens. The screen protects the sensor from direct solar radiation and precipitation. Radiation screens come in different designs and sizes. Several different screens are in use in Norway, and in the process of automating meteorological stations the Norwegian Meteorological Institute (MET) is replacing the traditional wooden screen with a modern multi-plate screen. Temperature sensors protected by screens of different designs might register different temperatures under the same conditions because of the differences in the design of the screens. The main purpose of this study was to compare six different radiation screens to see if the recorded temperature varied between the screens and investigate whether there are any specific weather conditions that cause the temperature differences.

The screens were compared at the field station of NMBU in Ås in Akershus. There were six screens in the comparison: two multi-plate screens from Young, one artificial ventilated screen from Young, one artificial ventilated screen from Apogee, a multi-plate screen and a wooden screen from MET. The comparison of the screens was done with data for the period January to November 2015. Other parameters that were used in the comparison were the global radiation, snow depth, wind speed and wind direction. Manual observations of the weather conditions were conducted every three hours during daytime in the period 24 August to 8 November.

The artificially ventilated screen for Young is used as the reference in the comparisons. Compared to the artificially reference screen the wooden screen has the highest standard deviation with a value of 0.13 °C and the highest average deviation of -0.13 °C. The second largest standard deviation belongs to the multi-plate screen from MET, but the screen also has the lowest average deviation. The standard deviation is 0.12 °C, and the average deviation is <0.01 °C. When comparing the three multi-plate screens, both screens from Young have a higher daily average than the screen from MET.

Examination of the weather conditions shows that the largest differences between the reference and the screens from MET occur at low wind speeds. When the two artificially ventilated screens are compared, no effect of wind speed on the temperature differences is detected. The naturally ventilated screens also seem to be affected by different levels of radiation. Cloudless and partly clouded days have greater temperature differences between the screens than cloudy days. The artificially ventilated screens do not seem to be affected by different levels of radiation.

A meteorological Davis station was compared to the reference screen. The Davis station is a low cost station that is readily available. Compared to the reference the Davis station has one of the lowest averages of the differences with 0.01°C. The standard deviation however is the largest amongst the screens with a value of 0.14 °C.

When the wooden screen is replaced with the multi-plate screen from MET it is necessary to conduct a homogenization of the data. The differences between the screens are particularly high in the summer with the highest daily temperature difference measured to 0.63 °C. The daily maximum and minimum contain large deviations. For daily maximum the largest deviation is 1.2 °C and for the daily minimum the largest deviation is –1.8 °C.

In areas with low wind speeds it should be considered whether an artificially ventilated screen should be mounted to ensure good temperature measurements even at low wind speeds.

Innhold

Forord	I
Sammendrag	III
Abstract	V
Symbolliste	IX
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Tidligere studier	2
1.3 Målsetning	3
2 Teori	5
2.1 Varmetransport	5
Elektromagnetisk stråling	5
Varmeledning	6
Konveksjon	7
Fordamping	7
2.2 Atmosfæren	8
Temperaturforhold ved bakken	8
2.3 Temperaturmåling	9
PT100	9
Termistor	9
Væsketermometer	9
2.4 Strålingskjermer	10
Historie	10
3 Materiale og metode	13
3.1 Klimaet i Norge og på Ås	13
Norge	13
Ås	14
3.2 Temperatursensorer	15
3.3 Strålingskjermer	16
Kunstig ventilert	16
Naturlig ventilert	16
Vedlikehold	18
3.4 Davisstasjon	19
3.5 Søråsfeltet	19
Stasjonshistorie	20

Oppsett av instrumenter	21
3.6 Datamateriale	25
Vinddata	25
Snødata	26
Strålingsdata	26
Observasjoner av skydekke	26
3.7 Dataanalyse	27
3.8 Middeltemperatur	27
Köppens konstant	28
3.9 Homogenisering av måleserier	28
4 Resultater	29
4.1 Ventilerte skjermer	29
Avvikende data	31
4.2 Skjermer mot referanse	34
4.3 Hytte og skjerm fra MET	37
Avvikende data	40
Sesongvariasjoner	40
4.4 Multiplateskjermer	42
4.5 Davisstasjon	44
4.6 Undersøkelse av værforhold	46
4.7 Stråling	51
4.8 Snø	57
4.9 Responstid	62
4.10 Köppen og døgnmiddel	67
5 Diskusjon	69
5.1 Skjermsammenligning	69
5.2 Stråling, vind og snø	70
5.3 Responstid	71
5.4 Köppen	72
5.5 Andre faktorer	72
6 Konklusjon og anbefalinger	75
Bibliografi	77

Symbolliste

Symbol	Forklaring	Enhet
A	Areal	m^2
a	Wiens forskyvningskonstant	mK
m	Masse	kg
\dot{Q}	Varmefluks	W
Q_v	Fordampningsenergi	J
T	Temperatur	K
T_s	Overflatetemperatur	K
T_∞	Temperaturen langt fra overflaten	K
dT	Temperaturforskjell	K
dx	Tykkelse av materialet	m
ε	Emissivitet	
k	Varmeledningsevne	W/(mK)
σ	Stefan-Boltzmann-konstant	W/(m ² K ⁴)
h	Konveksjonskoeffisient	W/(m ² K)
λ_{maks}	Bølgelengde	m
L_v	Latent fordampingsvarme	J/kg
T_m	Dagsmiddeltemperatur	°C
T_n	Dagsminimumtemperatur	°C
T_{morgen}	Temperaturen målt klokken 6 UTC	°C
T_{middag}	Temperaturen målt klokken 12 UTC	°C
T_{kveld}	Temperaturen målt klokken 18 UTC	°C
k_o	Köppens konstant	
N	Antall verdier	
\bar{x}	Gjennomsnitt	
x_i	Verdi nummer i	

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Mennesket påvirkes av endringer i naturen og klimaet. Helt siden antikke Hellas har mennesket studert klimaet og allerede på 1600-tallet begynte den vitenskapelige analysen av atmosfæren (Oliver & Hidore, 2002).

Klima er langtidstrender for været i et gitt område. Noen av parameterne som brukes for å beskrive klimaet er vind, sol og skyforhold, nedbørsmengde og nedbørstype, og temperatur (Stryken, 2012).

Måling av disse parameterne er viktig for å kunne observere været og studere klimaendringer. Langtidsmålinger av været brukes for å bestemme i hvilken grad klimaendringer er observert. Målingene brukes også for å verifisere klimamodellene og analysere vær-situasjoner.

For at måleseriene skal kunne brukes i klimastudier må målingene være homogene. Homogene måleserier vil si at de målte variasjonene i måleserien kommer av faktiske variasjoner i den målte parameteren. Hvis målestasjonen har vært flyttet, det har kommet nye målere eller omgivelsene til målestasjonen er endret vil disse faktorene kunne gi variasjoner i måleseriene som ikke skyldes vær eller klima, og måleserien er inhomogen.

Endring av måleinstrumenter kan gi inhomogene måleserier. Ved overgang fra manuell til automatisk temperaturmåling har det blitt en overgang fra tradisjonelt til nyere måleutstyr, f.eks. fra kvikksølvtermometre til PT100 termometre. Endring av målefrekvens og endring av design på strålingsskjermer kan også gi inhomogene måleserier. Strålingsskjermer er skjermer som skal beskytte en temperatursensor eller andre sensorer mot direkte solstråling og nedbør. Ved en overgang fra en type strålingsskjerm til en annen er det viktig å undersøke om temperatursensorene oppfatter den samme lufttemperaturen ved de samme forholdene. Dette kan undersøkes ved å gjennomføre et sammenlignende feltforsøk med strålingsskjermer som er av interesse.

Målefrekvensen ved temperaturmåling har endret seg mye med overgangen fra manuell til automatisk temperaturmåling. Ved manuelle målestasjoner ble temperaturen notert ned ved manuell avlesning av et termometer. I tillegg ble maksimum- og minimumstemperaturen målt ved hjelp av maksimum- og minimumstermometre. Dagmiddel ble beregnet med formler som tok hensyn til ulikt antall målinger på dagtid og nattetid. Ved automatiske stasjoner blir temperaturen registrert hvert minutt eller hver time. Fra minuttdataene beregnes time- og døgnmiddel, og fra timesdata beregnes døgnmiddel.

Meteorologisk institutt (heretter MET) arbeider blant annet med "å studere klimaet i Norge og gi klimatologiske utredninger" (Meteorologisk Institutt, 2015b). MET er avhengig av kunnskap om hvordan forskjellige strålingsskjermer reagerer i forhold til hverandre. For å vite dette må utvalgte skjermer testes.

Blant strålingsskjermer finnes det multiplateskjermer, temperaturhytter og ventilerte strålingsskjermer. En temperaturhytte er en større hytte som har plass til flere temperatursensorer og andre måleinstrumenter. Disse finnes i både plast og treverk. Temperaturhytter er tradisjonelt brukt på mange måleflater og stasjoner. En multiplateskerm er en plastskerm bygd opp av flere sirkulære plater. I disse er det montert en temperatur- eller fuktighetssensor. Med ventilerte strålingsskjermer menes i denne oppgaven ventilerte strålingsskjermer med en annen design enn temperaturhytter.

I Norge er det hovedsakelig MET som gjør klima og værmålinger. I tillegg setter Statens vegvesen og kommunene opp egne værstasjoner. MET har retningslinjer og råd for hvilke krav skjermer og øvrig utstyr skal tilfredsstille (Meteorologisk Institutt, 2015e). Flere forskjellige typer skjermer og utstyr faller innenfor retningslinjene. Selv om Statens vegvesen og kommunene følger retningslinjene vil det allikevel kunne bli forskjellige malinger på grunn av forskjellig utstyr. Kunnskap om hvordan forskjellige strålingsskjermer reagerer er dermed viktig for å vite om temperaturforskjellene er reelle eller skyldes ulikt utstyr eller forskjellige plasseringer.

1.2 Tidligere studier

Studier av strålingsskjermer er gjort i flere land med forskjellige sammensetninger av skjermer og instrumenter.

En studie gjennomført i Nederland viser at temperaturhytter reagerer opptil 8 minutter saktere enn ventilerte strålingsskjermer (Meulen & Brandsma, 2008). Studien ble gjennomført med ti strålingsskjermer over en periode på seks år. Blant skjermene var det tre temperaturhytter, en av dem kunstig ventilert, fem multiplateskjermer, hvorav en kunstig ventilert og to kunstig ventilerte skjermer fra Young. En naturlig ventilert multiplateskerm fra meteorologisk institutt i Nederland ble brukt som referanse. Studien konkluderte med at de kunstig ventilerte skjermene med sterk ventilasjon hadde den raskeste reaksjonen og ble minst påvirket av stråling ved klarvær. Det ble under studien stilt spørsmålsteget ved forstyrrelse av lavere luftlag grunnet ventilasjon i to av skjermene, men ingen konklusjon ble trukket.

Videre undersøkelser av ni av skjermene fra studien i Nederland ble gjennomført av Brandsma og van der Meulen (2008). Disse undersøkelsene viste at temperaturhytter av tre og plastikk viser høyere temperatur enn referanseskjermen for både natt og dag. Forskjellen fra referansen er størst i sommerhalvåret.

En annen studie fra Nederland sammenlignet tre kunstig ventilerte skjermer, en naturlig ventilert, en uskjermet temperatursensor og en 'dry bulb setup'. Studien foregikk over ett år.

Studien viste at de kunstig ventilerte skjermene viste en lavere temperatur på dagtid enn den naturlige ventilerte skjermen. På kveld og nattestid var det liten forskjell på den målte temperaturen (de Haij, et al., 2014).

En sammenligning av 16 typer strålingsskjermer ble gjennomført i Algerie (Lacombe, et al., 2011). Blant skjermene var det fire temperaturhytter, flere multiplateskjermer og syv kunstig ventilerte skjermene. Det ble brukt en tysk multiplateskerm med kunstig ventilasjon som referanse i forsøket som gikk over tolv måneder. Sammenligningen viste at temperaturhyttene stemte best overens med referansen, selv om de reagerte tregere enn referanseskjermen. De kunstig ventilerte skjermene viste generelt høyere temperaturer enn ventet og i flere tilfeller var de kunstig ventilerte skjermene varmere enn naturlig ventilerte skjermene av samme design. Det ble konkludert med at de kunstig ventilerte skjermene presterte dårligere de naturlig ventilerte grunnet mye støv og sand i viftene.

På et testfelt ved Blindern i Oslo ble det i 2002 utført en sammenligning av fire forskjellige strålingsskjermer (Mjelstad & Nordli, 2002). Sammenligningen besto av en temperaturhytte, en multiplateskerm fra MET, en multiplateskerm fra Young og en multiplateskerm fra Vaisala. De største forskjellene på skjermene ble observert i perioder med lave vindhastigheter. Ved lave vindhastigheter var multiplateskjermen fra MET den kaldeste om natten og den varmeste om dagen. I sammenligningen ble det også undersøkt om snødekke vil ha innvirkning på den målte temperaturen. Det ble vist at dager med snødekke hadde større temperaturforskjeller på skjermene enn vinterdager uten snødekke. Multiplateskjermen fra MET og trehytten var skjermene som ble mest påvirket av snødekket.

1.3 Målsetning

Formålet med denne oppgaven er å sammenligne forskjellige typer strålingsskjermer for temperatursensorer som er i bruk i Norge. Det er ønskelig å finne ut om de forskjellige strålingsskjermene reagerer likt for forskjellige strålingsintensiteter og værforhold. Reaksjonstid på temperaturendringer og målt maksimum og minimum temperatur for de forskjellige skjermene vil undersøkes.

Det vil i denne oppgaven bli sammenlignet seks forskjellige strålingsskjermer. Blant disse er det to kunstig ventilerte og fire naturlig ventilerte. De kunstig ventilerte skjermene er en skerm fra Apogee og en fra Young. Blant de naturlig ventilerte skjermene er det en liten og en stor skerm fra Young, en skerm fra MET og en temperaturhytte fra MET. Av skjermene er alle bortsett fra Apogee skjermen utstyrt med en PT100 temperatursensor. Apogeeskjermen har en innebygget termistor.

Det er spesielt interessant å sammenligne de to skjermene fra MET mot hverandre og de to skjermene fra Young mot hverandre. Dette fordi det for MET skjermene har vært og fortsatt er en utskifting fra temperaturhytte til multiplateskerm. I denne sammenheng er det

nødvendig å vite om de eksisterende måleseriene kan videreføres med den nye skjermen eller om dataene må homogeniseres.

For Young skjermene er en sammenligning viktig fordi den lille skjermen ikke lenger er i produksjon og ble levert som en spesialversjon. Allikevel finnes det et stort lager av disse i Norge, og de er i bruk i mange kommuner. En sammenligning av disse to skjermene er interessant da den nye skjermen er noe større enn den gamle. Sammenligningen vil kunne avdekke om størrelsen på skjermen har innvirkning på den observerte temperaturen.

Sammenligning av skjermer med og uten kunstig ventilasjon er også av interesse. Tidligere studier (de Haij, et al., 2014) viser at skjermer med kunstig ventilasjon har noe lavere dagmiddeltemperatur enn skjermer med naturlig ventilasjon.

Plassering av målere og målefelt er viktig for å få representative temperaturmålinger. Hvor målere og målefelt burde plasseres er et annet prosjekt som gjennomføres av MET og vil ikke vurderes i denne oppgaven.

2 Teori

2.1 Varmetransport

Varmetransport er overføringen av termisk energi fra et system til et annet. Overføringen krever at det er en temperaturforskjell mellom systemer, og skjer fra det varme systemet til det kalde systemet til de er i likevekt. Denne overføringen kan skje på fire måter: stråling, varmeledning, konveksjon og fordamping. Teorien i dette delkapittelet bygger på (Cengel & Ghajar, 2011), (Tipler & Mosca, 2008) og (Aguado & Burt, 2013) om ikke annet er spesifisert.

Elektromagnetisk stråling

Elektromagnetisk stråling er den eneste formen for varmetransport som ikke er avhengig av et medium (gass, væske). Stråling kommer fra alle legemer med en temperatur høyere enn det absolutte nullpunkt (-273 °C). Strålingen som emitteres fra et legeme er gitt ved Stefan-Boltzmanns lov:

$$\dot{Q} = \varepsilon\sigma AT^4 \quad (2.1)$$

hvor \dot{Q} er varmefluksen, σ er Stefan-Boltzmann konstanten, A er overflatearealet til legemet, T er temperaturen til legemet i kelvin og ε er emissiviteten til legemet. Emissiviteten forteller hvor nære en reell overflate er et sort legeme. Verdien for noen overflater er gitt i tabell 2.1.

Tabell 2.1: Emissiviteten for noen utvalgte materialer

Materiale	Emissivitet
Svart maling	0,98
Hvit maling	0,90
Nysnø	0,97
Gammel snø	0,90
Vann	0,96
Vegetasjon	0,92-0,96
Treverk	0,82-0,92

Stråling fordeler seg over alle bølgelengder. Fordelingen av bølgelengder fra et legeme avhenger av temperaturen til legemet. Legemer med lav temperatur sender hovedsakelig ut stråling i det infrarøde området. Ved høyere temperaturer vil strålingen som sendes ut være i det synlige området. Bølgelengden hvor mest energi emitteres er gitt ved Wiens forskyvningslov

$$\lambda_{maks} = \frac{a}{T} \quad (2.2)$$

hvor λ_{maks} er bølgelengden, $a = 2,898 * 10^{-3} mK$ er Wiens forskyvningskonstant og T er temperaturen til legemet i kelvin.

Varmeledning

Varmeledning er overføring av energi mellom partikler i et stoff. Overføringen skjer ved interaksjoner mellom energirike partikler og energifattige partikler. Energooverføringen ved varmeledning er gitt av Fouriers lov

$$\dot{Q} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.3)$$

hvor \dot{Q} er varmefluksen, k er varmeledningsevnen til materialet, A er tverrsnittsarealet normalt på x-retningen, dT er temperaturforskjellen og dx er tykkelsen på materialet (Sonntag & Borgnakke, 2007).

Typen interaksjon avhenger av fasen til stoffet. For gasser og væsker skjer overføringen som en følge av kollisjoner mellom molekylene. I faste stoff kan ikke molekylene bevege seg fritt rundt og overføringen skjer ved hjelp av molekylenes vibrasjoner. Varmeledningsevnen til noen materialer er gitt i tabell 2.2.

Tabell 2.2: Varmeledningsevne for utvalgte materialer

Materiale	Varmeledningsevne [W/(mK)]
Nysnø	0,08
Gammel snø	0,42
Glass	0,78
Vann	0,61
Treverk	0,036-0,12
Luft	0,026

Konveksjon

Konveksjon er overføring av energi mellom en overflate og den omkringliggende væsken eller gassen. Varmetransporten skjer ved bevegelse av gassen eller væsken. Det skilles mellom fri/naturlig og tvungen konveksjon. Ved naturlig konveksjon er det temperaturendringen som fører til bevegelse i fluidet. Når væsken eller gassen varmes opp vil den utvide seg og stige, samtidig som den kalde gassen eller væsken synker. Tvungen konveksjon oppstår når bevegelsen i fluidet skyldes eksterne faktorer. Dette kan være vinden, en pumpe eller en vifte.

Varmeoverføringen ved konveksjon kan beregnes fra Newtons lov om kjøling

$$\dot{Q} = hA(T_s - T_\infty) \quad (2.4)$$

hvor \dot{Q} er varmefluksen, A er overflatearealet hvor konveksjonen skjer, h er konveksjonskoeffisienten, T_s er overflatetemperaturen og T_∞ er temperaturen til fluidet langt unna overflaten.

Typiske verdier for konveksjonskoeffisienten for gasser er vist i tabell 2.3.

Tabell 2.3: Konveksjonskoeffisienten for fri og tvungen konveksjon av gasser.

Type konveksjon	Konveksjonskoeffisienten [W/(m ² K)]
Fri konveksjon av gasser	2-25
Tvungen konveksjon av gasser	25-250

Fordamping

Fordamping er faseovergangen fra væske til gass. I væsken er molekylene bundet tett sammen og for at væsken skal kunne fordampe må de intermolekylære bindingene brytes. Energien som kreves for å bryte bindingene og fordampe væsken er gitt ved

$$Q_v = mL_v \quad (2.5)$$

hvor Q_v er fordampingsenergien, m er massen til væsken og L_v er den latente fordampingsvarmen. Den latente fordampingsvarmen er avhengig av hvilken væske som fordamper, og for vann ved en atmosfæres trykk er fordampingsvarmen 2,26 MJ/kg.

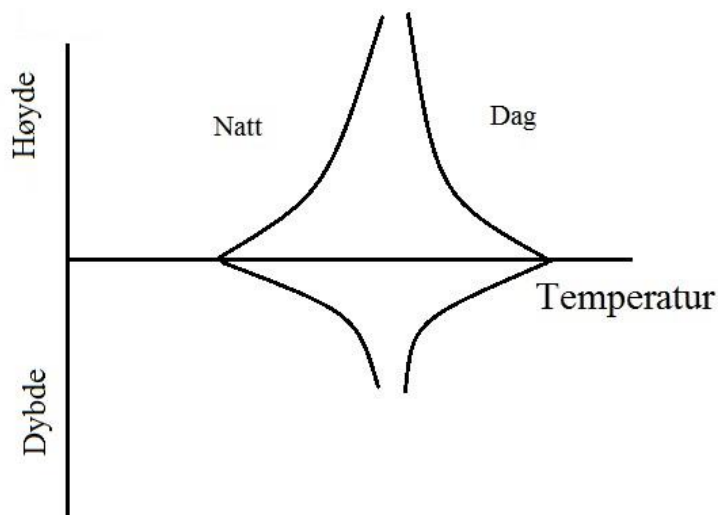
Energien som kreves under fordampingen kan tilføres utenfra eller tas fra væsken. Hvis energien tas fra væsken vil dette føre til et temperaturfall i væsken (Ormestad, 2015).

2.2 Atmosfæren

Varmetransport i atmosfæren foregår som en kombinasjon av flere prosesser. Atmosfæren og jordoverflaten mottar energi i form av stråling. Stråling fra solen treffer jordoverflaten og varmer denne. Ettersom jordoverflaten varmes opp vil et tynt luftlag over overflaten varmes opp ved hjelp av varmeledning. Energien spres videre ved hjelp av konveksjon. Konveksjon fører til sirkulasjon av energi mellom lagene i atmosfæren. Retningen på sirkulasjonen avhenger av overflatetemperaturen. Når overflaten er varmere enn luften vil varmeoverføringen skje oppover. Når overflaten er kaldere enn luften vil varmeoverføringen skje nedover.

Temperaturforhold ved bakken

Om dagen vil jordoverflaten få tilført energi raskere enn energien stråler ut fra flaten. Jordoverflaten, jorden under og luften over bakken varmes opp mer enn luften høyere opp og det dannes en vertikal temperaturendring, en temperaturgradient. Om natten vil energitapet fra flaten være høyere enn energitilførselen og temperaturen vil synke. Temperaturfordelingen med høyde er vist i figur 2.1.



Figur 2.1: Temperaturgradienten for natt og dag.

Ved hvilken høyde temperaturgradienten flater ut varierer, men for strålingsskjermer er det anbefalt å montere sensoren i en høyde mellom 1,2 og 2 meter (WMO, 2008). Ved å montere sensoren i denne høyden vil påvirkningen av temperaturgradienten minimeres.

2.3 Temperaturmåling

Måling av temperatur er essensielt for å kunne studere klimaet. I dette delkapittelet vil temperatursensorer brukt i oppgaven beskrives.

PT100

PT100 er en motstand av platina. Motstanden endrer seg med temperaturen og ved en temperatur på 0 °C har motstanden en indre motstand på 100 Ω.

PT100 termometeret er bygget opp med en kjerne av glass eller keramikk med platina tråden viklet rundt. Termometeret er ofte beskyttet av en plastylse.

Termistor

En termistor er en variabel motstand som endrer verdi med endret temperatur (Paynter & Boydell, 2009). Termistoren er laget av et halvledermateriale og har en negativ temperaturkoeffisient. Det vil si at motstanden i termistoren avtar når temperaturen øker. Dette kan brukes til å måle temperaturen.

Væsketermometer

Et væsketermometer består av en glasskule forbundet med et glassrør. Glasskulen er fylt med en væske, vanligvis kvikksølv eller farget alkohol (Ormestad, 2009). Temperaturen måles ved hjelp av volumendringen til væsken med endret temperatur. Ved en temperaturstigning vil væsken utvide seg og ved et temperaturfall vil væsken trekke seg sammen.

Minimumstermometer

Et minimumstermometer brukes til å finne minimumstemperaturen for en periode, ofte et døgn. Termometeret ligner på et vanlig væsketermometer, men er konstruert med en stift inne i termometeret. Når temperaturen synker vil væsken i termometeret dra stiftene med seg. Når temperaturen stiger vil stiftene bli liggende (Store Norske Leksikon, 2009a). Termometeret monteres horisontalt og nullstilles ved å snu det på hodet. Termometeret vil alltid vise den laveste temperaturen siden siste nullstilling av termometeret.

Maksimumstermometer

Et maksimumstermometer brukes for å finne maksimumstemperaturen for en gitt periode. Som med minimumstemperatur er perioden ofte et døgn. Et maksimumstermometer kan bygges opp på to måter. Termometeret kan lages med en stift som kun flyttes ved temperaturøkning, og dermed blir liggende ved den høyeste temperaturen (Store Norske Leksikon, 2009b). En annen oppbygning er et termometer der væsken i termometeret utvider seg ved en temperaturøkning, men hindres i å flyte tilbake når temperaturen synker.

2.4 Strålingsskjermer

Ved måling av lufttemperatur er det ønskelig å måle den ekte lufttemperaturen, også kalt skyggetemperaturen. For å kunne gjøre dette må temperatursensoren beskyttes fra solstrålingen. Løsningen på dette er å montere en strålingsskjerm rundt sensoren. Strålingsskjermen vil reflektere kortbølget stråling vekk fra sensoren om dagen, og hindre varmetap om natten på grunn av langbølget utstråling.

Skjermene beskytter også sensoren mot regn og snø.

Historie

Strålingsskjermer har blitt redesignet flere ganger siden strålingsskjermene først ble tatt i bruk. Fire hovedtyper av strålingsskjermer har vært i bruk i Norden (Nordli, et al., 1997): åpne strukturer, veggskjermer, temperaturhytter montert over gress og sylindriske, frittstående skjermene.

Åpne strukturer var vanlige i Norden på 1800-tallet. Disse skjermene hadde temperatursensoren festet i et stativ med tak over, eller var formet som en boks med en eller flere åpne vegger. I Norge ble denne typen byttet ut med veggskjermer rundt 1860 (Nordli, et al., 1997).

Veggskjermer var en annen tidlig strålingsskjerm. Disse skjermene ble bygget for å festes på en vegg eller et vindu. Skjermene som ble montert på veggen var designet med fire vegger, hvor veggen som pekte vekk fra huset var mulig å åpne. Skjermene som ble montert på et vindu var designet med tre vegger, hvor veggen inn mot vinduet manglet. Dermed kunne temperaturen leses av fra innsiden av huset. Ideelt sett skulle skjermen henges på en vegg som alltid var i skyggen. For bygninger på områder med få ting som skaper skygge ved huset var ikke dette mulig og flere løsninger ble brukt. En var å bygge en ytre skjerm på veggen, og slik skjermte veggskjermen fra direkte sollys. En annen løsning var å montere to skjermene, en på hver sin side av huset. På denne måten ville alltid en skjerm være i skyggen.

Veggskjermene ble med tiden byttet ut med temperaturhytter. Designet på hyttene varierer fra land til land, og har også endret seg med tiden. Fellesnevneren for temperaturhyttene er at de består av en hytte i tre eller plastikk montert på ben over et dekke av gress. Hyttene er oftest plassert i god avstand fra bygninger og andre forstyrrende elementer (Nordli, et al., 1997). De første temperaturhyttene hadde ett-lags vegger og manglet gulv. Dette førte til at stråling fra bakken traff sensoren og hyttene ble etterhvert endret til to-lags vegger med gulv.

Det neste steget innen design av strålingsskjermer var sylindriske, frittstående skjermer. Med innføringen av automatiske sensorer har plassbehovet i strålingsskjermene minnet, og skjermer beregnet på enkelsensorer har vokst frem. Skjermene er bygget opp i sylindrerform ved hjelp av plastikkringer. Mellom plastringene er det gjort plass slik at luft kan sirkulere gjennom skjermen.

I tillegg til de fire hovedtypene har det de siste årene blitt designet frittstående, ventilerte skjermer. Disse skjermene kommer med forskjellig design avhengig av produsent, men fellestrekket er at de skifter ut luften i skjermen ved hjelp av en vifte.

3 Materiale og metode

3.1 Klimaet i Norge og på Ås

Norge

Norge er et langstrakt land som krysser 13 breddegrader. Dette fører til store variasjoner i klima på tvers av landet. Terrenget i Norge fører til at det er store lokale forskjeller i klimaet selv over korte avstander.

Klimaet i Norge varierer med årstidene. I vintersesongen finnes de høyeste temperaturene langs kysten, spesielt fra Vest-Agder til Lofoten. De kaldeste områdene er lavlandet nordøst på Østlandet og indre Finnmark. Den laveste målte minimumstemperaturen i Norge ble målt i Karasjok 1. januar 1886 til $-51,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Om sommeren er kystområdene av Sørlandet og sørlige deler av Østlandet de varmeste. Nesbyen i Hallingdal har rekorden for høyeste enkelttemperatur på $35,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Nedbørsmengden i Norge varierer mye fra sted til sted. Fra laveste målte årsnedbør på 118 mm i Saltdal til høyeste på 5596 mm målt på Brekke observasjonsstasjon. Brekke er også observasjonsstasjonen med høyest årsnormal for nedbør på 3575 mm. Laveste årsnormal i Norge er Øygarden i Skjåk med 278 mm (Meteorologisk Institutt, 2015a).

Generelt er det området innenfor kysten på Vestlandet som har mest nedbør. Hoveddelen av nedbøren kommer om høsten og på vinteren.

Klimaet i Akershus har tydelig innlandspreg, med lite vind og store daglige temperaturforskjeller. Akershus er fylket i Norge med det høyeste månedsmiddelet i juni (Store Norske Leksikon, 2011). Middelet ligger mellom $15\text{-}17\text{ }^{\circ}\text{C}$ med de høyeste temperaturene rundt Oslofjorden. På høsten og i begynnelsen av vinteren er det mye tåke i Akershus. Dette skyldes at fylket har flere fuktighetskilder som Oslofjorden og Mjøsa.

Mars er måneden i Akershus med minst nedbør. Nedbørstoppen faller ofte i august. Årsnedbøren varierer i fylket, men når opptil 1200 mm i høytliggende områder.

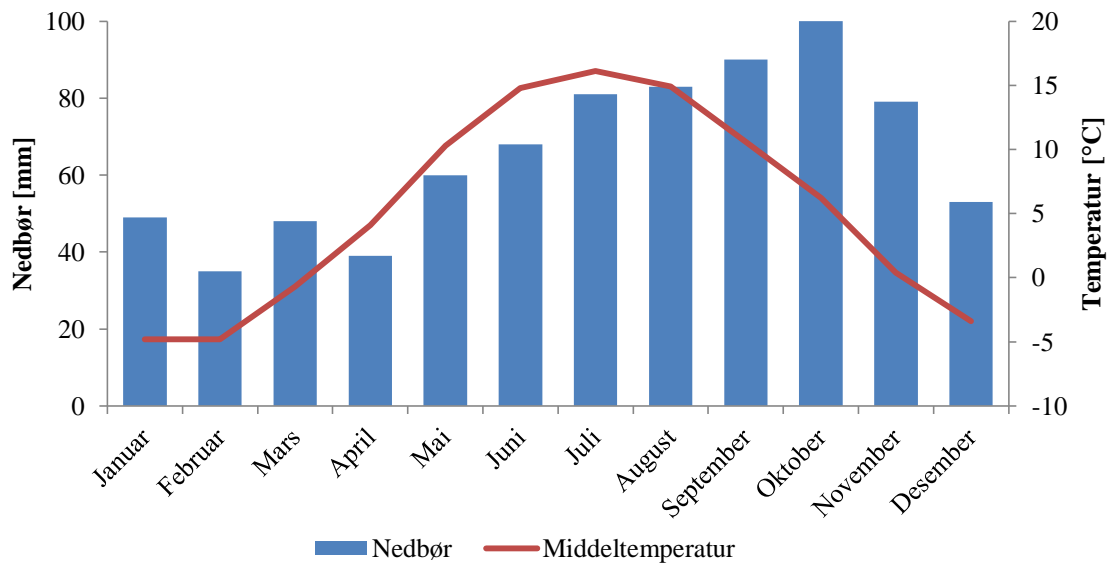
Ås

Ås ligger ca. 10 kilometer øst for Oslofjorden og ca. 25 kilometer sør for Oslo. Klimaet i Ås er karakterisert av milde vintre. Årlig middeltemperatur for normalperioden 1961-1990 var 5,3 °C og årsnedbøren var 785 mm (Meteorologisk Institutt, 2015c). Normaltemperatur defineres som gjennomsnittstemperaturen over en gitt normalperiode. En normalperiode er en definert 30-års periode, og dagens normalperiode er 1961-1990. Normaler brukes som en referanse mellom målestasjoner og mellom land, og de brukes for å finne avviket mellom dagens vær og normalen. (Meteorologisk Institutt, 2015d).

Tabell 3.1 viser en månedlig oversikt over middeltemperaturen og nedbøren for Ås i siste normalperiode. Nedbøren varierer en del gjennom året med den minste nedbøren i februar med 35 mm, og mest nedbør i oktober med 100 mm. Figur 3.1 er en grafisk fremstilling av informasjonen i tabell 3.1. Den dominerende vindretningen i Ås er sør. Vindrose for siste normalperiode er vist i figur 3.2.

Tabell 3.1: Månedlig middeltemperatur og nedbør for Ås i normalperioden 1961-1990 (Meteorologisk Institutt, 2015c).

	Middeltemperatur 1961-1990 [°C]	Nedbør 1961 -1990 [mm]
Januar	-4,8	49
Februar	-4,8	35
Mars	-0,7	48
April	4,1	39
Mai	10,3	60
Juni	14,8	68
Juli	16,1	81
August	14,9	83
September	10,6	90
Oktober	6,2	100
November	0,4	79
Desember	-3,4	53



Figur 3.1: Grafisk fremstilling av middeltemperatur og nedbør for Ås i normalperioden 1961-1990.

Vindrose, frekvensfordeling av vind

Vindretning deles i sektorer på 30°

Frekvensfordeling av vindhastighet i prosent %

Vindhastighet (m/s)

- >10
- 7.6-10
- 5.1-7.5
- 2.6-5
- 0.1-2.5

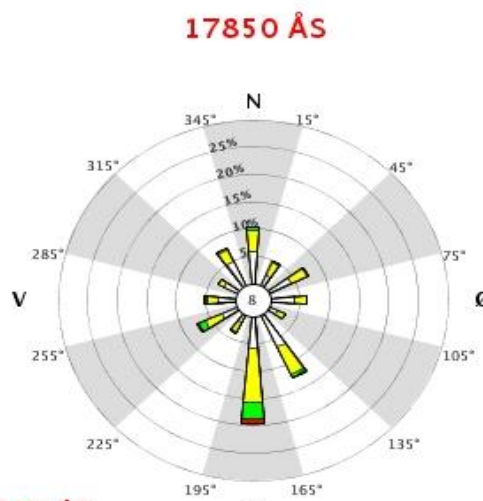
Stille (%)



År: 1961 - 1990

jan, feb, mar, apr, mai, jun, jul, aug, sep, okt, nov, des

Tidspunkt: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 (NMT)



Figur 3.2: Vindrose for Ås for normalperioden 1961 til 1990. Sør er den dominerende vindretningen (Meteorologisk Institutt, 2015c).

3.2 Temperatursensorer

I hver av strålings skjermene er det montert en temperatursensor. I fem av skjermene er det montert PT100-elementer, mens i en skjerm er det montert en termistor. PT100-elementet brukt er av 1/10 DIN standard. Det betyr at usikkerheten til sensoren er 0,03 °C ved en temperatur på 0 °C, og 0,08 °C ved en temperatur på 100 °C. Termistoren brukt i forsøket har en usikkerhet på 0,1 °C for temperaturer mellom 0 og 70 °C, mellom -35 og 0 °C er usikkerheten 0,15 °C.

3.3 Strålingsskjermer

Seks forskjellige strålingsskjermer ble undersøkt i denne oppgaven. Alle skjermene er koblet mot en logger som automatisk henter inn dataene.

Dette delkapittelet vil gi en oversikt strålingsskjermene brukt i forsøket.

Kunstig ventilert

Det ble undersøkt to strålingsskjermer med kunstig ventilasjon. Skjermer med kunstig ventilasjon er utstyrt med en vifte som skifter ut luften i skjermen.

Apogee

Skjermen fra Apogee er en kunstig ventilert skjerm med modellnummer TS-100. Skjermen er laget av hvit plastikk og er skjerm **a** i figur 3.3. Bunnen av skjermen er buet for å lette innsuget av luft. Ventilasjonshastigheten kan stilles inn fra 3 m/s til 6 m/s, og er i forsøket satt til 6 m/s. Skjermen er 22 cm høy, har en utvendig diameter på 27 cm og veier 840 gram (Apogee Instruments, 2014).

I Apogee skjermen er det montert en termistor som blir levert med skjermen.

Young ventilert

Den andre kunstig ventilerte skjermen er en skjerm fra Young. Siden oppgaven inneholder flere skjermer fra Young vil denne senere bli omtalt som Young ventilert.

Skjermen har modellnummer 43502 og er laget i hvit UV-bestendig plast. Skjermen er 33 cm høy og har en utvendig diameter på 20 cm. Størrelsen på temperatursensoren vil bestemme ventilasjonshastigheten som varierer fra 5 til 11 m/s (Young, 2015). Ventilasjonshastigheten for skjermen og sensoren brukt i forsøket er 6 m/s. Skjermen er vist i rute **b** i figur 3.3.

Ventilasjonen drives av vifter som trekker luften inn i skjermen og over temperatursensoren. Temperatursensoren i skjermen er en PT100.

Naturlig ventilert

Fire skjermer med naturlig ventilasjon ble undersøkt i oppgaven. Naturlig ventilerte skjermer benytter seg av vinden for å sirkulere luften. Alle de naturlig ventilerte skjermene brukt i forsøket er utstyrt med en PT100 temperatursensor.

Young liten

I forsøket ble det brukt to naturlig ventilerte skjermer fra Young. Forskjellen på disse to skjermene er hovedsakelig størrelsen og disse vil bli skilt ved å kalle de liten og stor.

Den lille Young skjermen har modellnummer 41303-5A og består av seks plater i hvit plast. Skjermen er 11,4 cm høy og 11,9 cm i diameter. Vekten på skjermen er 400 gram (Campbell Scientific, 2013). Skjermen er vist som skjerm **c** i figur 3.3.

Young stor

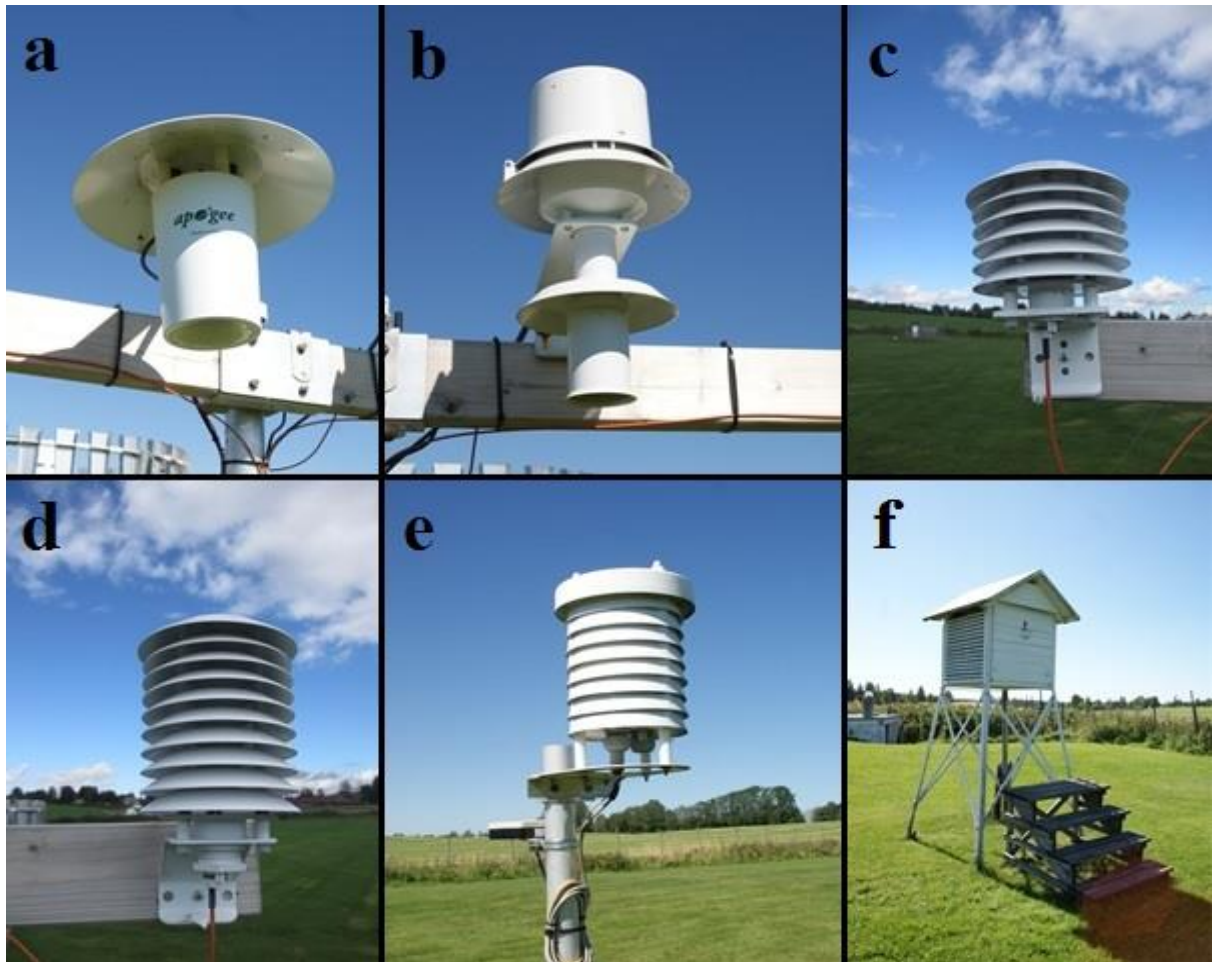
Den store Young skjermen består av ti plater i hvit plast og er merket som skjerm **d** i figur 3.3. Skjermen har modellnummer 41003. Den har en høyde på 27 cm, er 13 cm i diameter og veier 700 gram (Young, 2014).

Multiplateskjerm fra MET

Multiplateskjermen fra MET består av åtte plater og et lokk. Skjermen er vist som skjerm **e** i figur 3.3. For å forhindre at direkte solstråling treffer temperatursensoren fra siden ved lave solhøyder er platene på skjermen bøyd i ytterkant. Skjermen er montert på en egen stolpe i en høyde på 1,85 meter. Høyden på skjermen er 38 cm, diameteren er 24 cm og den veier 2,78 kg.

Trehytte fra MET

Den eldste temperaturmåleren for lufttemperatur på målefeltet er en standard meteorologisk temperaturhytte. Denne er montert i to meters høyde og inneholder flere termometere. Hytten er 88,5 cm bred og 87,5 cm dyp. Automatisk temperaturmåling blir gjort med et PT100-element. Målingene blir manuelt kontrollert ved hjelp av et væsketermometer og et bimetalltermometer. Den inneholder også et maksimums- og minimumstermometer som leses av en gang i døgnet. Hytten er vist som skjerm **f** i figur 3.3.



Figur 3.3: Strålingsskjermene brukt i forsøket. a) Apogee, b) Young ventilert, c) Young liten, d) Young stor, e) multiplateskjerm fra MET, f) trehytte fra MET.

Vedlikehold

De forskjellige skjermene har forskjellige vedlikeholdsbehov oppgitt fra leverandøren. De kunstig ventilerte skjermene har et større vedlikeholdsbehov enn de naturlig ventilerte skjermene. Viften i Apogee skjermen har en oppgitt levetid på 50 000 timer (5,7 år) (Apogee Instruments, 2014). Det er anbefalt at viften og skjermen sjekkes regelmessig for å kontrollere at viften fungerer optimalt og for å sjekke om skjermen har blitt møkkete. For termistoren er det anbefalt å sjekke at sensoren er fri for støv hver tredje måned.

Young ventilert har en oppgitt levetid på 80 000 timer (9,1 år) (Young, 2015). Regelmessig rengjøring av skjermen er anbefalt for at skjermen skal yte maksimalt. Det er også anbefalt å sjekke festeskruen og kabelfester periodevis da disse kan bli løse som følge av vibrasjon i skjermen. Multiplateskjermene fra Young krever ifølge produsenten ingen vedlikehold, men skjermene kan vaskes hvis det er nødvendig (Young, 2014). Multiplateskjermen fra MET vaskes ved behov. For trehytten må malingen vedlikeholdes. Dette innebærer å male hytten når den gamle malingen har blitt slitt.



3.4 Davisstasjon

En Davisstasjon er en meteorologisk målestasjon som måler nedbør, temperatur, vindhastighet og vindretning, luftfuktighet og solinnstråling. På Søråsfeltet er det montert en Davisstasjon av typen Vantage Pro 2. Figur 3.4 viser Davisstasjonen som er montert på Søråsfeltet.

Stasjonen kommer med en innebygd temperatursensor. Sensoren har en usikkerhet på $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ved temperaturer over $-0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, ved temperaturer under $-0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ er usikkerheten $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Davis Instruments, 2015).

Figur 3.4: Davis stasjonen montert på Søråsfeltet. Stasjonen er av typen Vantage Pro2.

3.5 Søråsfeltet

Testfeltet for forsøket ligger på Søråsjordet i Ås i Akershus, med koordinater N $59^{\circ}39'37''$, Ø $10^{\circ}46'54''$. Feltet befinner seg 800 fra det nærmeste bygget ved NMBU som er Institutt for matematiske realfag og teknologi (IMT) og ligger på 93,3 moh. Flyfoto av feltet og omliggende bebyggelse er vist i figur 3.5. Søråsfeltet er markert med en rød ring.



Figur 3.5: Flyfoto over Søråsfeltet og nærliggende område. Feltet er markert med rød ring. Bildet er hentet fra (Kartverket.no, 2015a).

Feltet har en minsteavstand på 200 meter til nærmeste bebyggelse og trelinje. Feltet befinner seg på et åkerlandskap med en helning på 1 % mot sørvest (NMBU, 2015). Det disponible området til feltet er 12 dekar i et inngjerdet område. Søråsfeltet er klassifisert som en klasse 1 målestasjon, noe som innebærer at det samsvarer med alle krav fra WMO angående plassering av temperatursensorer.

Dekket på feltet er kortklipt gress.

På feltet befinner det seg meteorologiske måleinstrumenter for å måle forskjellige parametere: stråling, temperatur, nedbør og vind. Ved hjelp av pyranometre måles diffus stråling, globalstråling strålingsbalanse, infrarød stråling og synlig lys.

For temperatur måles lufttemperatur, maksimumstemperatur, minimumstemperatur, jordtemperatur ved forskjellige dybder og gressminimumstemperatur. Lufttemperatur måles automatisk med et PT100-element og kontrolleres med manuell avlesning av et væsketermometer. Maksimums- og minimumstemperatur måles automatisk med et PT100-element og manuelt med maksimums- og minimumstermometer. Jordtemperatur ved seks forskjellige dybder måles med PT100-elementer. Gressminimum måles tre cm over bakken. Målingene av gressminimum gjøres automatisk med et PT100-element og manuelt med et minimumstermometer.

Nedbør måles både automatisk og manuelt. For automatiske målinger brukes en nedbørmåler som veier nedbøren. De manuelle målingene tas med standard meteorologisk nedbørmåler og brukes til kontroll av de automatiske målingene.

Vindhastighet og vindretningen måles med et ultralydanemometer montert i ti meters høyde.

Stasjonshistorie

Søråsfeltet har en av de lengste observasjonsseriene i Norge og observasjonene begynte i 1859 (NMBU, 2015). Den første stasjonen lå ved kjøkkenhagen til NMBU. Dette tilsvarer området like bak dagens bokhandel. Stasjonen lå ved kjøkkenhagen frem til 1918 da den ble flyttet til Skogsdammen. Her ble den liggende frem til 1983 da den ble flyttet for siste gang til Søråsfeltet, der den er i dag. Figur 3.6 viser en oversikt over nåværende og tidligere plasseringer til målestasjonen. Den hvite ringen representerer plasseringen til målestasjonen ved kjøkkenhagen til NMBU. Den gule ringen viser plasseringen ved Skogsdammen og den oransje ringen viser dagens plassering.



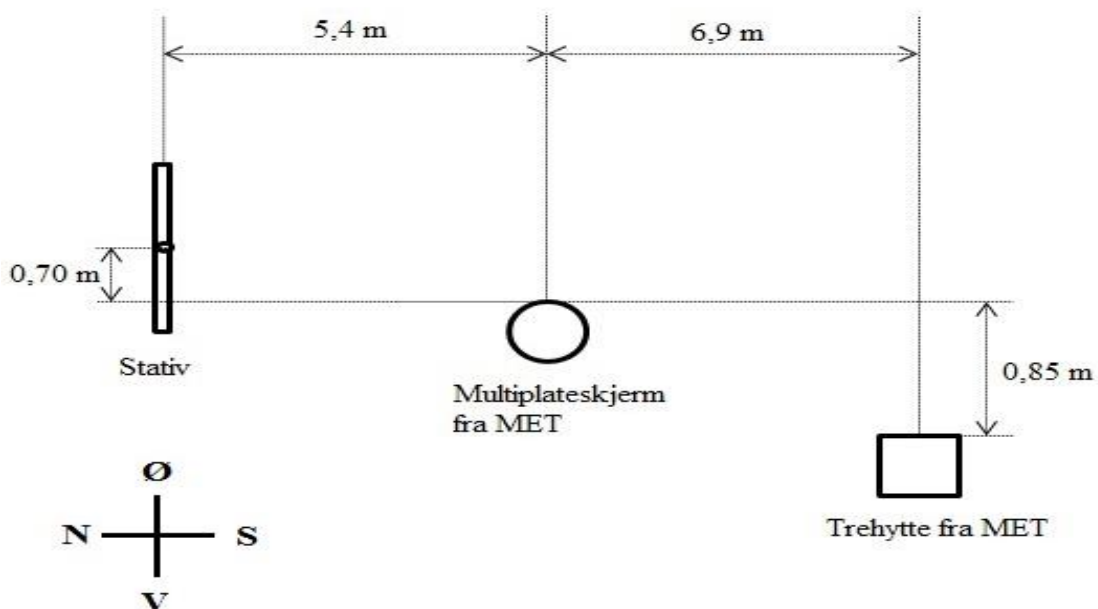
Figur 3.6: Oversikt over plasseringene til målestasjonene. Den hvite ringen viser plasseringen ved kjøkkenhagen til NMBU. Den gule ringen viser plasseringen ved Skogsdammen og den oransje ringen representerer dagens plassering av målestasjonen (Kartverket.no, 2015b).

Oppsett av instrumenter

Av strålingsskjermene i oppgaven er fire montert på et felles stativ. Disse er de tre skjermene fra Young og skjermen fra Apogee. Multiplateskjermen fra MET er montert på en egen stolpe, og hytten fra MET står på sitt eget stativ. Figur 3.7 viser oppsettet av instrumentene på feltet. Instrumentene av interesse er markert med røde ringer. Ringen lengst til venstre viser stativet med fire strålingsskjermer. Ringen i midten viser multiplateskjermen fra MET og ringen til høyre viser trehytten fra MET. Figur 3.8 viser en skjematisk fremstilling av plasseringen til skjermene.



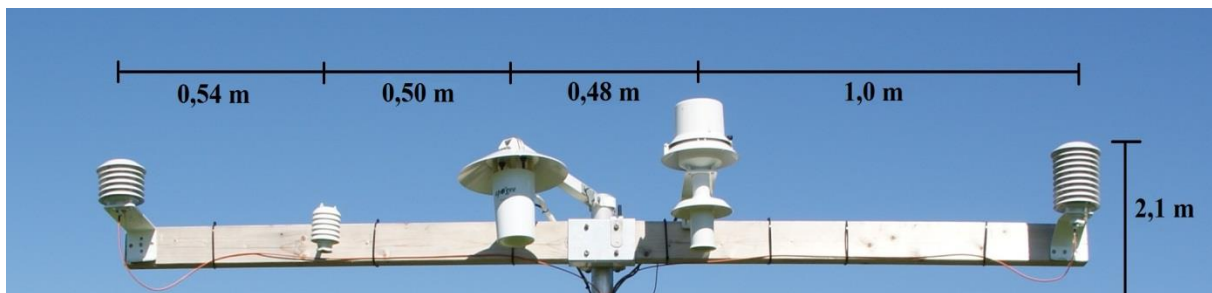
Figur 3.7: Oppsettet av skjermene på Søråsfeltet. De røde ringene markerer de forskjellige skjermene. Ringen til høyre viser stativet med de fire skjermene. Ringen i midten viser multiplateskjermen fra MET og ringen til høyre viser trehytten fra MET.



Figur 3.8: Oversikt over plasseringen av strålingsskjermene. Lengst til venstre er stativet med de tre Young skjermene og skjermen fra Apogee. I midten er multiplateskjermen fra MET. I rett linje fra stativet med de fire skjermene til multiplateskjermen er det 5,4 meter. Fra den rette linje fra multiplateskjermen til midten av stativet er det 70 cm. Lengst til høyre er trehytten fra MET. I rett linje ut fra trehytten og til skjæringspunktet ved multiplateskjermen er det 6,9 meter. Fra skjæringspunktet og bort til multiplateskjermen er det 85 cm.

Avstanden mellom de forskjellige skjermene er vist i figur 3.8. Lengst til venstre er stativet med tre Young skjermene og en skjerm fra Apogee. I midten er multiplateskjermen fra MET. I rett linje fra stativet med de fire skjermene til multiplateskjermen er det 5,4 meter. Fra den rette linjen fra multiplateskjermen til midten av stativet er det 70 cm. Lengst til høyre er trehytten fra MET. I rett linje ut fra trehytten og til skjæringspunktet ved multiplateskjermen er det 6,9 meter. Fra skjæringspunktet og bort til multiplateskjermen er det 85 cm.

Figur 3.9 viser monteringen av de tre Young skjermene og Apogee skjermen på det felles stativet.



Figur 3.9: Oversikt over stativet med fire strålingsskjermer. Lengst til venstre på bjelken er den lille skjermen fra Young monteret. 54 cm til høyre for denne skjermen er det en mindre skjerm som er en del av et annet prosjekt og vil ikke bli undersøkt i denne oppgaven. Apogee skjermen er den neste skjermen på stativet. Fra Apogee skjermen er det 48 cm bort til Young ventilert. Fra Young ventilert er det 1,0 meter bort til den store Young skjermen. Høyden fra bakken til toppen av den store Young skjermen er 2,1 meter.

Lengst til venstre på bjelken er den lille skjermen fra Young monteret. 54 cm til høyre for denne skjermen er det en mindre skjerm som er en del av et annet prosjekt og vil ikke bli undersøkt i denne oppgaven. Apogee skjermen er den neste skjermen på stativet. Fra Apogee skjermen er det 48 cm bort til Young ventilert. Fra Young ventilert er det 1,0 meter bort til den store Young skjermen. Høyden fra bakken til toppen av den store Young skjermen er 2,1 meter.

Skjermene er monteret slik at temperatursensorene skal være monteret i ca. to meters høyde. På grunn av forskjellig monteringen av temperatursensorene i skjermene vil den reelle høyden variere noe fra de ideelle to meter. Nøyaktig avstand fra bakken til sensoren er oppgitt i tabell 3.2. Tabell 3.2 inneholder også en kode for hver strålingsskjerm. Disse vil brukes i resultatkapittelet for å gjøre grafer mer oversiktlige.

Tabell 3.2: Oversikt over strålings skjermene med forkortelseskode, sensorhøyde, når dataperioden brukt i oppgaven startet og ved hvilken frekvens dataene samles inn. For skjermene med to datoer under datastart har det vært en endring i datafrekvensen.

Navn	Kode	Sensor, over bakken [m]	Datastart	Dataslutt	Datafrekvens
Apogee	A01	1,90	09.06.15	08.11.15	Time
Young liten	Y01	1,98	09.06.15	08.11.15	Time
Young stor	Y02	2,02	09.06.15	08.11.15	Time
Young ventilert	Y03	1,80	05.01.15 09.06.15	08.11.15	Minutt Time
Hytte fra MET	M01	2,00	05.01.15 22.09.15	08.11.15	Minutt Time
Skjerm fra MET	M02	1,85	05.01.15 22.09.15	08.11.15	Minutt Time

Tabellen viser hvilket dataintervall som har blitt benyttet for hver skjerm. Skjermen fra Apogee og de to multiplateskjermene fra Young var først operative 9. juni og det er ikke data fra disse skjermene før denne datoen. For de tre andre skjermene finnes det data fra flere år. For å begrense analysen ble det valgt å bruke data fra 5. januar 2015. Datainnsamlingen til oppgaven ble stoppet 8. november 2015, men alle skjermene er fortsatt operative og samler inn data til senere bruk. De to skjermene fra MET har vært operative i hele perioden. Den 22. september ble MET skjermene flyttet et felles loggersystem med de andre skjermene og målefrekvensen gikk fra hvert minutt til hver time. Den ventilerte Young skjermen har hull i dataene på grunn demontering av skjermen i sammenheng med montering av bjelken i det felles stativet. Tidligere var Young ventilert montert på stolpen som i dag holder bjelken i det felles stativet. Ved montering av bjelken ble skjermen flyttet 24 cm til siden fra sin opprinnelige plassering. Skjermen ble demontert fra sin gamle plassering 25.04.15 og var operativ på ny plassering 09.06.15. I sammenheng med flyttingen av skjermen ble skjermen rengjort og datainnsamlingsfrekvensen ble endret fra hvert minutt til hver time.

Monteringen av PT100-elementet i de naturlig ventilerte Young skjermene skiller seg fra de andre. Begge disse skjermene er relativt små, og ved montering av temperatursensoren stakk plastbeskyttelsen på sensoren på utsiden av skjermen. PT100 sensoren er beskyttet av et plastrør som dekker motstanden og en del av ledningen. Standarden i Norge er å kutte plastrøret for å unngå at luftvolumet i røret på utsiden av skjermen utsettes for temperaturdifferanser. Rørene ble derfor kuttet på de naturlig ventilerte Young skjermene.

I tillegg til de seks strålings skjermene vil temperaturdata fra Davisstasjonen bli brukt. Figur 3.10 viser beliggenheten til Davis stasjonen. Den røde ringen markerer posisjonen til Davis stasjonen mens den gule ringen viser plasseringen til trehytten som referansepunkt. I luftlinje fra Davis stasjonen til trehytten er det 32,4 meter.



Figur 3.10: Plassering av Davis stasjonen. Den røde ringen viser plasseringen til Davis stasjonen mens den gule ringen viser plasseringen til trehytten. Avstanden mellom trehytten og Davis stasjonen i luftlinje er 32,4 meter.

3.6 Datamateriale

For hver temperatursensor ble det registrert tre parametere: minimum-, maksimum- og middeltemperatur. Målefrekvens og måleperiode er som beskrevet i kapittel 3.4 og vist i tabell 3.2.

I det innsamlede datamaterialet dukket det opp flere feil og mangler. Datasettene som består av minuttdata har flere tidspunkt hvor det helt eller delvis mangler data. I noen tilfeller mangler datapunkter for enkeltparameter, mens i andre tilfeller mangler data for flere eller alle parameterne. Da datasettet består av minuttdata og det hovedsakelig brukes døgndata for å sammenligne skjermene vil ikke manglende enkeltdata ha betydelig påvirkning på sammenligningen. I tilfeller hvor det mangler data for perioder på flere timer er data fra hele dagen fjernet fra sammenligningen.

Andre feil som er observert i datasettet er doble datapunkter, dvs. to datapunkter per tidspunkt. I noen tilfeller er det dobbelt opp av like datapunkter. I disse tilfellene kan de ekstra datapunktene fjernes og datasettet brukes. Noen av tilfellene er de to datapunktene forskjellige for samme tidspunkt. I disse tilfellene har hele den berørte dagen blitt fjernet fra datasettet.

I tillegg til temperaturdata er det også brukt vinddata, snødata og strålingsdata i oppgaven.

Vinddata

Vindhastighet og retning måles ved hjelp av et Gill Instrument Windmaster ultralydanemometer montert i ti meters høyde. Vinddataene har blitt samlet inn hvert tiende minutt. På grunn av problemer med instrumentene er ikke vinddata tilgjengelig for Søråsfeltet

i perioden 1. januar til 11. juni. Vinddata fra Søråsfeltet er benyttet fra perioden 12. juni til 8. november.

Det er også benyttet vinddata fra Statens vegvesen sin vindmåler ved Holstad i Ås kommune. Måleren befinner seg 3,6 km fra Søråsfeltet i luftlinje, men dataene gir en pekepinn på vindforholdene den aktuelle dagen.

Snødata

I oppgaven er det benyttet snødata for våren 2015. På Søråsfeltet fortas det manuelle målinger av snødybden. Snødybden måles både ved at en målestav settes ned i snøen og ved avlesning av en fastmontert dybdemåler. Målingene blir gjort hver hverdag rundt klokken åtte om morgenen.

Strålingsdata

Globalstrålingen ble målt med et Eppley Precision pyranometer på Søråsfeltet. Strålingsdataene er hentet inn for 5. januar til 8. november. Dataene er registrert hvert tiende minutt.

Observasjoner av skydekke

For perioden 24. august til 8. november er det foretatt manuelle observasjoner av skydekket. Ved observasjonen bestemmes hvor stor andel av himmelen som er dekket av skyer og eventuell nedbør noteres med type nedbør og intensiteten til nedbøren. Det er foretatt observasjoner klokken 9, 12, 15 og 18. I august ble det også foretatt observasjoner klokken 21. dette observasjonstidspunktet ble fjernet 1. september da det ble for mørkt til å gjøre gode observasjoner. Fra 22. oktober ble også observasjonen klokken 18 utelatt.

Hvor observasjonen ble utført har variert. Alle observasjonene er gjort innen en radius på 1,3 km fra feltet i luftlinje.

3.7 Dataanalyse

Analysen av dataene blir gjort ved hjelp av Excel og statistikkprogramvaren R.

Den ventilerte skjermen fra Young ble valgt som referanse. Skjermen ble valgt som referanse da det var ønsket at referansen var en kunstig ventilert skjerm og Youngskjermen er den ventilerte skjermen som har den lengste dataserien i forsøket.

For utregning av døgnmiddel er det brukt gjennomsnittet. Snittet er beregnet fra alle temperaturdataene som finnes for den aktuelle dagen. Middeltemperatur beregnet ved hjelp av Köppens formel vil beregnes for MET skjermene og sammenlignet med gjennomsnittet. Köppens formel er presentert i kapittel 3.8.

Avvikene mellom skjermene vil bli brukt til sammenligning av responsen fra skjermene og det vil bli brukt avvik for døgnmiddel, dagsmaksimum eller dagsminimum.

3.8 Middeltemperatur

Daglig middeltemperatur eller døgnmiddel kan beregnes på flere måter. Ved automatiske stasjoner blir temperaturen automatisk registrert for hvert minutt eller hver time. Daglig middeltemperatur beregnes ved automatstasjoner ved hjelp av gjennomsnittet. Utregning av snittet er gitt i formel 3.1

$$\bar{x} = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N x_i \quad (3.1)$$

hvor \bar{x} er snittet, N er antall målinger og x_i er måling nummer i .

Ved manuelle stasjoner ble temperaturen lest av tre ganger i døgnet. I tillegg ble døgnmaksimum og døgnminimum lest av fra egne termometre. For å kunne beregne et døgnmiddel som var representativt for hele døgnet ble Köppens formel utviklet.

Daglig middeltemperatur beregnet ved hjelp av Köppens formel.

$$T_m = T_f - k_o(T_f - T_n) \quad (3.2)$$

hvor T_m er døgnmiddeltemperaturen, T_n er døgnminimum, k_o er Köppens konstant og T_f er gitt ved formel 3.3

$$T_f = \frac{1}{3}(T_{morgen} + T_{middag} + T_{kveld}) \quad (3.3)$$

hvor T_{morgen} er temperaturen klokken 6 UTC, T_{middag} er temperaturen klokken 12 UTC og T_{kveld} er temperaturen klokken 18 UTC.

Köppens konstant

Köppens konstant brukes for å ta hensyn til temperaturendringene gjennom dagen. Siden Köppens formel kun benytter tre dagtemperaturer pluss dagsminimum brukes Köppens konstant for å ta hensyn til formen på temperaturkurven. Formen på kurven varierer fra måned til måned og det er beregnet en konstant for hver måned og for hver meteorologiske stasjon. Konstanten beregnes for en gitt tidsperiode av gangen. Dagens konstant ble gjeldende 1.5.1988. Verdiene for gjeldende tidsperiode er vist i tabell 3.3.

Tabell 3.3: Köppens konstant for Søråsfeltet for perioden 1.5.1988 til i dag.

Måned	k_o
Januar	0,05
Februar	0,07
Mars	0,1
April	0,18
Mai	0,21
Juni	0,22
Juli	0,22
August	0,2
September	0,13
Oktober	0,08
November	0,06
Desember	0,04

3.9 Homogenisering av måleserier

For at klimadata skal kunne brukes i klimaforskning er det viktig at dataene er homogene. Brudd i dataserier kan skyldes flytting av målestasjonen og endring av måleutstyr, og disse bruddene gjør en dataserie inhomogen. Målestasjonen i Ås har blitt flyttet flere ganger og temperaturmåleserien ble homogenisert i en masteroppgave skrevet av Herdis Motrøen Gjelten i 2011. For å homogenisere dataene ble det brukt en standard normal homogenitetstest for enkeltbrudd. Denne metoden benytter seg av nabostasjoner, og bruker disse som en referanse for å finne eventuelle homogenitetsbrudd (Gjelten, 2011).

4 Resultater

I dette kapittelet blir resultatene presentert. Resultatene er basert på rådata fra temperatursensorene og utregnede døgnverdier. For hvert døgn er det beregnet en gjennomsnittstemperatur for hele døgnet, også kalt døgnmiddel. Det er også beregnet den maksimale og minimale temperaturen for hvert døgn.

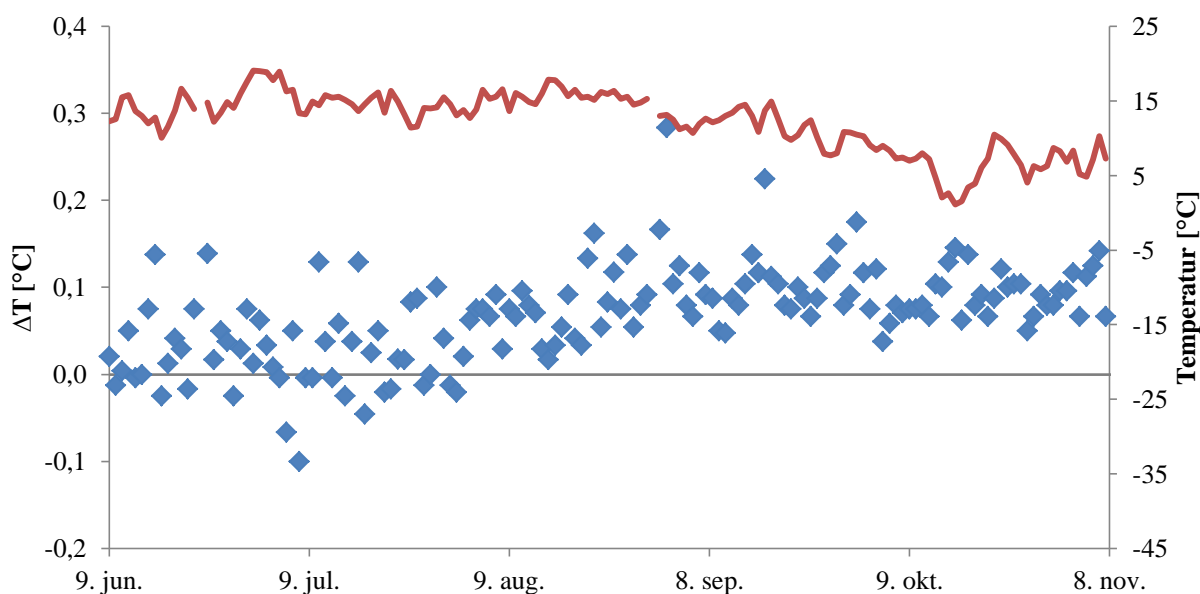
De fire første delkapitlene vil sammenligne forskjellige kombinasjoner av strålingsskjermer. I hele resultatdelen vil den kunstig ventilerte skjermen fra Young brukes som referanse. I delkapittel 4.5 vil temperaturene fra Davis stasjonen sammenlignes med referanseskjermen.

I de tre neste delkapitlene vil årsakene til eventuelle temperaturforskjeller undersøkes, og i kapittel 4.9 vil responstiden til trehytten og multiplateskjermen fra MET testes. I kapittel 4.10 vil det undersøkes om Köppens formel og gjennomsnittet beregner forskjellige verdier for døgnmiddel.

4.1 Ventilerte skjermer

Det er to kunstig ventilerte skjermer i forsøket: Young ventilert og Apogee. I dette delkapittelet vil de to kunstig ventilerte skjermene sammenlignes. Sammenligningen ble gjort med data fra 152 dager.

Døgnmiddel for perioden 9. juni til 8. november for Young ventilert og Apogee er vist i figur 4.1. Figuren viser også avvikene for de to skjermene.



Figur 4.1: Døgnmiddel og avvik for Young ventilert og Apogee. Grafen viser perioden 9. juni til 8. november 2015. Det største avviket er 0,28 °C.

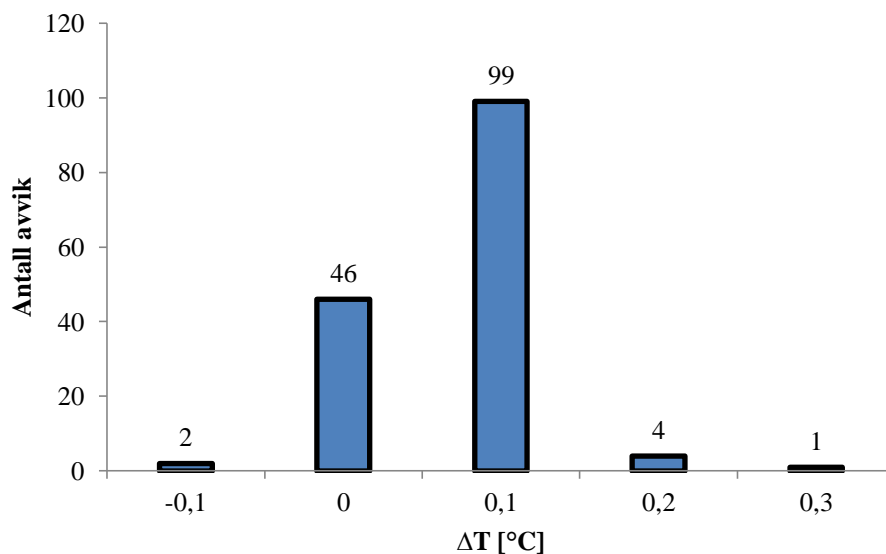
Figur 4.1 viser at avvikene for det meste har positive verdier, noe som betyr at Young ventilert er varmere enn Apogee. Det største registrerte avviket er 0,28 °C. Fra figuren er det tydelig at det er et skift i avvikene. Skiftet ser ut til å skje rundt 20. august og avvikene er større etter skiftet. For å undersøke om det er et så tydelig skift som grafen kan tyde på ble det beregnet gjennomsnitt av avvikene. Gjennomsnittet ble beregnet for hele perioden, for perioden før skiftet (juni, juli) og perioden etter skiftet (september, oktober, november). Gjennomsnittene er vist i tabell 4.1, her er også snittemperaturen for hver av periodene vist.

Tabell 4.1: Gjennomsnittlig avvik for Young ventilert og Apogee. Gjennomsnittene ble beregnet for hele perioden fra 9. juni til 8. november, for perioden juni og juli, og for perioden september, oktober og november. Det er også oppgitt gjennomsnittstemperatur for hver av periodene.

	Hele perioden	Før skiftet	Etter skiftet
Gjennomsnitt av ΔT	0,07 °C	0,03 °C	0,1 °C
Gjennomsnittstemperatur	12,2 °C	14,7 °C	8,9 °C

Resultatene i tabell 4.1 viser at det er klar forskjell på gjennomsnittet av avvikene før og etter skiftet. Før skiftet var gjennomsnittet av avvikene 0,03, mens etter skiftet var gjennomsnittet 0,1. Dette tyder på at det har vært et skift i temperaturforskjellen mellom de to kunstig ventilerte skjermene i august. I perioden hvor skiftet ser ut til å ha oppstått er det ikke gjort noen endringer på oppsett av skjermene eller innstillinger for ventilasjonen.

For å se nærmere på hvordan avvikene fordeler seg ble det laget et histogram over fordelingen av avvikene for døgnmiddel. Histogrammet er vist i figur 4.2.



Figur 4.2: Fordelingen av avvik for døgnmiddel. Avvikene er mellom Young ventilert og Apogee. Hver søyle representerer antall avvik med den verdien. Antallet avvik med hver verdi er presentert på toppen av søylene.

Hver av søylene i figur 4.2 representerer antall avvik med den verdien. Antallet verdier i hver søyle er presentert på toppen av søylen. Figuren viser at avvikene ikke er normalfordelt om null.

For døgnmiddel, dagsminimum og dagsmaksimum ble gjennomsnitt og standardavviker av avvikene beregnet. Resultatene er presentert i tabell 4.2. Gjennomsnittet og standardavviket ble også beregnet for avvikene i perioden før og etter skiftet. Resultatene for begge periodene er vist i tabell 4.3.

Tabell 4.2: Gjennomsnitt og standardavvik av avvikene for Young ventilert og Apogee. Avvikene er beregnet av døgnmiddel, dagsmaksimum og dagsminimum.

	Gjennomsnitt av ΔT [$^{\circ}\text{C}$]	Standardavviket til ΔT [$^{\circ}\text{C}$]
Middel	0,07	0,05
Maks	0,06	0,14
Min	0,02	0,10

Tabell 4.3: Gjennomsnitt og standardavvik for avvik mellom Young ventilert og Apogee. Verdiene er beregnet for perioden før skiftet (juni, juli) og perioden etter skiftet (september, oktober, november).

	Før skift		Etter skift	
	Gjennomsnitt av ΔT [$^{\circ}\text{C}$]	Standardavviket til ΔT [$^{\circ}\text{C}$]	Gjennomsnitt av ΔT [$^{\circ}\text{C}$]	Standardavviket til ΔT [$^{\circ}\text{C}$]
Middel	0,03	0,05	0,10	0,04
Maks	0,07	0,17	0,07	0,12
Min	-0,01	0,11	0,05	0,10

Avvikende data

Ved sammenligning av de to ventilerte skjermene er det et tydelig skift i dataene. For å undersøke begge periodene har det blitt plukket ut en dag med stor forskjell og en dag med liten forskjell for hver av periodene. Dagene med tilhørende avvik er vist i tabell 4.4.

Tabell 4.4: En dag med store avvik og en dag med små avvik for perioden før og etter skiftet.

Periode	Dato	Middel [$^{\circ}\text{C}$]	Maks [$^{\circ}\text{C}$]	Min [$^{\circ}\text{C}$]
Før skiftet	08.07.15	-0,1	0,1	-0,3
Før skiftet	27.07.15	0,0	0,0	0,0
Etter skiftet	02.09.15	0,3	0,2	0,2
Etter skiftet	05.10.15	0,0	0,0	0,1

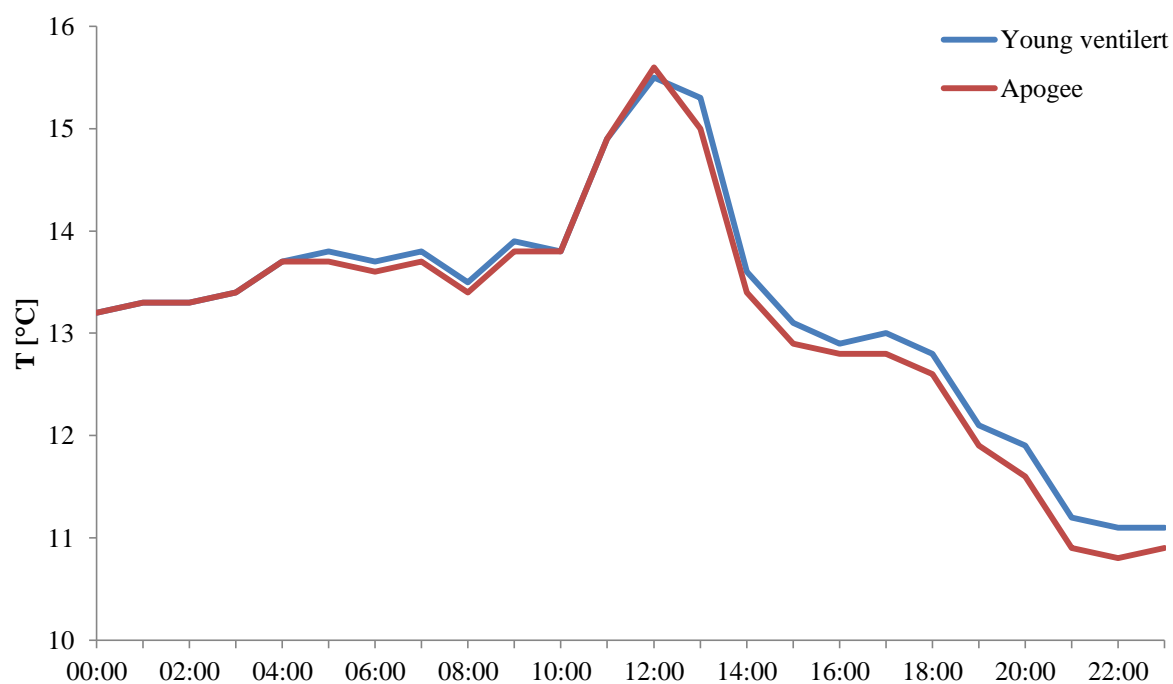
For å undersøke årsaken til forskjellene mellom dagene ble flere værforhold undersøkt. Forholdene som ble sjekket var vindforhold (retning og styrke), skyforhold, temperatur (døgnmaks, min og gjennomsnitt) og lufttrykk. Tabell 4.5 viser de forskjellige værforholdene for de fire dagene.

Tabell 4.5: Oversikt over værforhold for en dag med små avvik og en dag med store avvik for perioden før og etter skiftet.

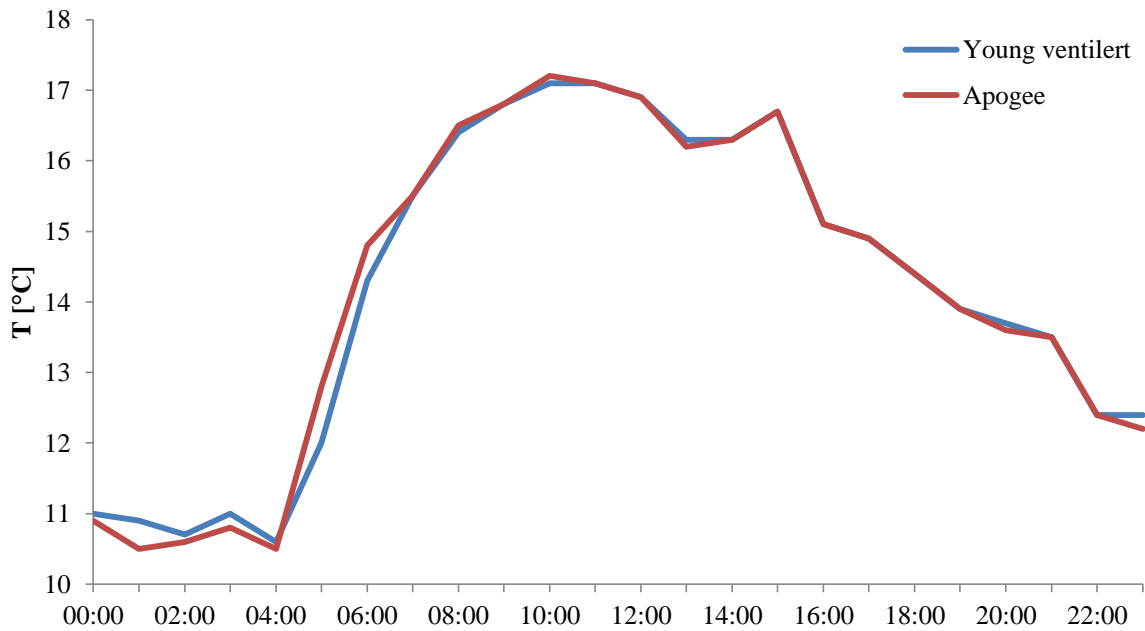
Dato	Luftrykk [hPa]	Vindstyrke [m/s]	Vindretning	Skyforhold	Temperatur snitt [°C]
08.07.15	996	0,8 – 3,3	N	Overskyet	13,4
27.07.15	999	0,5 – 6,0	SSØ	Delvis skyet	14,1
02.09.15	1005	1,2 – 4,9	NØ	Delvis skyet	13,2
05.10.15	1020	0,4 – 3,1	ØNØ	Delvis skyet	8,7

Fra tabellen er det ikke noen enkeltfaktor som skiller seg ut som årsak til forskjellene.

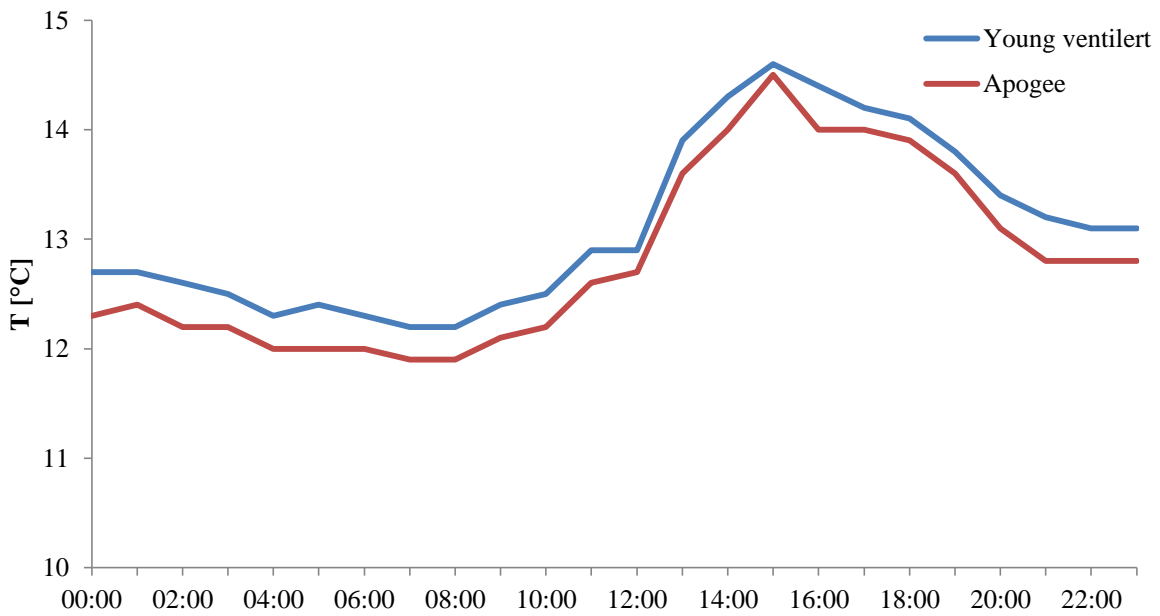
For å se om avvikene kommer av avvik ved enkeltmålinger eller om temperaturen er forskjellig hele dagen har det blitt laget en tidsserie for hver dag. Tidsseriene er vist i figur 4.3 til 4.6.



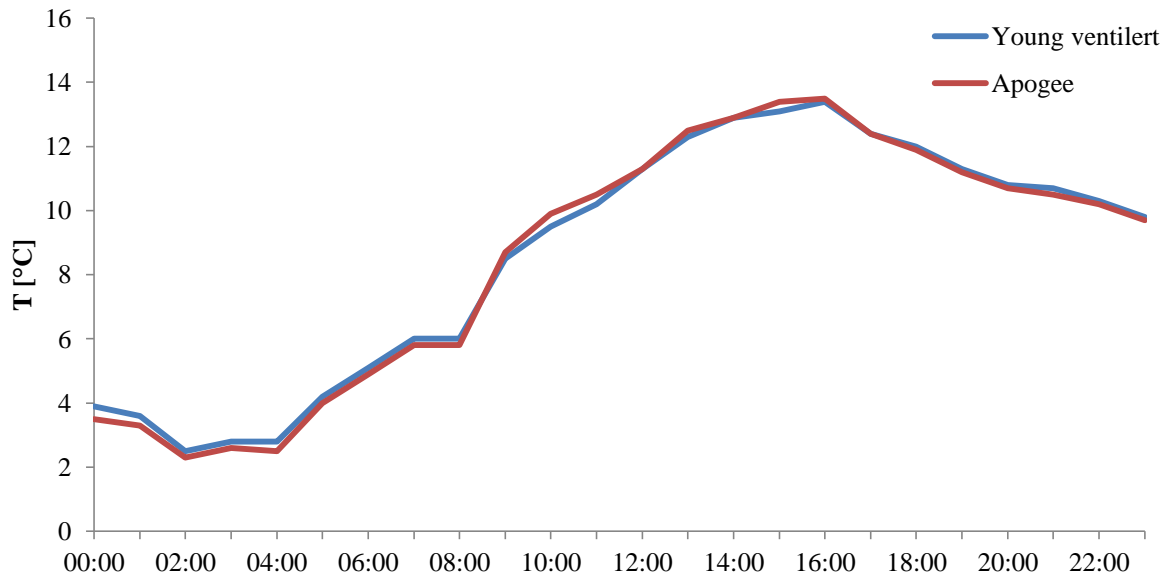
Figur 4.3: Timestemperaturer for Young ventilert og Apogee den 8. juli. Dette var en dag før skiftet med store avvik. Avvikene er $-0,1$ °C for døgnmiddeltemperaturen, $0,1$ °C for dagsmaksimum og $-0,3$ °C for dagsminimum.



Figur 4.4: Timestemperaturer for Young ventilert og Apogee den 27. juli. Dette var en dag før skiftet med små avvik. Avvikene er 0,0 °C for døgnmiddel, dagsmaksimum og dagsminimum.



Figur 4.5: Timestemperaturer for Young ventilert og Apogee den 2. september. Dette var en dag etter skiftet med store avvik. Avvikene er 0,3 °C for døgnmiddeltemperaturen, 0,2 °C for dagsmaksimum og 0,2 °C for dagsminimum.

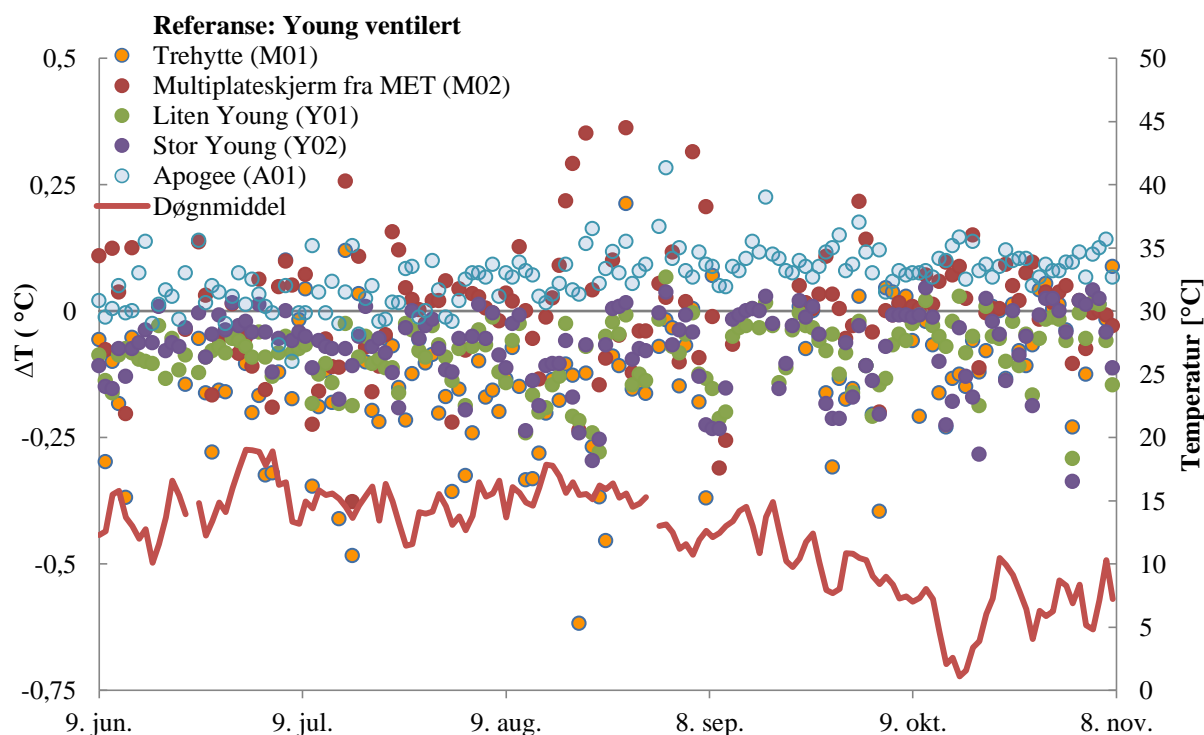


Figur 4.6: Timestemperaturer for Young ventilert og Apogee den 5. oktober. Dagen er etter skiftet i temperaturene og det ble registrert små avvik. Avvikene er 0,0 °C for døgnmiddel og dagsmaksimum. For døgnminimum er differansen 0,1 °C.

For dagene med store avvik er det en forskyvning mesteparten av dagen. Spesielt for 2. september er avviket jevnt over hele dagen. For dagene med små avvik følger temperaturene hverandre bedre. Det er noen forskjeller mellom linjene også på disse dagene, men feilen jevner seg ut i løpet av dagen.

4.2 Skjermer mot referanse

I dette delkapittelet vil skjermene sammenlignes med den kunstig ventilerte Youngskjermen. Sammenligningene vil gjøres med døgnmiddelverdier. Figur 4.7 viser døgnmiddeltemperaturen for referanseskjermen og avvikene mellom referansen og de andre skjermene.



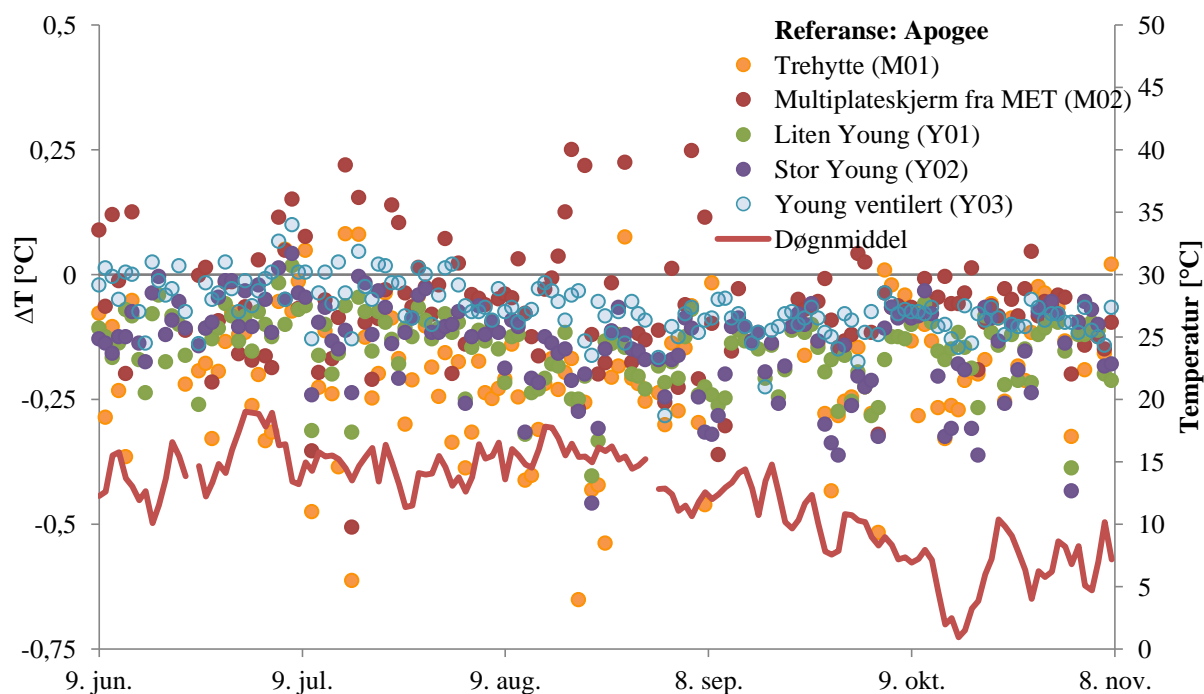
Figur 4.7: Døgnmiddeltemperatur for Young ventilert og avvik mellom Young ventilert og de andre skjermene. Avvikene er beregnet fra døgnmiddeltemperaturene.

Avvikene for referansen og Apogee er gjort delvis gjennomsiktige da disse allerede er vist i figur 4.1. I tabell 4.6 er gjennomsnittene og standardavvikene av avvikene for de forskjellige skjermene oppsummert. Antall dager i tabellen betegner hvor mange dager det er hentet data fra i beregningen av gjennomsnittet og standardavviket.

Figuren viser at skjermen fra Apogee har laveste standardavviket. For de andre skjermene er de to skjermene fra Young ganske like og har de laveste standardavvikene av de naturlig ventilerte skjermene. Multiplateskjermen fra MET har for det meste avvik nære null med et gjennomsnitt på $<0,01$, men har store variasjoner i avvikene, fra $-0,4$ °C til $0,4$ °C. Skjermen ser også ut til å ha noen perioder hvor avvikene er større enn ellers. Trehytten fra MET har også spredte verdier med avvik fra $-0,6$ °C til $0,2$ °C. I slutten av august ser det ut som det er en endring i avvikene. Avvikene ser ut til å skiftes oppover og samles. For å sjekke om endringen kan skyldes endringer eller feil i den kunstig ventilerte Young skjermen ble avvikene beregnet med Apogee som referanse. Resultatet sammen med døgnmiddeltemperatur for Apogee er vist i figur 4.8.

Tabell 4.6: Gjennomsnitt og standardavvik for avvikene mellom referanseskjermen og de andre skjermene. Antall dager er antall dager gjennomsnittet og standardavviket er beregnet fra.

	Antall dager	Gjennomsnitt av ΔT [$^{\circ}\text{C}$]	Standardavviket til ΔT [$^{\circ}\text{C}$]
Trehytte fra MET	132	-0,13	0,13
Multiplateskjerm fra MET	135	<0,01	0,12
Young liten	151	-0,09	0,07
Young stor	151	-0,07	0,08
Apogee	151	0,07	0,05



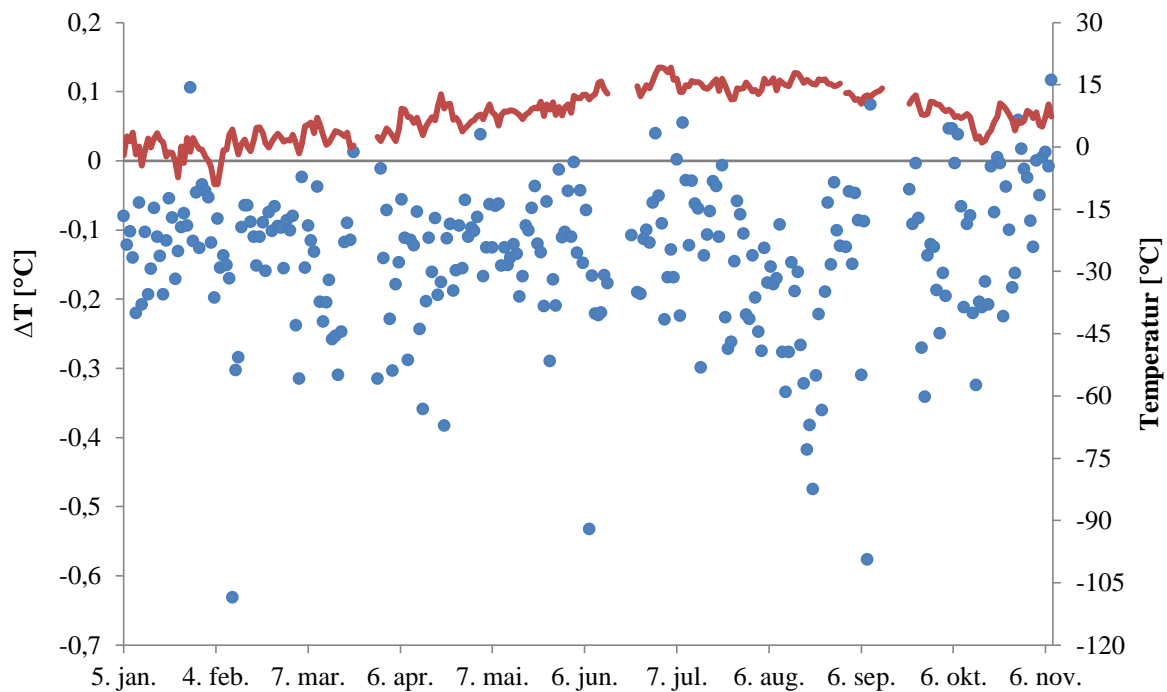
Figur 4.8: Døgnmiddeltemperatur for Apogee og avvik mellom Apogee og de andre skjermene. Avvikene er beregnet fra døgnmiddeltemperatur i perioden 9. juni til 8. november.

I figur 4.8 er avvikene for Apogee og Young ventilert gjort delvis gjennomsiktige for å lettere kunne se de andre punktene. Fra denne grafen ser det også ut som det er et skift i avvikene i slutten av august. Dette tyder på at det er en endring i temperaturen og ikke en endring i en av referanseskjermene. Young ventilert beholdes derfor som referanseskjerm.

4.3 Hytte og skjerm fra MET

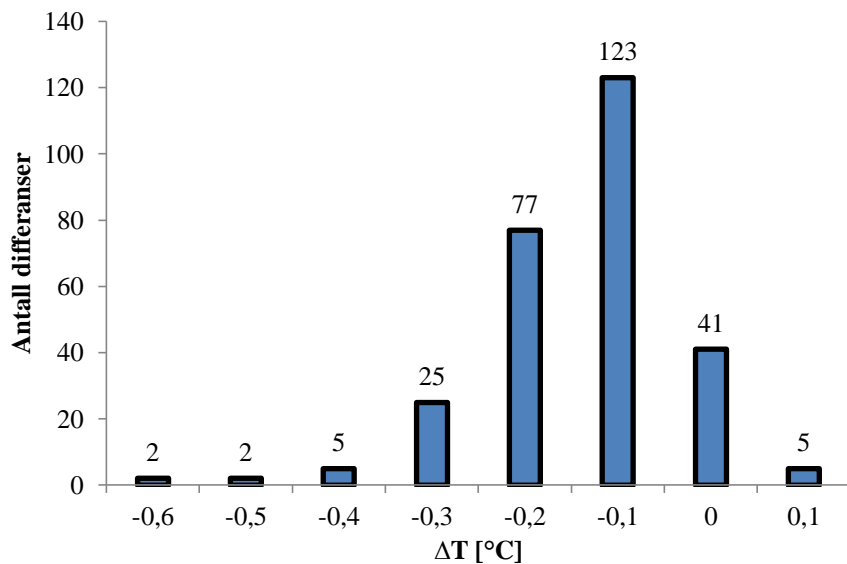
For trehytten og multiplateskjermen fra MET ble det beregnet differanser av døgnmiddel, dagsmaksimum og dagsminimum for perioden 5. januar til 8. november. Noen dager er blitt fjernet på grunn av feil eller mangler i datasettet og det har blitt beregnet avvik for 280 dager.

Døgnmiddeltemperaturer for multiplateskjermen fra MET er vist i figur 4.9. I figuren vises også avvikene mellom multiplateskjermen og trehytten fra MET. Avvikene er beregnet fra døgnmiddeltemperaturene. Avvikene er hovedsakelig negative og spenner fra $-0,63\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $0,12\text{ }^{\circ}\text{C}$.

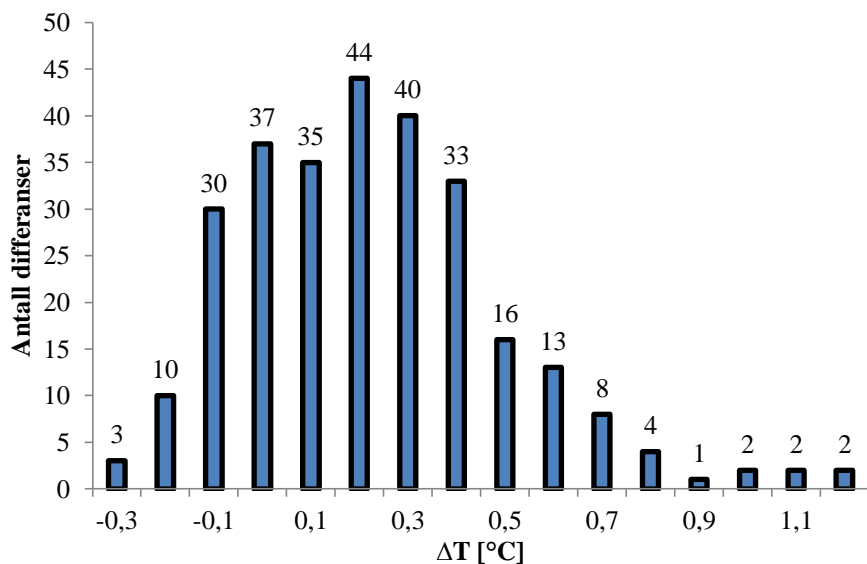


Figur 4.9: Døgnmiddel for multiplateskjermen fra MET og avvik for multiplateskjermen og trehytten fra MET. Grafen viser perioden 5. januar til 8. november. Brudd i linjene skyldes fjernede data på grunn av feil eller mangler i dataene.

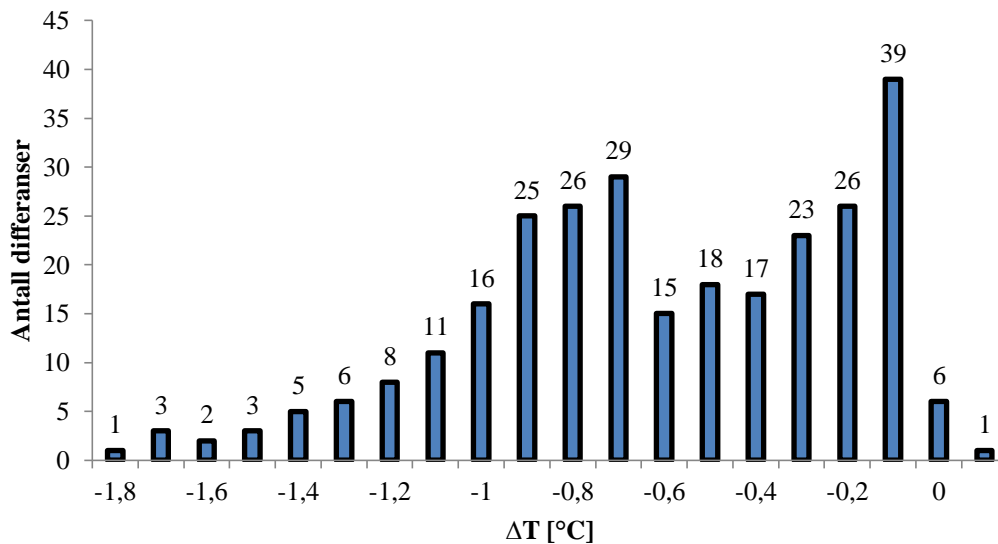
Fordelingen av avvik for døgnmiddel, dagsmaksimum og dagsminimum er vist som histogrammer i figur 4.10, 4.11 og 4.12. I tabell 4.7 er standardavvikene og gjennomsnittene til avvikene vist.



Figur 4.10: Fordeling av avvik for døgnmiddel. Avvikene er beregnet mellom multiplateskjermen og trehytten fra MET. Hver søyle representerer antall avvik med den verdien. Antallet avvik med hver verdi er presentert på toppen av søylene.



Figur 4.11: Fordeling av avvikene av dagsmaksimum for multiplateskjermen og trehytten fra MET. Hver søyle representerer antall avvik med den verdien. Antallet avvik med hver verdi er presentert på toppen av søylene.



Figur 4.12: Fordeling av avvik av dagsminimumstemperaturer for multiplateskjermen og trehytten fra MET. Hver søyle representerer antall avvik med den verdien. Antallet avvik med hver verdi er presentert på toppen av søylene.

Fordelingene av avvikene er ikke normalfordelt om null for noen av tilfellene. Av tilfellene er avvikene for døgnmiddel nærmest en normalfordeling i fasongen, men verdiene heller ikke her fordelt om null. De fleste av avvikene for døgnmiddelet har negative verdier. Det betyr at trehytten har høyere døgnmiddeltemperaturer enn multiplateskjermen. For dagsmaksimum har avvikene hovedsakelig positive verdier. Positive verdier betyr at multiplateskjermen har høyere dagsmaksimum enn trehytten. Dagsmaksimum i figur 4.11 har større spredning i differansene enn døgnmiddel, noe som bekreftes av standardavvikene i tabell 4.7.

Dagsminimum er parameteren med størst standardavvik, noe som kommer tydelig frem i figur 4.12. Figuren viser også at avvikene nesten alltid er mindre enn null. Den sterke negative trenden kan også sees fra gjennomsnittet av avvikene for dagsminimum. Gjennomsnittet er $-0,61$. De negative verdiene betyr at trehytten nesten alltid har en høyere minimumstemperatur enn multiplateskjermen. Histogrammet for dagsminimum skiller seg fra de andre histogrammene ved at det har to topper. Den ene toppen er ved $-0,1$ °C og den andre er ved $-0,7$ °C. Ved å se på når på året og ved hvilke værforhold verdiene i toppen ved $-0,7$ °C oppsto ble det forsøkt å finne ved hvilke situasjoner disse verdiene oppstår.

Fordelingen av punktene i topp nummer to ser ut til å være spredt jevnt gjennom året. Videre ble det undersøkt om det var noen klar fordeling av solskinnsdager og overskyede dager. Det er ikke noen klar fordeling av solskinnsdager og overskyede dager for verdiene i topp nummer to. Vindforholdene ble også undersøkt. Det er ikke funnet noen klar fordeling av vindhastigheter som oppstår samtidig som toppen.

Tabell 4.7: Gjennomsnitt og standardavvik av avvik mellom trehytte og multiplateskjermer fra MET. Avvikene er beregnet med data fra perioden 5. januar til 8. november.

	Gjennomsnitt av ΔT [$^{\circ}\text{C}$]	Standardavviket til ΔT [$^{\circ}\text{C}$]
Middel	-0,14	0,11
Maks	0,23	0,27
Min	-0,61	0,41

Avvikende data

For sammenligningen mellom multiplateskjermer og trehytten fra MET er det svært mange avvik som skiller seg fra null. For dagmaksimum er den største forskjellen 1,2 $^{\circ}\text{C}$ og for dagsminimum er den største forskjellen -1,8 $^{\circ}\text{C}$. Ved nærmere undersøkelse av dagene med store forskjeller viser det seg at de største temperaturforskjellene oppstår ved raske temperaturendringer. Ved raske temperaturskifter er trehytten senere med temperaturskiftet enn multiplateskjermer. Responstiden til trehytten og multiplateskjermer fra MET undersøkes nærmere i kapittel 4.9.

Sesongvariasjoner

For å undersøke om sesongen har innvirkning på oppførselen til skjermene ble avvikene gruppert etter måned. Deretter ble gjennomsnitt og standardavvik for avvikene beregnet for hver måned. Resultatet er vist i tabell 4.8.

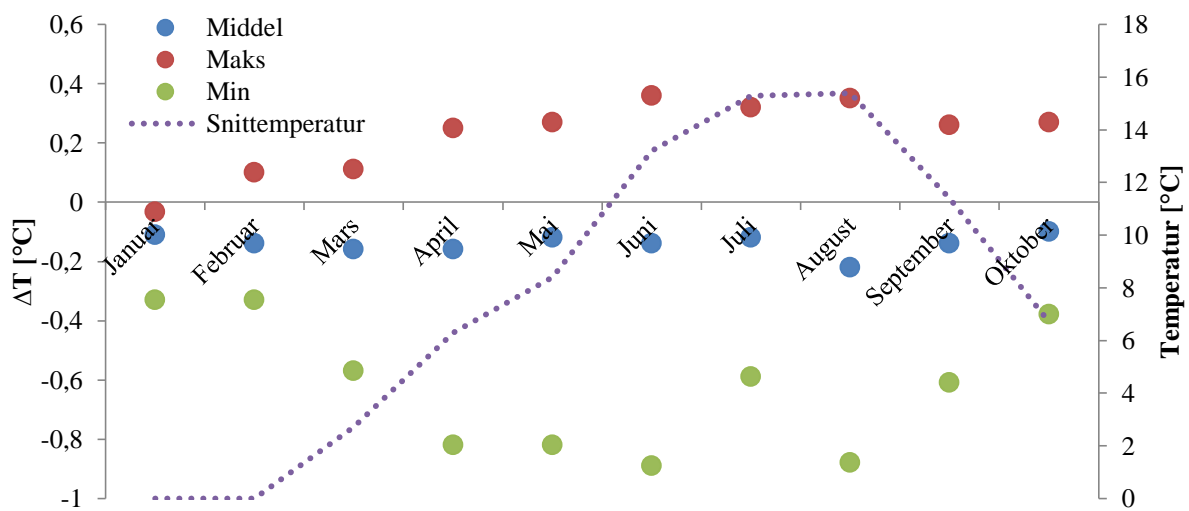
Tabell 4.8: Gjennomsnitt og standardavvik av avvikene for MET skjermene. Beregningene er gjort for hver måned i datasettet for å se etter sesongvariasjoner i avvikene.

Måned	Dager	Middel [$^{\circ}\text{C}$]		Maks [$^{\circ}\text{C}$]		Min [$^{\circ}\text{C}$]		Snittemperatur [$^{\circ}\text{C}$]
		Snitt	Sd	Snitt	Sd	Snitt	Sd	
Januar	27	-0,11	0,07	-0,03	0,13	-0,33	0,25	-0,33
Februar	28	-0,14	0,11	0,10	0,28	-0,33	0,25	-0,02
Mars	24	-0,16	0,10	0,11	0,21	-0,57	0,33	2,7
April	30	-0,16	0,09	0,25	0,22	-0,82	0,39	6,3
Mai	31	-0,12	0,06	0,27	0,26	-0,82	0,39	8,4
Juni	22	-0,14	0,11	0,36	0,25	-0,89	0,50	13,2
Juli	31	-0,12	0,09	0,32	0,29	-0,59	0,40	15,3
August	30	-0,22	0,11	0,35	0,22	-0,88	0,36	15,4
September	18	-0,14	0,15	0,26	0,25	-0,61	0,31	11,4
Oktober	31	-0,10	0,11	0,27	0,31	-0,38	0,31	6,7

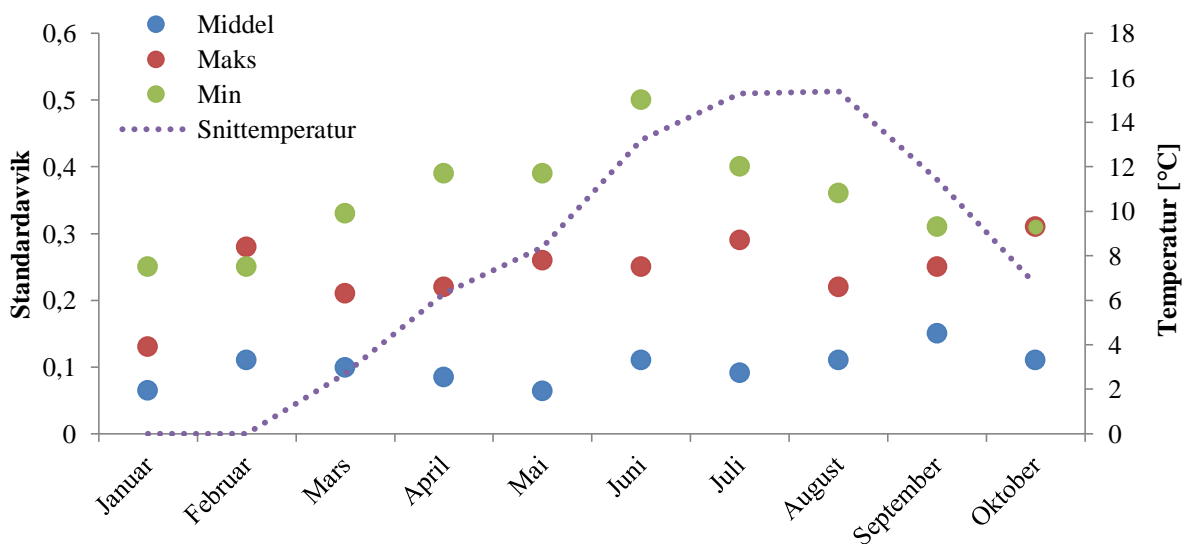
Dager er antall dager i måneden det er brukt data fra. Data med feil eller mangler har blitt fjernet fra datasettet. Snittemperatur er gjennomsnittstemperaturen for hver måned beregnet med temperaturer fra multiplateskjermen fra MET.

For døgnmiddel ser gjennomsnittene og standardavvikene ut til å være tilfeldig fordelt blant månedene. For dagsmaksimum skiller gjennomsnittsverdien for januar seg ut med en verdi på $-0,03$ og er den eneste måneden med negativt snitt. Januar er også måneden med lavest standardavvik med $0,13$. Gjennomsnittene er størst for dagsmaksimum i månedene juni, juli og august. Døgnmimum har gjennomsnitt mest forskjellig fra null i juni og august.

Figur 4.13 viser gjennomsnittsverdiene fra tabell 4.8. I figur 4.14 er standardavvikene presentert.



Figur 4.13: Gjennomsnitt av avvik på månedsbasis mellom multiplateskjerm og trehytte fra MET. Snittene er beregnet for døgnmiddel, dagsmaksimum og dagsminimum.



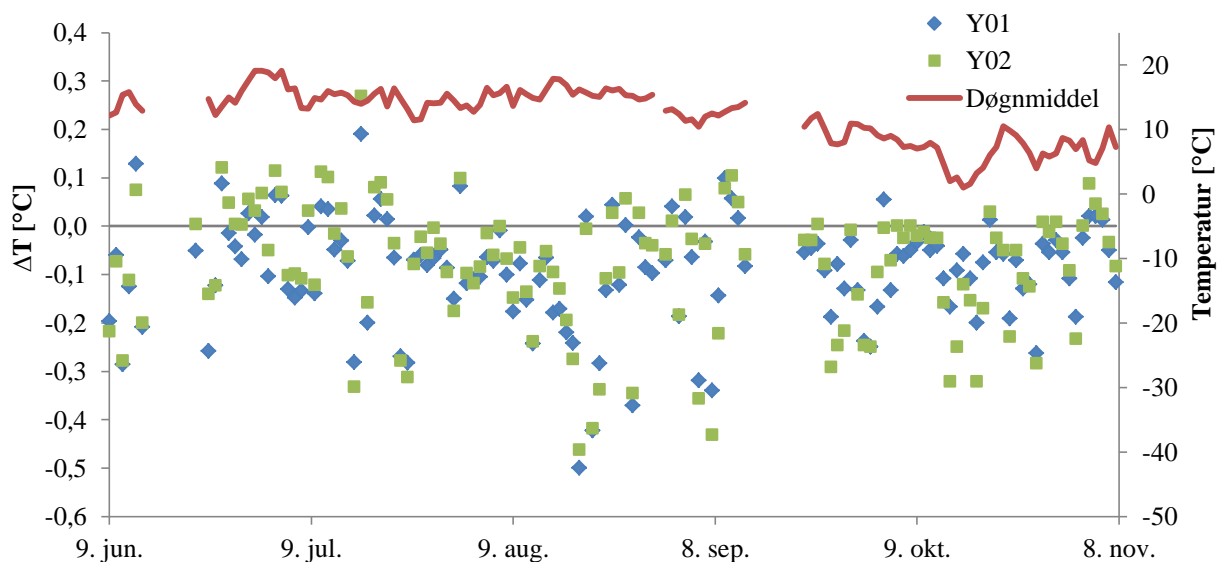
Figur 4.14: Standardavvik av avvik på månedsbasis mellom multiplateskjerm og trehytte fra MET. Standardavvikene er beregnet for døgnmiddel, dagsmaksimum og dagsminimum.

Figur 4.13 viser at sommermånedene har de største gjennomsnittsavvikene for dagsminimum. Det ser ut til å være en sammenheng mellom måneder med høy snittemperatur og høyt gjennomsnitt for dagsminimum. Avvikene for dagsmaksimum er mer stabile, men øker noe utover året, mens for døgnmiddel ser det ut til å være minimal månedspåvirkning. August punktet skiller seg noe ut fra resten av punktene. Standardavvikene i figur 4.14 følger det samme mønsteret. Standardavvikene for dagsminimum har høyest verdier i de varme månedene mens dagsmaksimum har mer stabile verdier. Standardavvikene for døgnmiddel varierer noe, men ser ikke ut til å følge noe mønster.

4.4 Multiplateskjermer

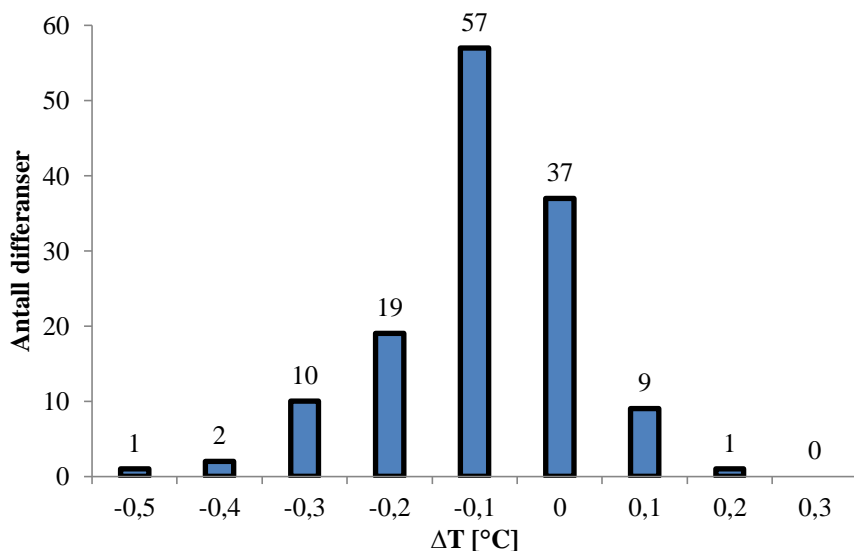
I forsøket inngikk det tre multiplateskjermer: liten Young, stor Young og multiplateskjem fra MET. I dette delkapittelet vil de tre multiplateskjernene bli sammenlignet. Sammenligningen er gjort med data fra 136 dager.

Døgnmiddeltemperaturer og avvik for de tre skjermene i perioden 9. juni til 8. november er vist i figur 4.15. Døgnmiddeltemperaturene er basert på temperaturer målt av multiplateskjemmen fra MET og denne skjermen er brukt som referanse når avvikene beregnes.



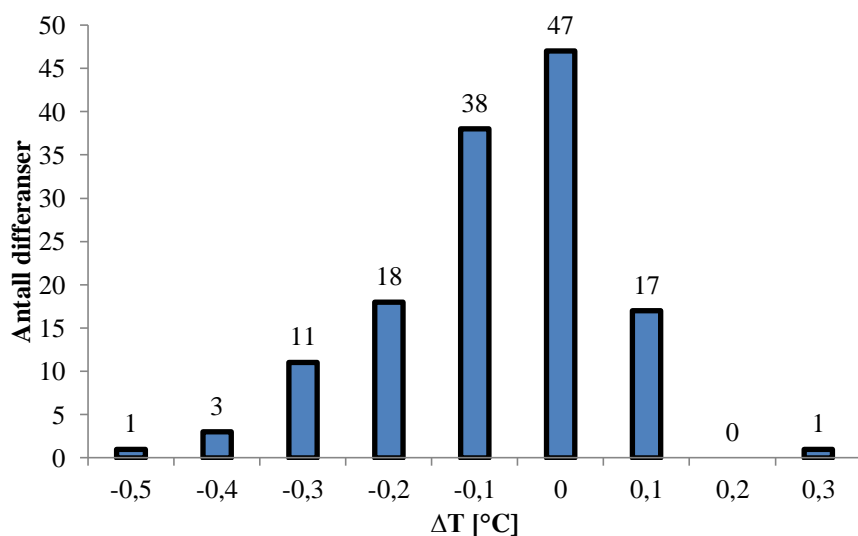
Figur 4.15: Døgnmiddel og avvik for multiplateskjemmen fra MET, liten skjerm fra Young og stor skjerm fra Young. Dataene er for perioden 9. juni til 8. november. Multiplateskjemmen fra MET er brukt som referanse.

Fordeling av avvik for multiplateskjemmen fra MET og den lille Young skjermen er vist i figur 4.16. Avvikene er beregnet fra døgnmiddeltemperaturene.



Figur 4.16: Fordeling av avvik for døgnmiddel. Avvikene er beregnet for multiplateskjerm fra MET og den lille Young skjermen. Hver søyle representerer antall avvik med den verdien. Antallet avvik med hver verdi er presentert på toppen av søylene.

Figur 4.17 viser fordelingen av avvik for multiplateskjermen fra MET og den store Young skjermen. Avvikene er beregnet fra døgnmiddeltemperaturene.



Figur 4.17: Fordeling av avvik for døgnmiddel. Avvikene er beregnet for multiplateskjerm fra MET og den store Young skjermen. Hver søyle representerer antall avvik med den verdien. Antallet avvik med hver verdi er presentert på toppen av søylene.

Avvikene mellom multiplateskjermen fra MET og den lille Young skjermen har flest negative verdier. De negative verdiene betyr at den lille Young skjermen har høyere døgnmiddel enn skjermen fra MET. Avvikene mellom multiplateskjermen og den store Young skjermen har også flest negative verdier. Gjennomsnittene og standardavvikene for avvikene av døgnmiddel er vist i tabell 4.9.

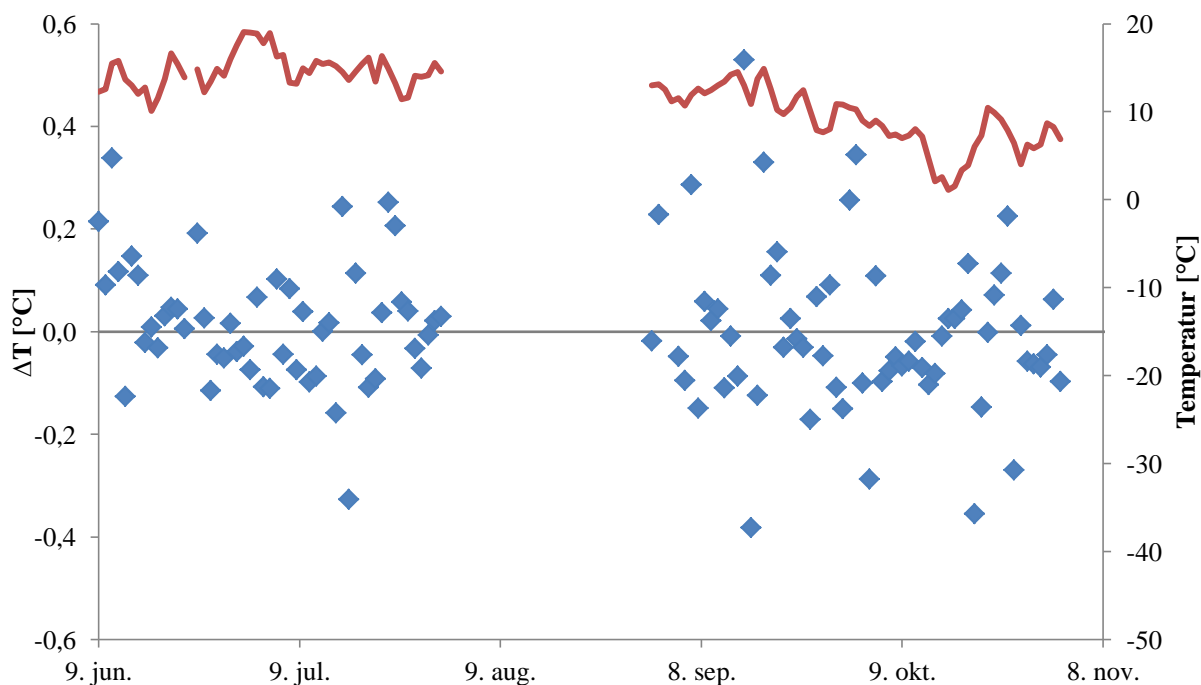
Tabell 4.9: Gjennomsnitt og standardavvik for avvik mellom multiplateskjerm fra MET og Young liten/ Young stor. Avvikene er beregnet fra døgnmiddel fra 136 dager.

	Gjennomsnitt av ΔT [$^{\circ}\text{C}$]	Standardavviket til ΔT [$^{\circ}\text{C}$]
Young liten	-0,09	0,11
Young stor	-0,08	0,13

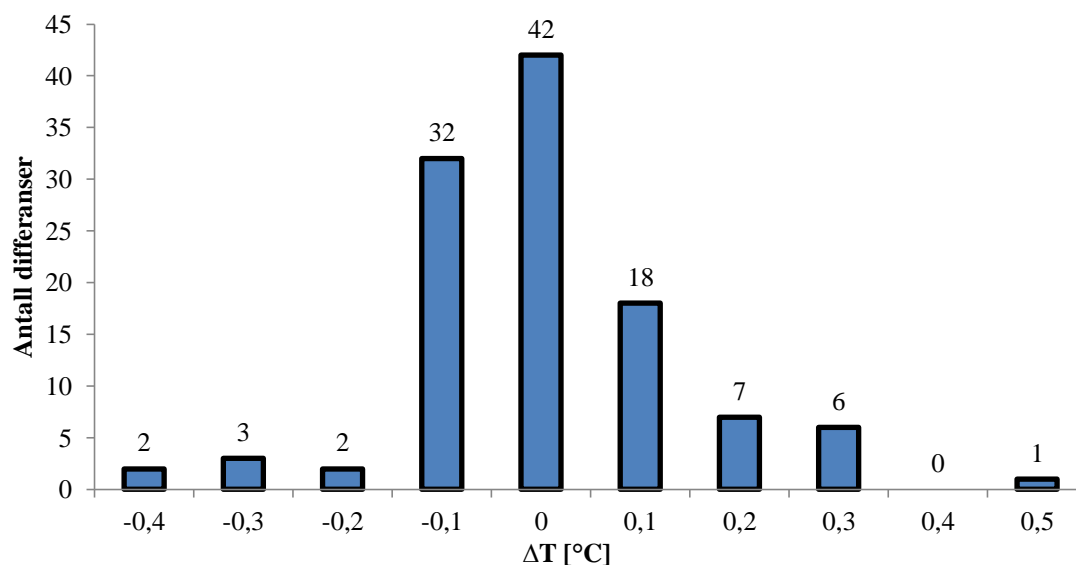
Gjennomsnittene av avvikene for Young liten og Young stor er tilnærmet like med verdier på $-0,09$ og $-0,08$. Dette betyr at disse to skjermene oppfatter den samme temperaturen i de fleste tilfellene. Standardavvikene er også tilnærmet like med verdier på $0,11$ og $0,13$.

4.5 Davisstasjon

I dette delkapittelet vil Davisstasjonen og Young ventilert sammenlignes. Figur 4.18 viser døgnmiddel for Young ventilert og avvik for Young ventilert og Davisstasjonen. Avvikene er beregnet fra døgnmiddeltemperaturene for perioden 9. juni til 2. november. Fordelingen av avvikene er vist som et histogram i figur 4.19.



Figur 4.18: Døgnmiddeltemperatur for Young ventilert og avvik for Young ventilert og Davisstasjon for perioden 9. juni til 2. november. Det største positive avviket er $0,53$ $^{\circ}\text{C}$ og det største negative avviket er $-0,38$ $^{\circ}\text{C}$.



Figur 4.19: Fordeling av avvik for døgnmiddel for Young ventilert og Davisstasjonen. Hver søyle representerer antall avvik med den verdien. Antallet avvik med hver verdi er presentert på toppen av søylene.

Det største positive avviket registrert er 0,53 °C. Den største negative forskjellen er -0,38 °C. Hovedtyngden av avvikene ligger i området -0,1 til 0,1 °C, med noe spredning av avvikene fra -0,4 til 0,5 °C. Gjennomsnittet og standardavviket til avvikene er vist i tabell 4.10.

Tabell 4.10: Gjennomsnitt og standardavvik for avvikene for Young ventilert og Davisstasjon. Differansene er beregnet fra døgnmiddel.

	Gjennomsnitt av ΔT [°C]	Standardavviket til ΔT [°C]
Davis	0,01	0,14

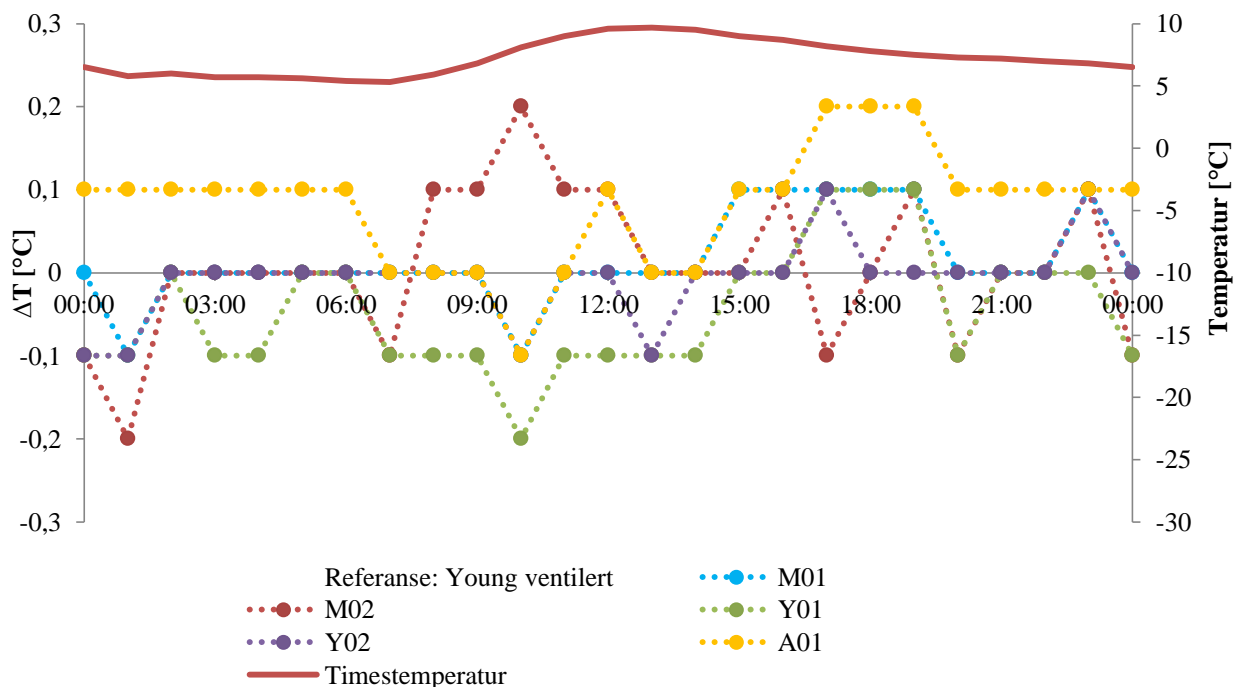
Gjennomsnittet av avvikene er nært null og sammenlignet med gjennomsnittene til de andre skjermene i tabell 4.6 har Davisstasjonen det nest minste gjennomsnittet beregnet fra avvik mot Young ventilert. Davisstasjonen har et standardavvik på 0,14, noe som er høyt sammenlignet med de andre skjermene. Dette er det høyeste i standardavviket beregnet fra døgnmiddel i sammenligningen.

4.6 Undersøkelse av værforhold

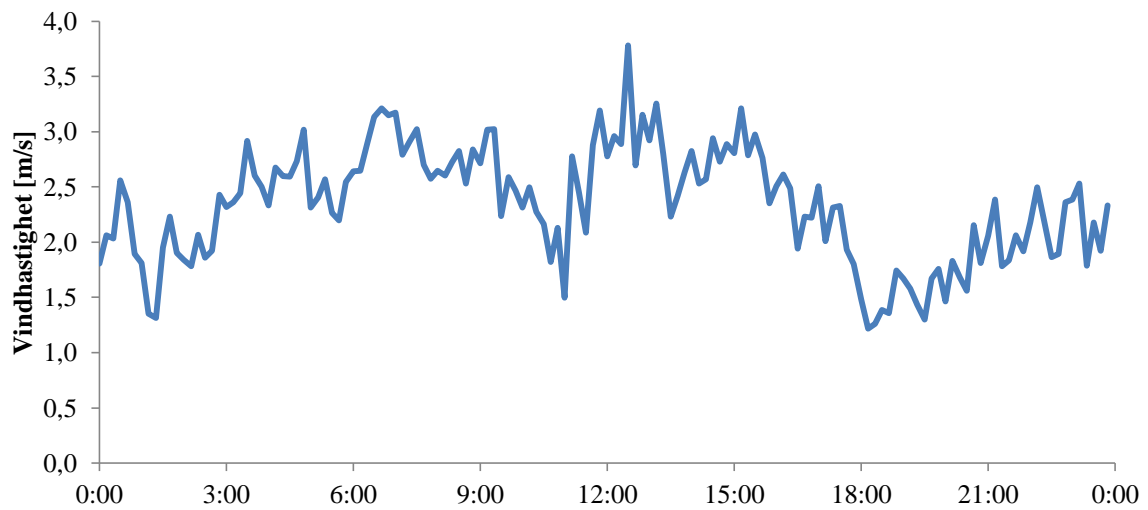
I dette delkapittelet vil temperaturavvik og værforhold for to dager sammenlignes. Det er valgt ut en dag med små temperaturavvik og en dag med store temperaturavvik. For hver av dagene vil avvik, vindhastighet og strålingsforhold undersøkes.

For dagen med små avvik ble 7. oktober valgt. Den største forskjellen i døgnmiddel denne dagen var $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ mellom de to kunstig ventilerte skjermene. Avviket i døgnmiddel mellom Young ventilert og de andre skjermene var null. Temperaturkurve for Young ventilert basert på timesmiddel er vist i figur 4.20. I figuren er også avvikene for referansen og de forskjellige skjermene for hver time er vist. Avvikene er markert med stiplede linjer i tillegg til punkter. Dette er gjort for å synliggjøre hvordan punktene plasserer seg da det er mange punkter med samme verdier.

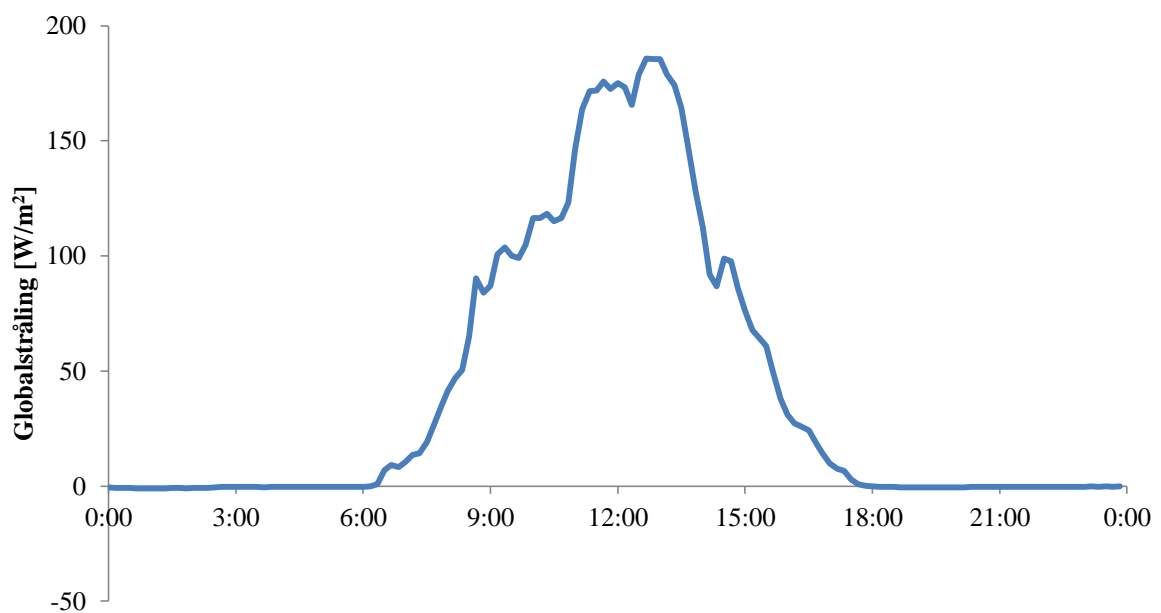
Figur 4.21 viser vindforholdene den 7. oktober. Datafrekvensen er hvert tiende minutt. Dagen hadde noe skiftende vindforhold, med maksimal vindhastighet på $3,8\text{ m/s}$ og lavest vindhastighet på $1,2\text{ m/s}$. Figur 4.22 viser globalstrålingen for samme dag. Manuelle observasjoner fra dagen sammen med stålingsgrafene kategoriserer dagen som en overskyet dag.



Figur 4.20: Avvik av timesmiddel. Den kunstig ventilerte Young skjermen er brukt som referanse. De største avvikene er på $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Figur 4.21: Vinddata for 7. oktober. Datafrekvensen er hvert tiende minutt. Maksimal vindhastighet ble målt til 3,8 m/s og minimal vindhastighet ble målt til 1,2 m/s.



Figur 4.22: Globalstråling den 7. oktober. Strålingen er registrert hvert tiende minutt. Dagen ble kategorisert som en overskyet dag.

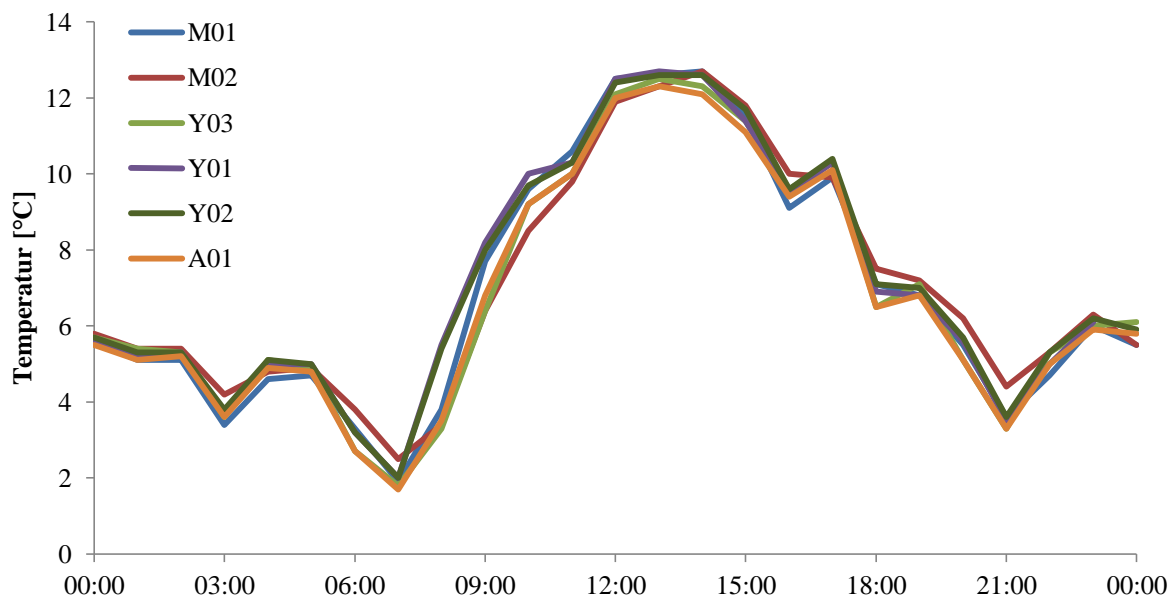
Dagen med store temperaturavvik ble valgt til 2. november. Tabell 4.11 viser avvikene for referanseskjermen og de andre skjermene for døgnmiddeltemperaturen.

Tabell 4.11: Avvik av døgnmiddel den 2. november. Avvikene er for referansen og den aktuelle skjermen.

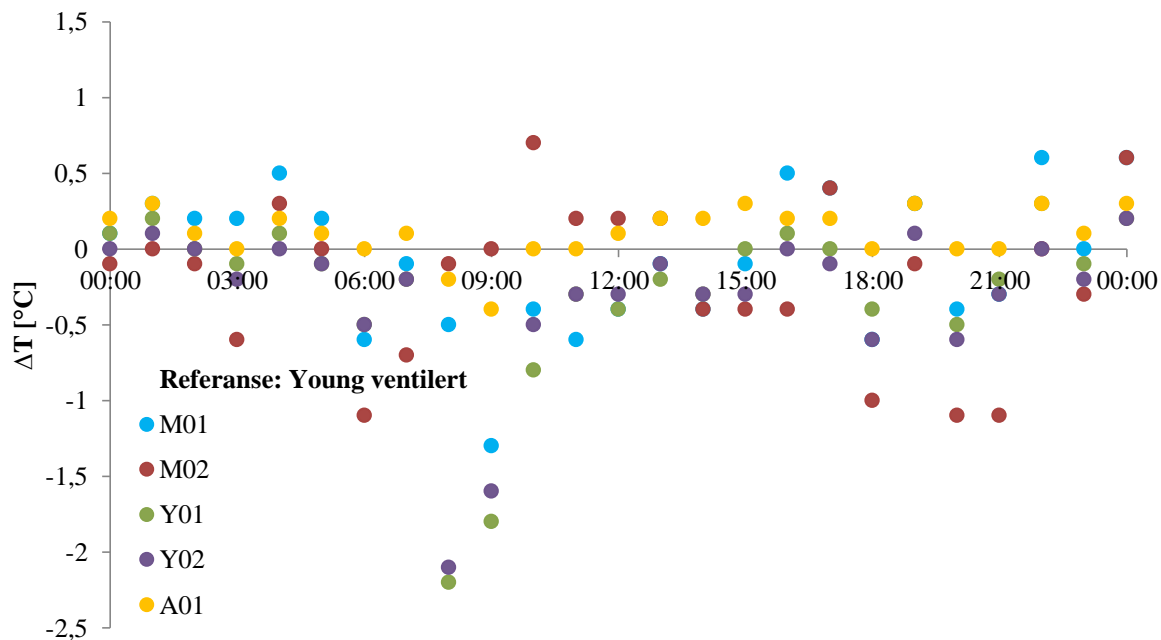
	M01	M02	Y01	Y02	A01
Avvik [°C]	-0,2	-0,1	-0,3	-0,3	0,1

Timesmiddel for de seks skjermene er vist i figur 4.23. I figur 4.24 er avvikene mellom referanseskjermen og de andre skjermene vist. Avvikene er beregnet for hver time. Det største avviket registrert den 2. november er $-2,2$ °C.

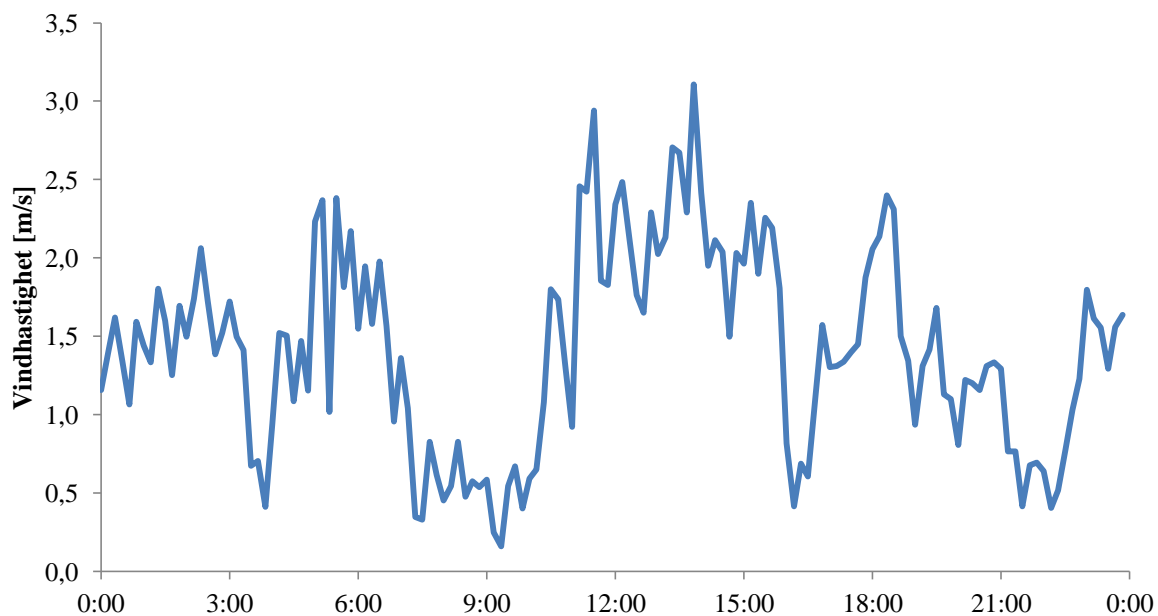
Vindhastigheten for 2. november er vist i figur 4.25. Vindhastigheten er presentert med data hvert tiende minutt. Den største vindhastigheten ble målt til 3,1 m/s og den laveste vindhastigheten ble målt til 0,2 m/s. Figur 4.26 viser globalstrålingen. Strålingsgrafene sammen med manuelle observasjoner av skydekket kategoriserer dagen som en delvis skyet dag.



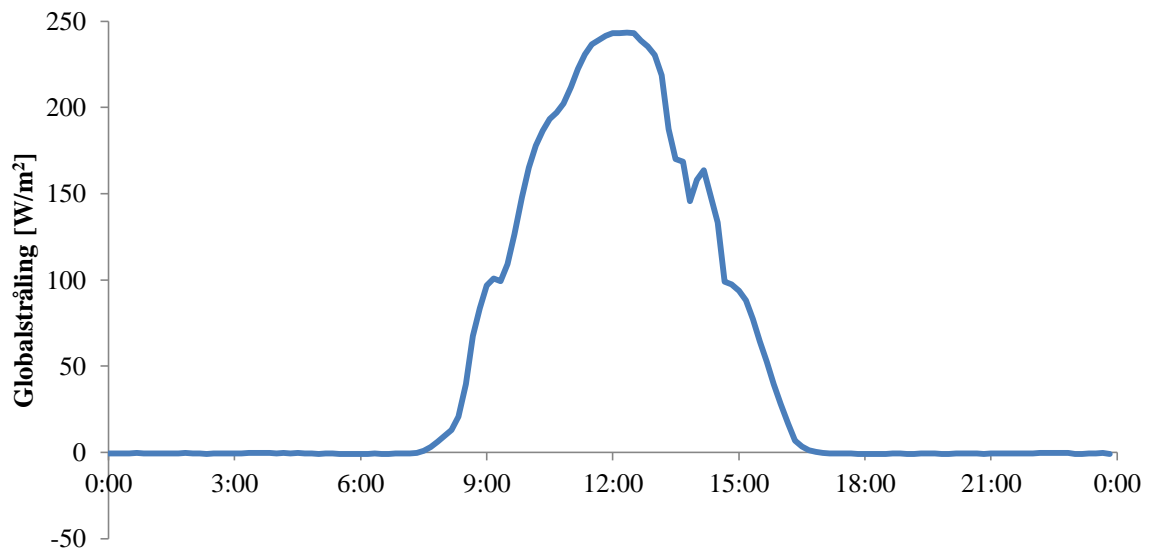
Figur 4.23: Temperaturkurve for 2. november. Grafen viser de seks strålings skjermene på en dag med store temperaturforskjeller. Grafen er laget med timestemperaturer.



Figur 4.24: Avvik for Young ventilert og de andre skjermene, beregnet fra timesmiddel. Avvikene er beregnet for hver time den 2. november. Det største avviket er $-2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Figur 4.25: Vindhastighet målt hvert tiende minutt den 2. november. Den største målte vindhastigheten var $3,1\text{ m/s}$ og den laveste målte vindhastigheten var $0,2\text{ m/s}$.



Figur 4.26: Globalstråling den 2. november. Strålingen er registrert hvert tiende minutt. Dagen ble kategorisert som en delvis skyet dag.

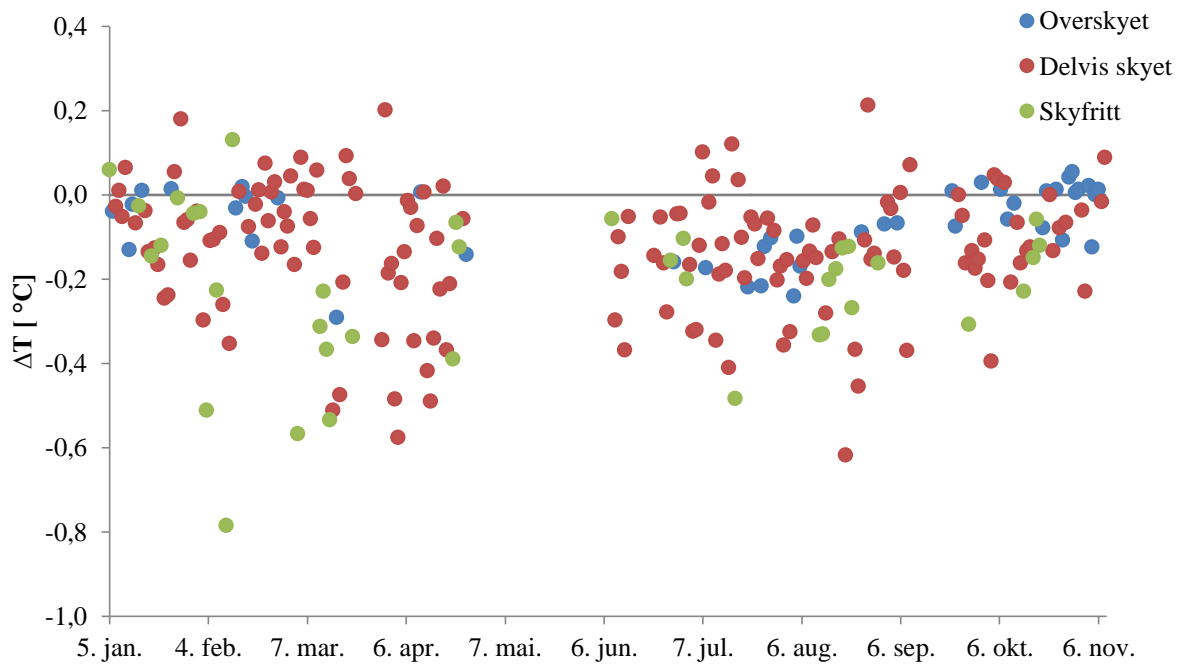
Fra figur 4.24 og 4.25 ser det ut til at det er en sammenheng mellom lav vindhastighet og store avvik. De største avvikene i figur 4.24 oppstår i perioden hvor det er lavest vindhastighet. Senere på dagen er det en periode til med store avvik uten at denne ser ut til å ha sammenheng med lav vindhastighet.

4.7 Stråling

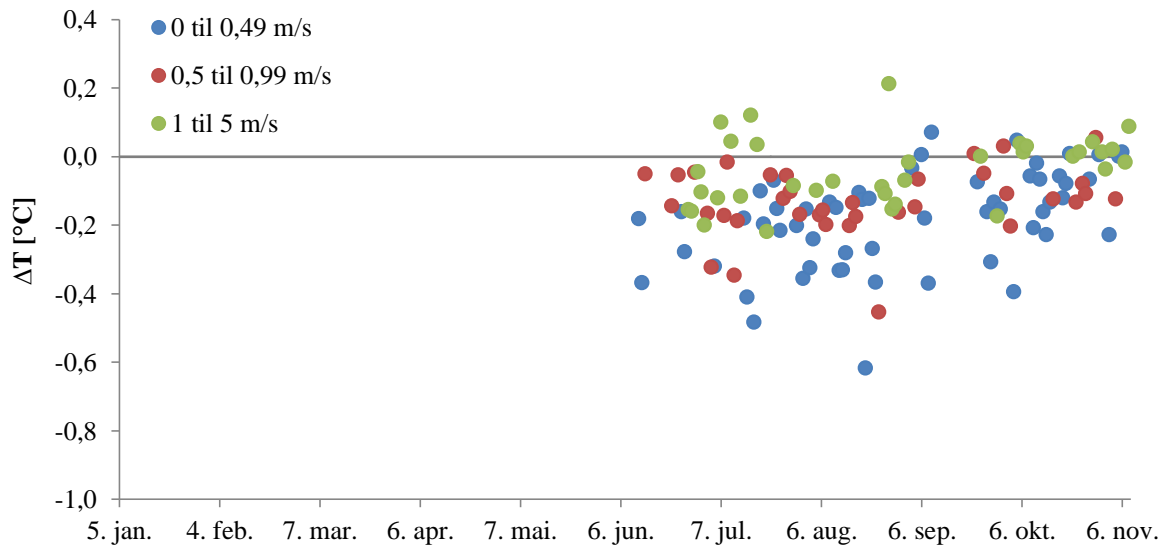
Påvirkningen av stråling på temperaturen i skjermene vil undersøkes i dette delkapittelet. For å undersøke påvirkningen av forskjellig strålingsmengde ble hver dag kategorisert etter hvor mye skyer det var den aktuelle dagen. Dagene ble delt inn i tre kategorier: overskyet, delvis skyet og skyfritt. For å bestemme andelen skyer ble strålingsdata og manuelle observasjoner av skydekke benyttet.

Figur 4.27 viser avvikene for den kunstig ventilerte Young skjermen og trehytten fra MET. Avvikene er farget etter om dagen har mye, lite eller ingen skyer. Figur 4.29 viser avvikene for referansen mot multiplateskjermen fra MET. Avvikene mellom multiplateskjermen og trehytten fra MET er vist i figur 4.31. Figur 4.33 viser avvikene for referanseskjermen og skjermen fra Apogee. Dataperioden for de tre første avviksgrafene med stråling er 5. januar til 8. november. For avvikene mellom de to kunstig ventilerte skjermene er dataperioden 9. juni til 8. november.

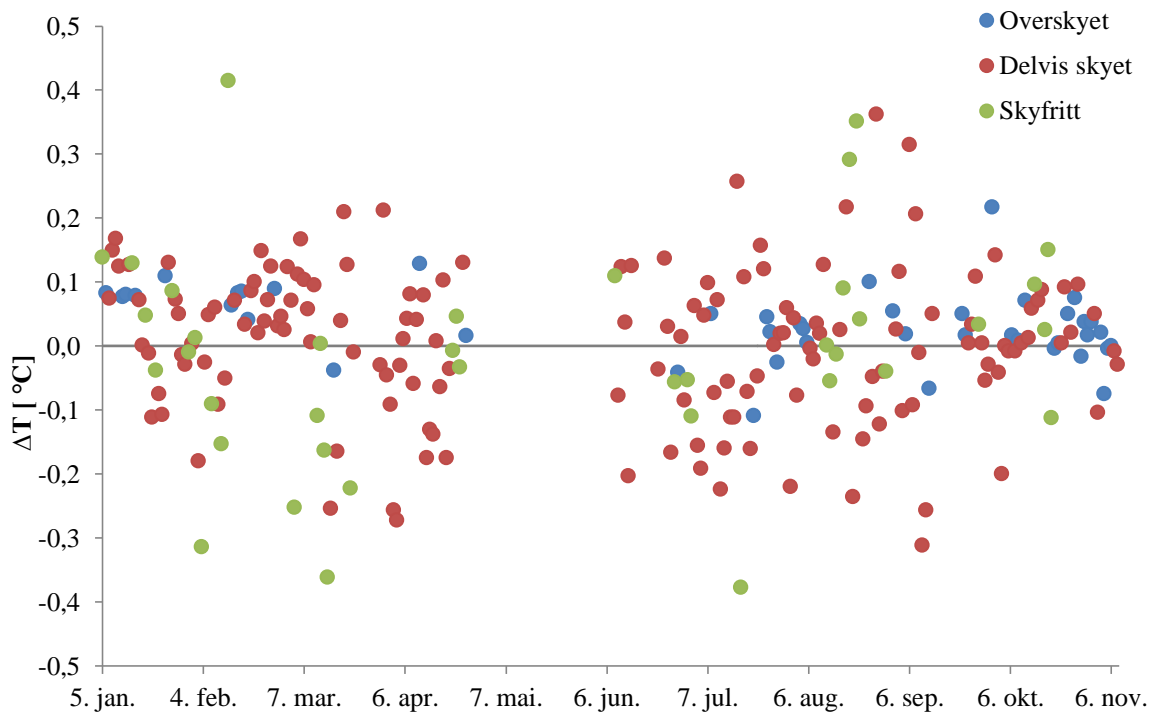
For avvikene er det også laget grafer hvor avvikene er farget etter andelen vind. For vindgrafene vil det brukes data fra 12. juni til 8. november. Ved kategorisering av vinden er det benyttet den laveste vindhastigheten for hver dag. Dette er gjort fordi det er tilfeller med lav vindhastighet som er forventet å gi store forskjeller. Ved å bruke den laveste vindhastigheten vil dager med lite vind fanges opp. Vinden er delt inn i tre intervaller. Det er forventet at for vindhastigheter under 1 m/s er det større avvik enn for tilfeller med høyere vindhastigheter og vindhastighetene under 1 m/s er derfor delt inn i to kategorier. Det er ingen kategori over 5 m/s fordi det ikke er noen dager med lavest vindhastighet over 5 m/s. Grafene for vind er vist i figur 4.28, 4.30, 4.32 og 4.34.



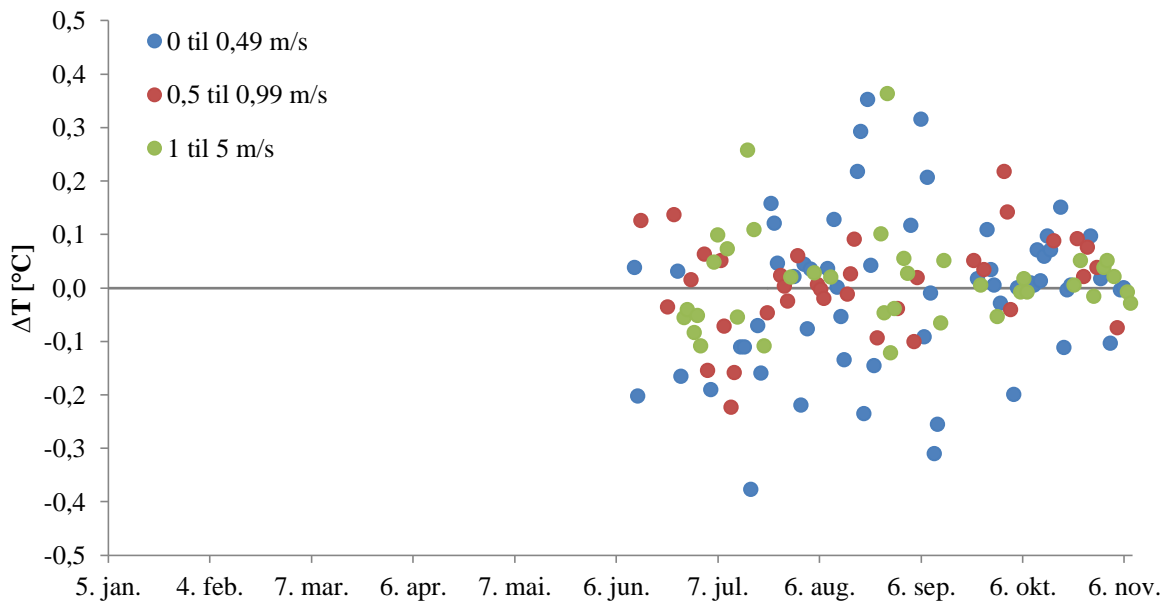
Figur 4.27: Avvik av døgnmiddel mellom Young ventilert og trehytten fra MET. Dataene er farget etter andel skydekke. Avvikene er beregnet for perioden 5. januar til 8. november.



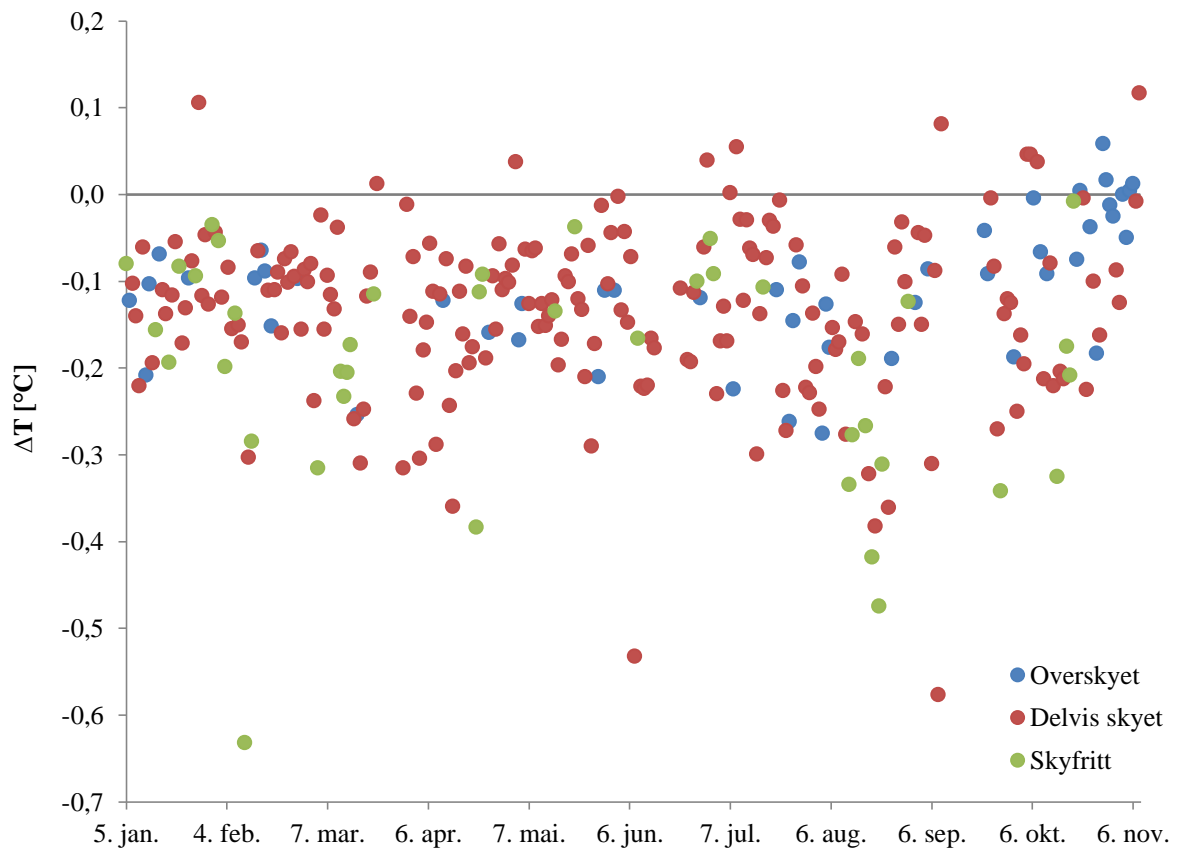
Figur 4.28: Avvik for Young ventilert og trehytten fra MET. Avvikene er beregnet fra døgnmiddel i perioden 12. juni til 8. november. Dataene er farget etter vindstyrke. Det er brukt den laveste vindhastigheten for hver dag for å kategorisere dagene.



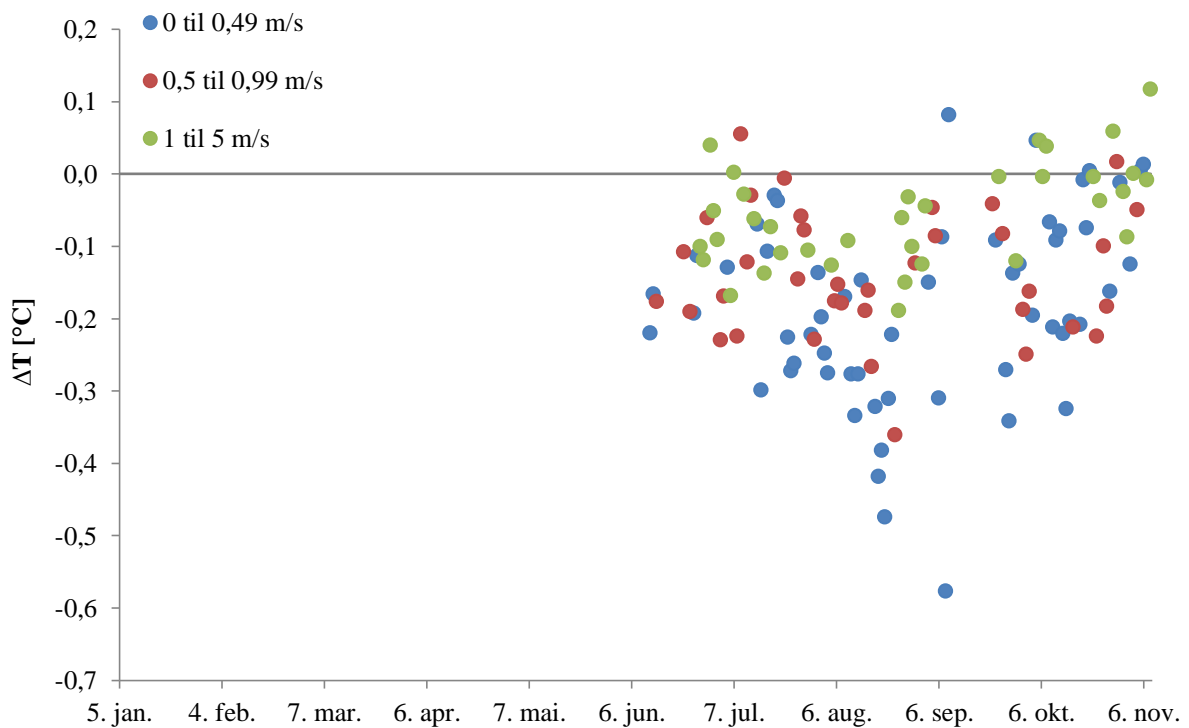
Figur 4.29: Avvik av døgnmiddel mellom Young ventilert og multiplateskjermen fra MET. Dataene er farget etter andel skydekke. Avvikene er beregnet for perioden 5. januar til 8. november.



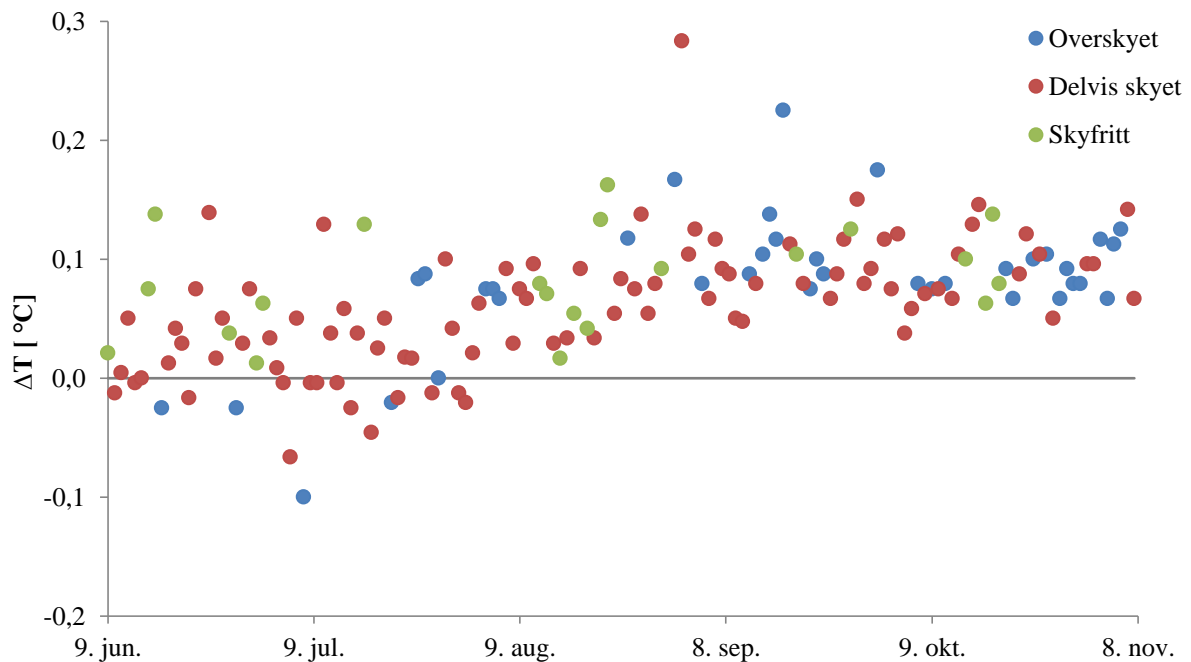
Figur 4.30: Avvik for Young ventilert og multiplateskjermen fra MET. Avvikene er beregnet fra døgnmiddel i perioden 12. juni til 8. november. Dataene er farget etter vindstyrke. Det er brukt den laveste vindhastigheten for hver dag for å kategorisere dagene.



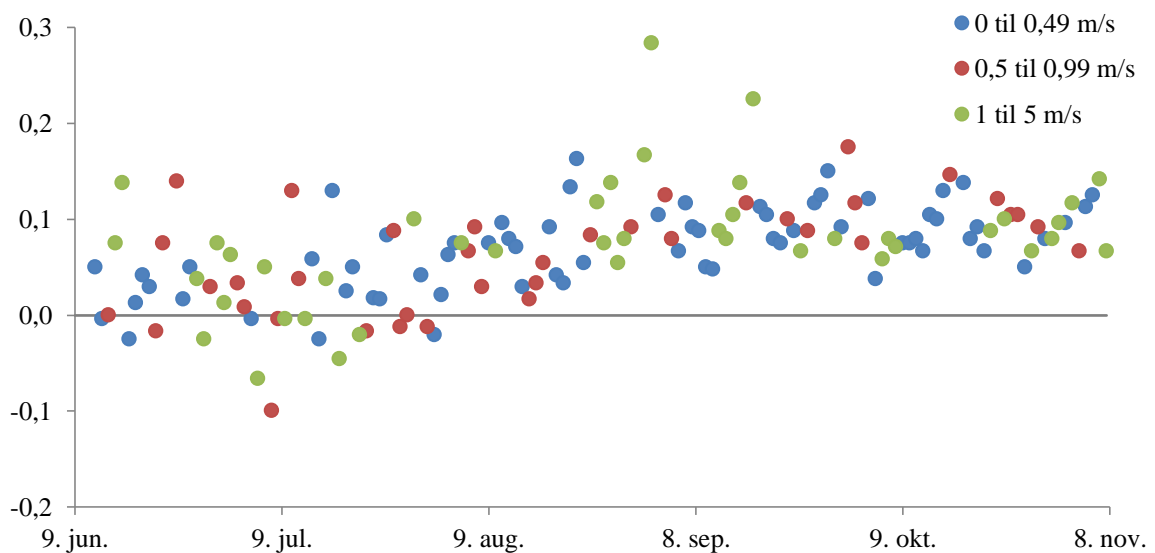
Figur 4.31: Avvik av døgnmiddel mellom multiplateskjermen og trehytten fra MET. Dataene er farget etter andel skydekke. Avvikene er beregnet for perioden 5. januar til 8. november.



Figur 4.32: Avvik for multiplateskjermen og trehytten fra MET. Avvikene er beregnet fra døgnmiddel i perioden 12. juni til 8. november. Dataene er farget etter vindstyrke. Det er brukt den laveste vindhastigheten for hver dag for å kategorisere dagene.



Figur 4.33: Avvik av døgnmiddel mellom Young ventilert og skjermen fra Apogee. Dataene er farget etter andel skydekke. Avvikene er beregnet for perioden 9. juni til 8. november.



Figur 4.34: Avvik for Young ventilert og Apogee. Avvikene er beregnet fra døgnmiddel i perioden 12. juni til 8. november. Dataene er farget etter vindstyrke. Det er brukt den laveste vindhastigheten for hver dag for å kategorisere dagene.

I figur 4.27 og 4.29 vises det at dagene med kategori overskyet har avvik som ligger nærmere null enn dager med delvis skyet eller skyfritt. Dagene med kategori overskyet ligger ikke nærmest null i figur 4.31. Punktene for overskyede dager ser for det meste ut til å være samlet midt i fordelingen av avvikene. I slutten av perioden er de overskyede dagene samlet mer om null. Figur 4.33 viser avvikene mellom de to kunstig ventilerte skjermene, og for disse skjermene ser det ikke ut til å være noen klar fordeling av avvik som følge av forskjellige

skykategorier. Tabell 4.12 og 4.13 viser gjennomsnittet og standardavviket av avvikene for de forskjellige skjermkombinasjonene. Gjennomsnittet og standardavviket har blitt beregnet for de forskjellige skykategoriene. For sammenligningene som inneholder en eller flere naturlig ventilerte skjermene er standardavviket minst ved overskyede dager og størst ved skyfrie dager. For sammenligningen av de to kunstig ventilerte skjermene er det liten forskjell på verdiene for overskyet og skyfri dag. For overskyede dager er standardavviket 0,06 °C og for skyfrie dager er standardavviket 0,05 °C.

Grafene med vindkategorisering viser at de naturlig ventilerte skjermene har større avvik når det er lave vindhastigheter. Figur 4.34 viser differansene mellom de to kunstig ventilerte skjermene, og her ser det ikke ut til å være noen sammenheng mellom størrelsen på avvikene og andelen vind.

Gjennomsnitt og standardavvik for avvikene basert på vindkategorisering er vist i tabell 4.14 og 4.15.

Tabell 4.12: Gjennomsnitt av avvikene for fire forskjellige skjermkombinasjoner. Gjennomsnittene er beregnet for hver av skykategoriene.

	Overskyet [°C]	Delvis skyet [°C]	Skyfritt [°C]
Ref – Trehytte	0,04	<0,01	-0,01
Ref – Multiplateskjerm MET	-0,06	-0,13	-0,22
Multiplateskjerm MET – Trehytte	-0,11	-0,13	-0,20
Ref – Apogee	0,08	0,06	0,08

Tabell 4.13: Standardavviket til avvikene for fire forskjellige skjermkombinasjoner. Standardavvikene er beregnet for hver av skykategoriene.

	Overskyet [°C]	Delvis skyet [°C]	Skyfritt [°C]
Ref – Trehytte	0,06	0,12	0,17
Ref – Multiplateskjerm MET	0,09	0,17	0,19
Multiplateskjerm MET – Trehytte	0,08	0,10	0,13
Ref – Apogee	0,06	0,05	0,05

Tabell 4.14: Gjennomsnitt av avvikene for fire forskjellige skjermkombinasjoner. Gjennomsnittene er beregnet for hvert av vindintervallene.

	0 til 0,49 m/s [°C]	0,5 til 0,99 m/s [°C]	1 til 5 m/s [°C]
Ref – Trehytte	-0,18	-0,13	-0,03
Ref – Multiplateskjerm MET	-0,01	0,01	0,01
Multiplateskjerm MET – Trehytte	-0,18	-0,14	-0,06
Ref – Apogee	0,07	0,06	0,07

Tabell 4.15: Standardavviket til avvikene for fire forskjellige skjermkombinasjoner. Standardavvikene er beregnet for hvert av vindintervallene.

	0 til 0,49 m/s [°C]	0,5 til 0,99 m/s [°C]	1 til 5 m/s [°C]
Ref – Trehytte	0,14	0,10	0,13
Ref – Multiplateskjerm MET	0,15	0,09	0,09
Multiplateskjerm MET – Trehytte	0,13	0,09	0,07
Ref – Apogee	0,04	0,06	0,07

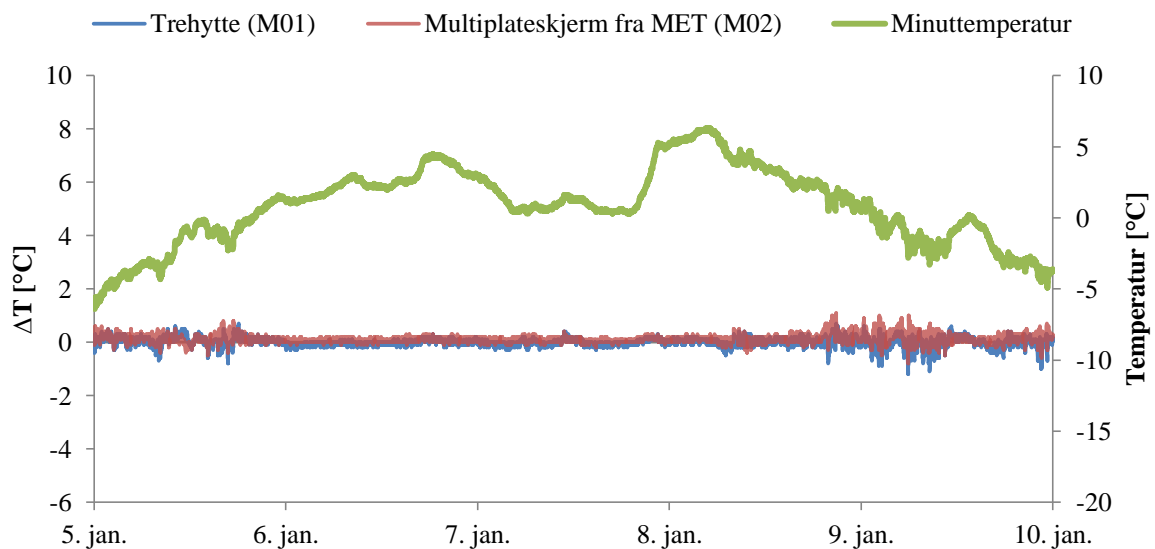
Gjennomsnittene av avvikene for referanseskjermen og trehytten fra MET har den største verdien for lave vindhastigheter og minkende avvik etter hvert som vindhastigheten øker. For vindhastigheter mellom 0 og 0,49 m/s er gjennomsnittet -0,18 °C, mens for vindhastigheter mellom 1 og 5 m/s er gjennomsnittet -0,03 °C. For standardavviket er det liten forskjell på tilfeller med lite vind og med mye vind. For referanseskjermen og multiplateskjermen fra MET er det liten endring i gjennomsnittet med endret vindhastighet. Gjennomsnittet varierer fra -0,01 °C ved lite vind til 0,01 °C ved mye vind. Standardavviket er noe større for lite vind enn for mye vind, med 0,15 °C for lite vind og 0,09 °C for mye vind. For de to kunstig ventilerte skjermene er det tilnærmet ingen endring i gjennomsnittene, mens standardavvikene stiger med økende vind, fra 0,04 °C til 0,07 °C. Sammenligningen av de to skjermene fra MET viser at gjennomsnittlig avvik minker med økende vindhastighet. Det gjør også standardavviket som endres fra 0,13 °C ved lite vind til 0,07 °C ved mye vind.

4.8 Snø

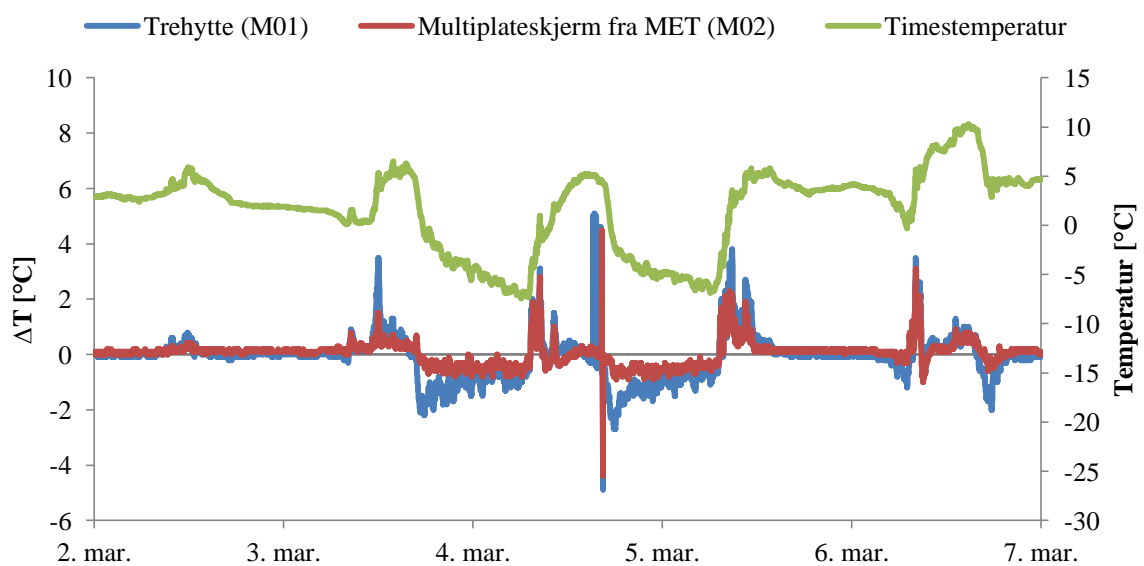
Påvirkningen av snødekke på temperaturoppfatningen vil undersøkes i dette delkapittelet. Undersøkelsen omfatter temperaturhytten fra MET, multiplateskjermen fra MET og den ventilerte skjermen fra Young. Fra dataene fra snømålinger på Søråsfeltet er perioder med og uten snø plukket ut.

Snø reflekterer mer stråling enn gresskledd bakke, og strålings skjermene vil motta mer stråling fra undersiden ved snødekt bakke enn ved snøfrie forhold.

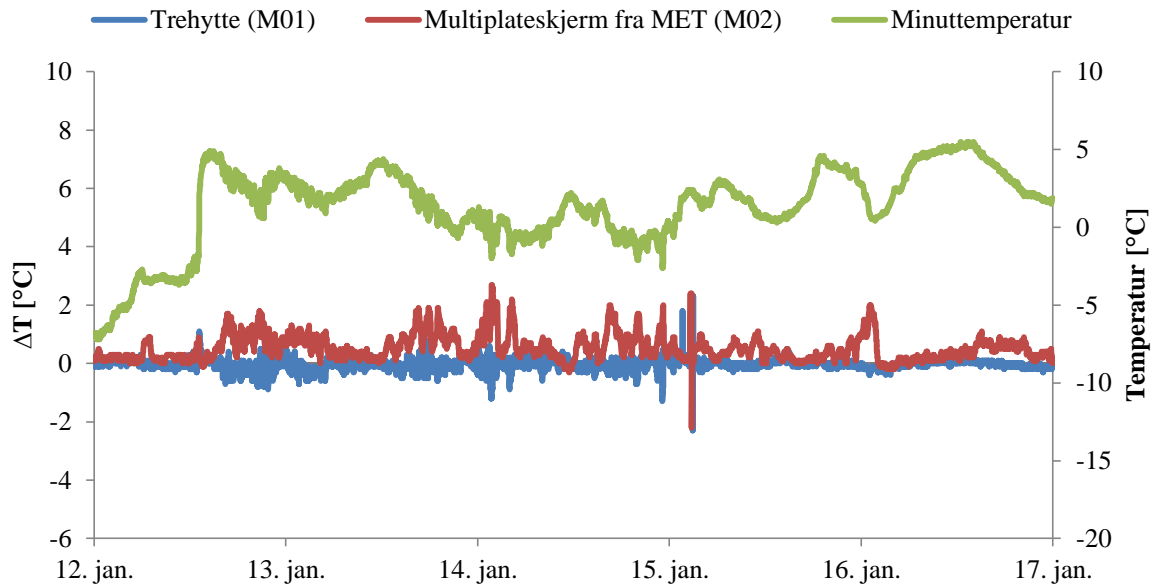
Figur 4.35 til Figur 4.38 viser minutttemperaturer fra Young ventilert for dager med og uten snødekke. I hver figur er det valgt fem sammenhengende dager hvor alle har samme snøforhold. Figurene viser også avvikene for referansen og trehytten fra met, og referansen og multiplateskjermen fra MET.



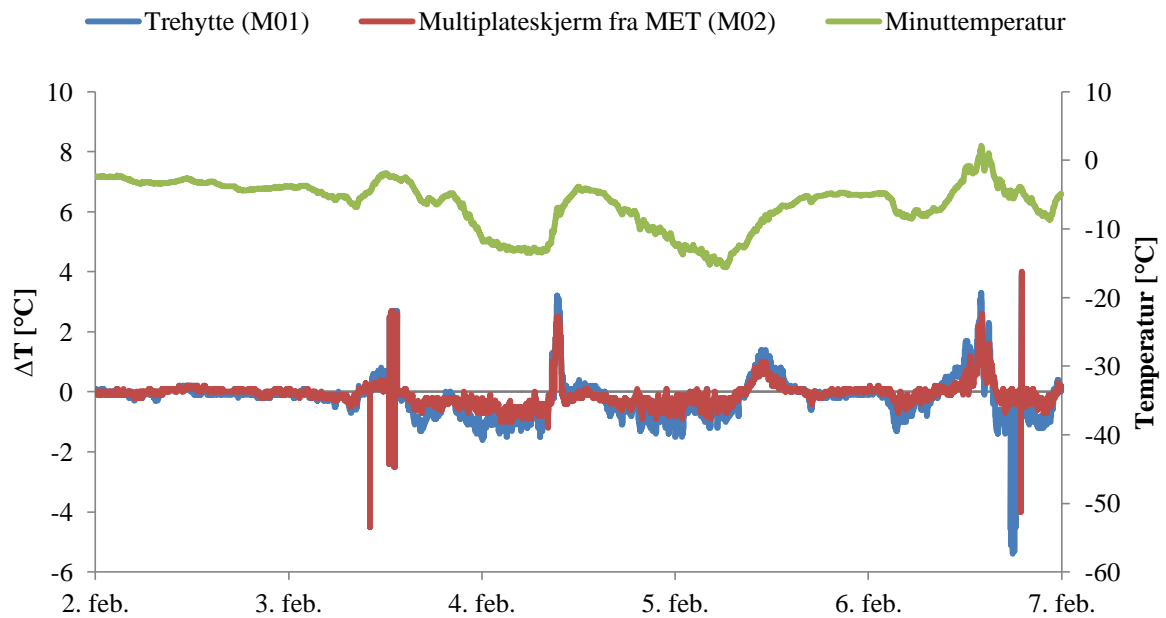
Figur 4.35: Minutttemperaturer og avvik for perioden 05.01.15 til 09.01.15. Det ble ikke registrert snø i denne perioden.



Figur 4.36: Minutttemperaturer og avvik for perioden 02.03.15 til 06.03.15. Det ble ikke registrert snø i denne perioden.



Figur 4.37: Minuttemperaturer og avvik for perioden 12.01.15 til 16.01.15. I perioden varierte snødybden fra 5 til 13 cm.



Figur 4.38: Minuttemperaturer og avvik for perioden 02.02.15 til 06.02.15. I perioden varierte snødybden fra 8 til 10 cm.

Figur 4.35 og 4.36 viser femdagersperioder med snødybde på null. Figur 4.37 og Figur 4.38 er femdagersperioder hvor det ble registrert en snødybde på mer enn null hver dag.

Formen på temperaturgrafene i figur 4.36 og 4.38 er ganske lik, med noe større avvik i figur 4.36.

Andelen skydekke for snøfrie dager er gitt i tabell 4.16. I tabell 4.17 er skydekke og snødybden vist for de to periodene med snø.

Tabell 4.16: Skydekke for de to periodene uten snø. Andelen skydekke er basert på globalstrålingen.

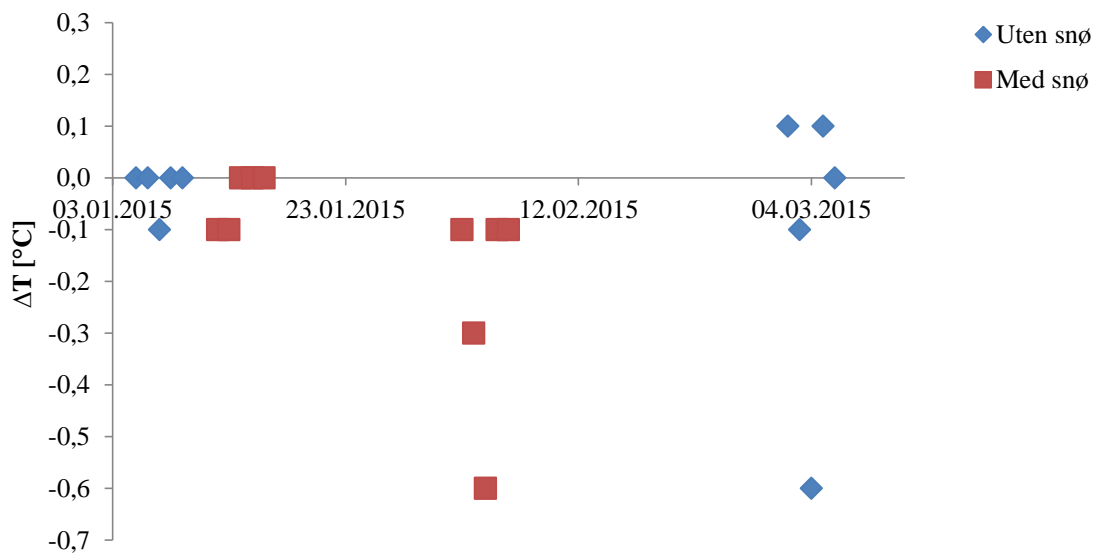
Dato	Skydekke
05.01.15	Skyfritt
06.01.15	Overskyet
07.01.15	Delvis skyet
08.01.15	Delvis skyet
09.01.15	Delvis skyet
02.03.15	Delvis skyet
03.03.15	Delvis skyet
04.03.15	Skyfritt
05.03.15	Delvis skyet
06.03.15	Delvis skyet

Tabell 4.17: Snødybde og andelen skydekke for periodene med snø. Andelen skydekke er basert på globalstrålingen.

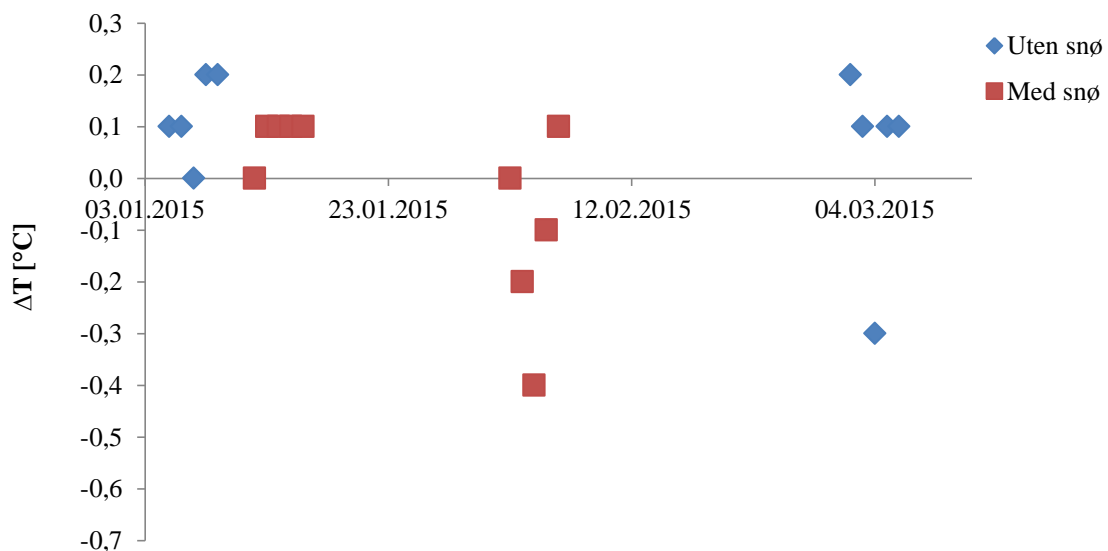
Dato	Snødybde [mm]	Skydekke
12.01.15	13	Overskyet
13.01.15	9	Delvis skyet
14.01.15	7	Skyfritt
15.01.15	5	Overskyet
16.01.15	6	Delvis skyet
02.02.15	8	Skyfritt
03.02.15	10	Delvis skyet
04.02.15	10	Skyfritt
05.02.15	10	Delvis skyet
06.02.15	10	Delvis skyet

Tabellene viser at den siste perioden uten snø og med snø har noe lettere skydekke enn den tidligere perioden. Globalstråling gir kun direkte informasjon om hvordan forholdene var om dagen, men kan sammen med temperaturgrafene gi et bilde av forholdene om natten. I figur 4.36 er det to store temperaturfall. De store temperaturfallene er natt til 4. og natt til 5. mars. Den 4. mars var en skyfri dag, og det er sannsynlig at de to nettene også hadde skyfrie forhold.

Avvikene for referanseskjerm og trehytte/multiplateskjerm av døgnmiddel for dager med og uten snø er vist i figur 4.39 og 4.40.



Figur 4.39: Avvik av døgnmiddel for referanseskjermen og temperaturhytten fra MET. De blå punktene representerer dager hvor det ikke er snø, og de røde punktene representerer dager med snø.



Figur 4.40: Avvik av døgnmiddel for referanseskjermen og multiplateskjermen fra MET. De blå punktene representerer dager hvor det ikke er snø, og de røde punktene representerer dager med snø.

Fordelingen av avvik for dager med og uten snø fra figur 4.39 og 4.40 viser ingen store forskjeller på dager med og uten snø. Punktene for de forskjellige periodene ser ut til å være fordelt uavhengig av snøforhold. Gjennomsnitt og standardavvik for dager med snø og snøfrie dager er vist i tabell 4.18.

Tabell 4.18: Gjennomsnitt og standardavvik for avvikene mellom referanseskjermen og trehytte/multiplateskjerm fra MET. Verdiene er beregnet fra minuttdata for ti dager uten snø og ti dager med snø.

	Uten snø		Med snø	
	Gjennomsnitt av ΔT [°C]	Standardavviket til ΔT [°C]	Gjennomsnitt av ΔT [°C]	Standardavviket til ΔT [°C]
Trehytte	-0,07	0,57	-0,12	0,45
Multiplateskjerm	0,08	0,32	<0,01	0,30

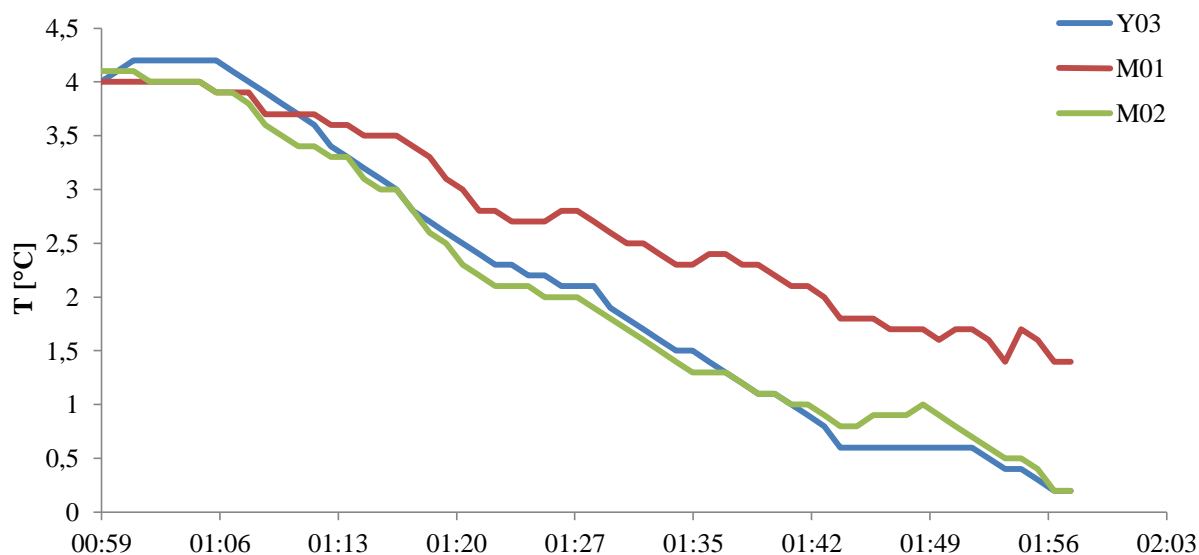
Tabell 4.18 viser at gjennomsnitt og standardavvikene er i samme størrelsesorden for perioden med og uten snø.

4.9 Responstid

Responstiden til en strålingsskjerm forteller hvor lang tid det tar før en endring av temperatur i luften registreres på innsiden av skjermen. Ved å undersøke reaksjonshastigheten til de forskjellige skjermene ved raske temperaturendringer vil responstiden kunne beregnes. I dette delkapittelet ble responstiden til trehytten og multiplateskjermen fra MET undersøkt. Den kunstig ventilerte skjermen fra Young ble brukt som referanse. Disse tre skjermene ble valgt da de er de eneste i forsøket med minuttdata. Det ble undersøkt to tilfeller med raskt temperaturfall og to med rask temperaturstigning. For hvert tilfelle ble det beregnet tidsforsinkelsen ved tre temperaturer. Disse temperaturene var basert på temperaturendringen for referansen og var 1/3, 1/2 og 2/3 av temperaturendringen. For hvert av temperaturtrinnene ble tidsforsinkelsen funnet. Tidsforsinkelsen er hvor mye lenger tid enn referansen den valgte skjermen bruker på og nå en valgt temperatur. Tidspunkt i tabellene angir ved hvilket klokkeslett referansen når de valgte temperaturendringene. Forsinkelsen ble deretter beregnet ved å se hvor lang tid det tok før de andre skjermene nådde den samme temperaturen.

For perioden responstidene ble beregnet var vindmåleren på Søråsfeltet ute av drift. For å få et inntrykk av vindforholdene på dagene som er undersøkt er det hentet inn vinddata fra en vindmåler på Statens vegvesen sin stasjon ved Holstad i Ås kommune. Nøyaktigheten til dataene er usikker og stasjonen befinner seg 3,6 km fra feltet i luftlinje. Dataene er dermed kun ment som en pekepinn på hvilke vindforhold det var den aktuelle dagen.

Figur 4.41 viser et raskt temperaturfall 16. april. Temperaturen i referanseskjermen falt 4 °C på 60 minutter.



Figur 4.41: Raskt temperaturfall klokken 01:08 den 16. april. I referanseskjermen ble det målt en temperaturendring på 4 °C i løpet av 60 minutter.

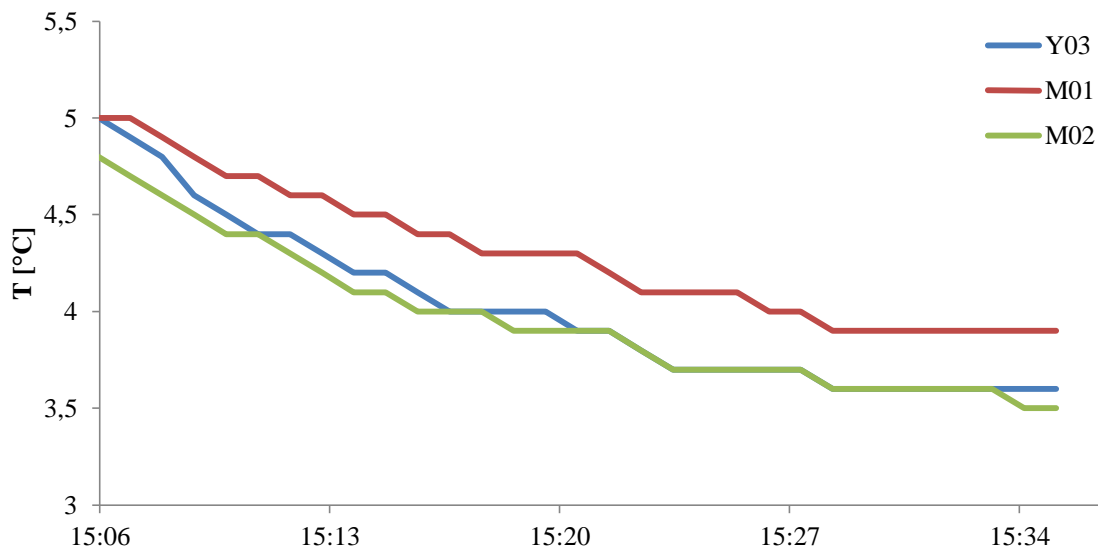
Figuren viser at trehytten reagerer tregere enn de andre skjermene. Skyforholdene for dagen er karakterisert som delvis skyet. Vindhastighetene målt ved Holstad varierte fra 1,5 til 5 m/s gjennom dagen. I perioden for temperaturfallet lå vindhastigheten på 2,5 til 2,8 m/s. Tidsforsinkelsene er gitt i tabell 4.19.

Tabell 4.19: Tidsforsinkelse for trehytten og multiplateskjermen fra MET for raskt temperaturfall 16. april. Trehytten reagerer betydelig tregere enn referanseskjermen og er på det meste 37 min tregere. Multiplateskjermen har en maksimaltidsforsinkelse på to minutter.

$\Delta T = 4\text{ °C}$	Tidspunkt	Trehytte	Multiplateskjerm
1/3 ΔT	01:19	4 min	1 min
1/2 ΔT	01:30	12 min	1 min
2/3 ΔT	01:17	37 min	2 min

Tabell 4.19 og figur 4.41 viser at trehytten har en større tidsforsinkelse enn multiplateskjermen for denne temperaturendringen. Trehytten har ved halvparten av temperaturendringen en tidsforsinkelse på 12 minutter.

Et annet tilfelle med raskt temperaturfall er vist i figur 4.42. Figuren viser et temperaturfall på 1,4 °C i løpet av 30 minutter. Temperaturfallet fant sted klokken 15:06 den 20. februar.



Figur 4.42: Raskt temperaturfall klokken 15:06 den 20. februar. I referanseskjermen ble det registrert en temperaturendring på 1,4 °C på 30 minutter.

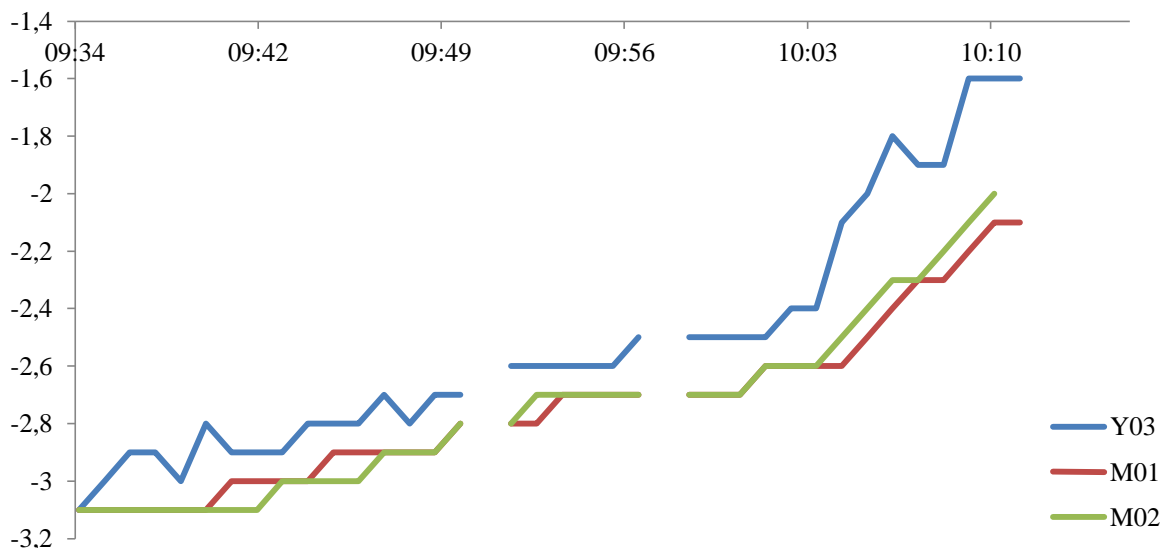
Figur 4.42 viser en lignende kurve som figur 4.41. Ved hjelp av globalstrålingen ble dagen klassifisert som en overskyet dag. Vindhastighetene varierte fra 3,9 til 5,6 m/s. Klokken 15 ble vindhastigheten målt til 4,8 m/s. Den ventilerte Young skjermen og multiplateskjermen fra MET reagerer tilsynelatende like raskt, mens trehytten reagerer langsommere. Tidsforsinkelsene er gitt i tabell 4.20.

Tabell 4.20: Tidsforsinkelse for trehytten og multiplateskjermen fra MET for raskt temperaturfall 20. februar. Trehytten reagerer tregere enn referanseskjermen og er på det meste 15 min tregere.

$\Delta T = 1,4 \text{ } ^\circ\text{C}$	Tidspunkt	Trehytte	Multiplateskjerm
$1/3 \Delta T$	15:10	4 min	-1 min
$1/2 \Delta T$	15:14	5 min	-1 min
$2/3 \Delta T$	15:23	15 min	0 min

Trehytten reagerer tregere enn referanseskjermen og multiplateskjermen, og er ved 2/3 av temperaturen 15 minutter langsommere. Multiplateskjermen begynte ikke temperaturfallet ved samme verdi som de to andre skjermene, men reaksjonen til skjermen ser ut til å være like rask som referanseskjermen.

De to neste tilfellene viser raske temperaturøkninger den 5. januar. I tilfellet vist i figur 4.43 steg temperaturen med 1,5 °C på 38 minutter.



Figur 4.43: Rask temperaturstigning klokken 09:50 den 5. januar. I referanseskjermen ble det registrert en temperaturstigning på 1,5 °C i løpet av 38 minutter.

Temperaturstigningen begynte klokken 09:50. Trehytten og multiplateskjermen reagerer likt i begynnelsen, men trehytten reagerer noe tregere enn multiplateskjermen når de raskeste endringene begynner. Begge skjermene reagerer noe tregere enn referanseskjermen.

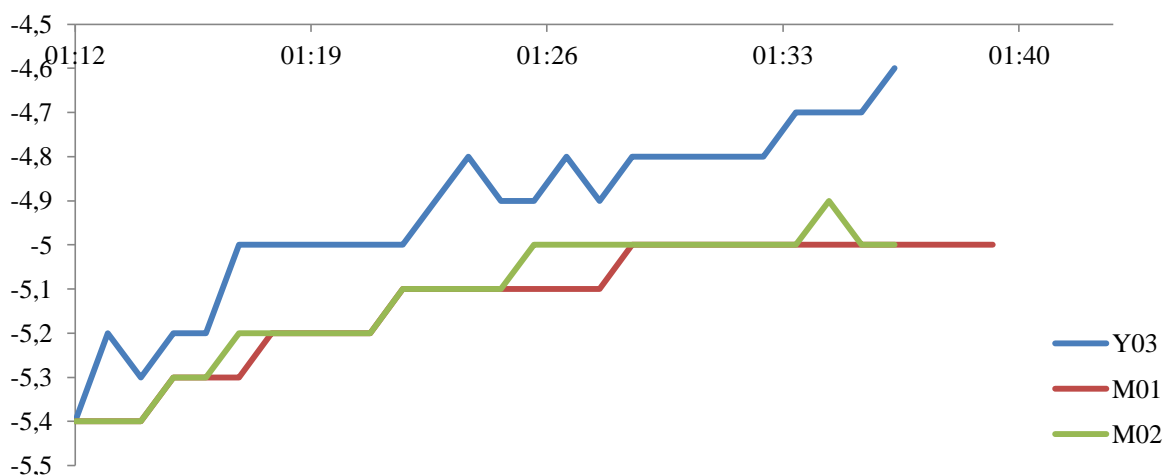
Dagen ble klassifisert som en skyfri dag. Det var rolige forhold denne dagen og vindhastigheten varierte fra 0,8 til 2,6 m/s. Klokken 10 ble vindhastigheten målt til 1,4 m/s. Tidsforsinkelsene er vist i tabell 4.21.

Tabell 4.21: Tidsforsinkelse for rask temperaturøkning klokken 01:12 den 5. januar. Trehytten og multiplateskjermen reagerer nesten likt. Ved halv temperaturendring er trehytten seks minutter forsinket og multiplateskjermen er fem minutter forsinket.

$\Delta T = 1,5 \text{ }^\circ\text{C}$	Tidspunkt	Trehytte	Multiplateskjerm
1/3 ΔT	09:52	10 min	10 min
1/2 ΔT	10:05	6 min	5 min
2/3 ΔT	10:10	42 min	28 min

Trehytten og multiplateskjermen har nesten lik tidsforsinkelse ved de to første temperaturdifferansene. Når halve temperaturendringen er nådd er trehytten seks minutter forsinket og multiplateskjermen er fem minutter forsinket.

Figur 4.44 viser en rask temperaturstigning tidligere samme dag. Temperaturstigningen begynte klokken 01:12 og det ble i referanseskjermen registrert en temperaturendring på 0,8 °C på 12 minutter.



Figur 4.44: Rask temperaturstigning klokken 01:12 den 5. januar. I referanseskjermen ble det registrert en temperaturøkning på 0,8 °C i løpet av 12 minutter.

Figuren viser at multiplateskjermen og trehytten fra MET reagerer flere minutter tregere enn referansen. Trehytten er så mye forsinket at toppen hvor den når $-4,9\text{ °C}$ ($2/3 \Delta T$) ikke er vist i grafen. Tidsforsinkelsene er gitt i tabell 4.22.

Både 5. januar og 4. januar ble klassifisert som skyfrie dager og det er sannsynlig at det også var skyfritt i tidspunktet for temperaturstigningen. Klokken 01 ble vindhastigheten målt til 1,7 m/s.

Tabell 4.22: Tidsforsinkelse for temperaturstigningen klokken 01:12 den 5. januar. Forsinkelsen til begge skjermene øker med tiden. Ved $2/3$ av temperaturendringen er multiplateskjermen 12 minutter tregere enn referansen og trehytten er 29 minutter tregere enn referansen.

$\Delta T = 0,8\text{ °C}$	Tidspunkt	Trehytte	Multiplateskjerm
$1/3 \Delta T$	01:13	5 min	4 min
$1/2 \Delta T$	01:17	12 min	9 min
$2/3 \Delta T$	01:23	29 min	12 min

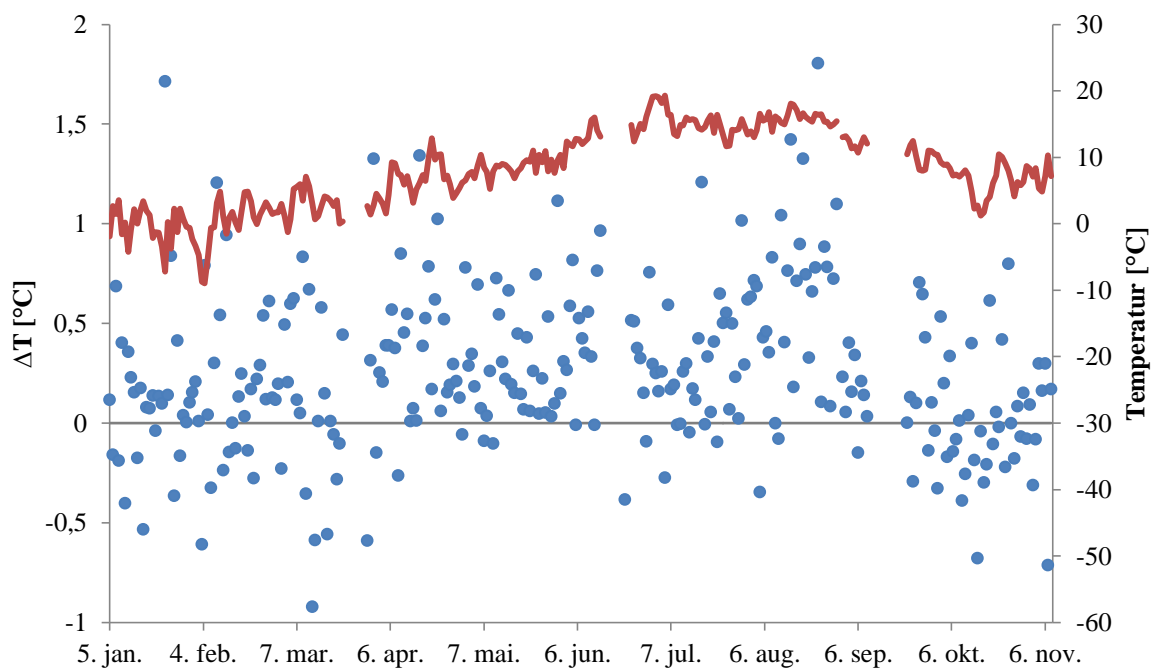
Trehytten er i dette tilfellet mye tregere enn referansen. Ved halve temperaturendringen er trehytten 12 minutter tregere enn referansen, mens multiplateskjermen er 9 minutter forsinket. Trehytten når $2/3$ av temperaturendringen 29 minutter senere enn referanseskjermen, multiplateskjermen er 12 minutter senere.

Både ved temperaturstigning og temperaturfall viser trehytten store forsinkelser. For temperaturfallet 16. april er trehytten 37 minutter forsinket ved $2/3$ av temperaturendringen. For det andre tilfellet av raskt temperaturfall er trehytten 15 minutter forsinket ved $2/3$ av temperaturendringen. For temperaturøkningen er trehytten 42 og 29 minutter forsinket.

4.10 Köppen og døgnmiddel

Ved skifte fra manuelt til automatisk måleutstyr endres både utstyret og metoden for å beregne døgnmiddeltemperaturen. Begge disse endringene kan medføre skift i temperaturserien. I dette delkapittelet vil det undersøkes om Köppens formel og gjennomsnittet beregner forskjellig døgnmiddeltemperatur. Døgnmiddel ble beregnet med begge metodene for trehytten og multiplateskjermen fra MET. Disse skjermene ble valgt fordi disse har de lengste temperaturseriene i forsøket.

Figur 4.45 viser døgnmiddel for trehytten og avvik for døgnmiddel og Köppen i perioden 5. januar til 8. november. Bruddene i linjene skyldes manglende data. Den røde linjen representerer døgnmiddel beregnet med gjennomsnitt og de blå punktene er avvikene i døgnmiddel beregnet med gjennomsnitt og med Köppens formel.

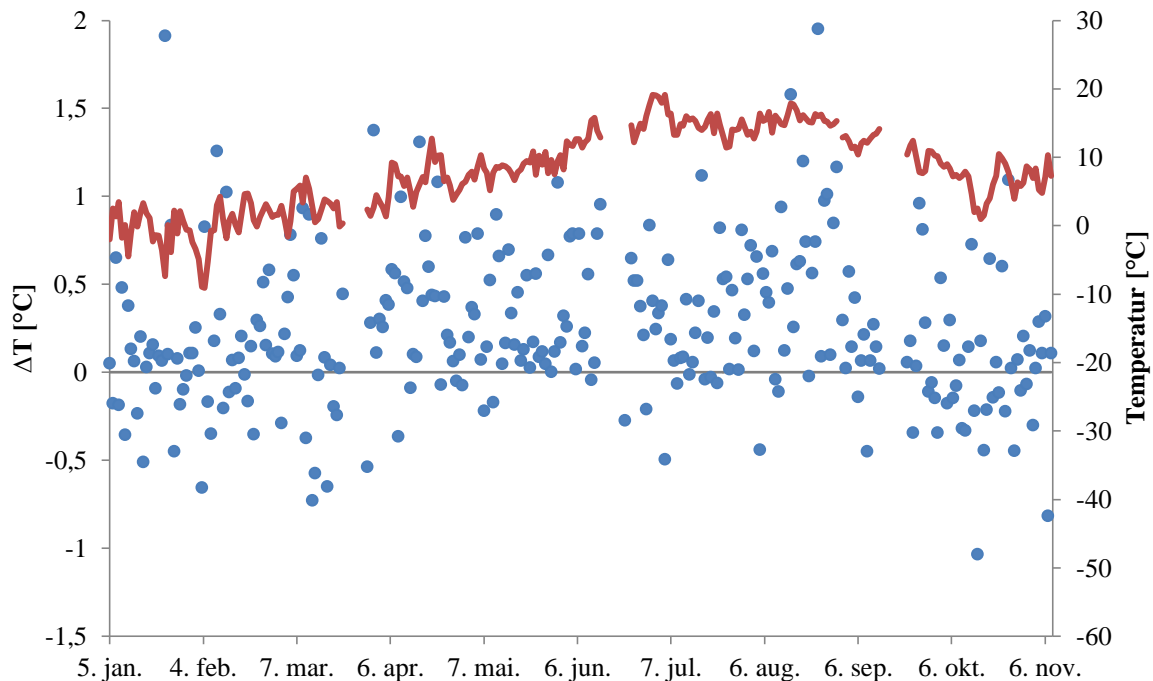


Figur 4.45: Døgnmiddel beregnet med gjennomsnitt for perioden 5. januar til 8. november. For å beregne døgnmidlene er det brukt temperaturdata fra trehytten fra MET. Avvikene av døgnmiddel beregnet ved gjennomsnitt og Köppens formel. Den største positive forskjellen er 1,8 °C og den største negative forskjellen er -0,9 °C.

Fra figur 4.45 ser det ut som at gjennomsnittet beregner noe høyere døgnmiddel enn Köppens formel. Avvikene mellom døgnmiddel beregnet med gjennomsnitt og Köppens formel er vist i figur 4.51.

Fordelingen av avvikene er tydelig med flest positive verdier. Det er 212 differanser med verdi større enn null og 68 differanser med verdi mindre enn null. Den største positive differansen er 1,8 °C, den største negative differansen er -0,9 °C.

Døgnverdier beregnet med temperaturer fra multiplateskjermen er vist i figur 4.52. Brudene i linjene skyldes manglende data. Dataperioden brukt er 5. januar til 8. november. Den røde linjen er døgnmiddel beregnet med gjennomsnitt mens de bla punktene av avviket i døgnmiddelet beregnet ved gjennomsnitt og Köppens formel.



Figur 4.46: Døgnmiddel beregnet med gjennomsnitt for perioden 5. januar til 8. november. For å beregne midlene er det brukt temperaturdata fra multiplateskjermen fra MET. Avvikene i døgnmiddeltemperaturen er beregnet fra gjennomsnitt og Köppens formel. Det største positive avviket er 1,9 °C og det største negative avviket er -1,0 °C.

Avvikene for multiplateskjermen for perioden 5. januar til 8. november er fordelt med flest positive verdier. 212 av avvikene har verdier større enn null, mens 72 av avvikene har verdier lavere enn null. Det største positive avviket er 1,9 °C og det største negative avviket er -1,0 °C.

Tabell 4.23 viser gjennomsnitt og standardavvik for avviket i døgntemperaturen beregnet med gjennomsnitt og med Köppens formel. Gjennomsnittet sammen med grafene viser at Köppens formel beregner høyere døgntemperatur enn temperaturene beregnet med gjennomsnittet.

Tabell 4.23: Gjennomsnitt og standardavvik for avvikene for døgnmiddel beregnet med gjennomsnitt og med Köppens formel.

	Gjennomsnitt av ΔT [°C]	Standardavviket til ΔT [°C]
Trehytte	0,25	0,41
Multiplateskjerm	0,24	0,44

5 Diskusjon

I dette delkapittelet vil resultatene diskuteres.

I siste fase av oppgaven ble det oppdaget at timestemperaturene blir beregnet som et middel av temperaturene i det siste minuttet av timen, og ikke som et middel av temperaturen hvert minutt som ble antatt under beregninger med timestemperaturene. Dette medfører at døgnmiddel beregnet fra minutttemperaturer og timestemperaturer kan gi forskjellige verdier på grunn av forskjellig beregning av timestemperatur. Avvik som forekommer i døgnmiddel hvor en skjerm har minutttemperaturer og en annen har timestemperaturer vil kunne skyldes faktiske temperaturforskjeller i skjermene eller forskjeller i beregning av døgnmiddelet. For sammenligninger av de to skjermene fra MET medfører ikke dette noen problemer da disse alltid har den samme datafrekvensen. Det er heller ikke noe problem ved sammenligninger mellom de fire andre skjermene da disse har den samme datafrekvensen. For data før 22. september er MET skjermene en datafrekvens på minutt mens de andre skjermene har en frekvens på time.

Ved skifte av målefrekvens på en stasjon vil forskjellen i timestemperatur hovedsakelig påvirke temperaturberegninger over korte perioder. For temperaturberegningene som brukes i klimaanvendelser beregnes det temperaturer for lengre perioder og da vil feilene jevne seg ut og ikke påvirke de lange temperaturtrendene.

5.1 Skjermssammenligning

I første del av resultatene ble de forskjellige strålingsskjermene sammenlignet. Som forventet har trehytten store avvik fra referansen. Studien til Brandsma og Meulen (2008) viser at temperaturhytten viser høyere temperatur enn multiplateskjermen både om natten og om dagen, noe som ikke er tilfellet i dette forsøket. Sammenlignet med multiplateskjermen fra MET har trehytten høyere døgnmiddel, høyere dagsminimum og lavere dagsmaksimum. At trehytten ikke har like høyt dagsmaksimum kan skyldes den lange responstiden.

Sammenligningen av skjermene viser at multiplateskjermen har stor variasjon i størrelsen på avvikene når den sammenlignes med referanseskjermen. Fra standardavvikene i tabell 4.6 vises det at selv om multiplateskjermen har gjennomsnitt av avvikene på $<0,01$ °C, har multiplateskjermen det nest høyeste standardavviket med $0,12$ °C. Det vises i figur 4.9 at punktene til multiplateskjermen er spredt over hele grafen, med avvik både større og mindre enn null. Sammenlignet med de andre skjermene har kun trehytten større standardavvik enn multiplateskjermen med $0,13$ °C. Av de andre skjermene er det Young stor som har det største standardavviket med $0,08$ °C. Sammenligningen av MET skjermene med de andre skjermene blir i dette tilfellet usikker på grunn av forskjellige timesberegninger, men multiplateskjermen har tydelig spredte avvik også sammenlignet med trehytten.

De to naturlig ventilerte skjermene fra Young oppfører seg likt når de sammenlignes med referanseskjermen. Den lille skjermen fra Young har et gjennomsnittlig avvik på $-0,09$ og den store skjermen fra Young har et gjennomsnitt på $-0,07$. Standardavviket til den lille skjermen er $0,07$ og den store skjermen fra Young har et standardavvik på $0,08$.

Davisstasjonen har et av de laveste gjennomsnittlige avvikene av alle skjermene med en verdi på $0,01$ °C, men har det største standardavviket på $0,14$ °C. Oppførselen til skjermen ser ut til å være ganske lik multiplateskjermen fra MET.

5.2 Stråling, vind og snø

I kapittel 4.7 ble trehytten og multiplateskjermen sammenlignet med den ventilerte Young skjermen for å se hvordan forskjellige strålingsforhold påvirker temperaturoppfatningen. Fra sammenligningene mellom referansen og multiplateskjermen og referansen og trehytten ser det ut til å være en forskjell på overskyede dager og dager med litt eller mye sol. For dager som er overskyet er spredningen i avvikene mye mindre enn for dager med delvis eller full sol. Tabell 4.12 og 4.13 viser at standardavvikene for de overskyede dagene varierer fra $0,06$ °C til $0,09$ °C, mens for dager med sol varierer standardavvikene fra $0,05$ °C til $0,19$ °C. For sammenligning mellom skjermene fra MET ser man de samme tendensene, mens for sammenligningen av de to kunstig ventilerte skjermene er standardavvikene ganske like for alle skytilfellene. Dette tyder på at de kunstig ventilerte skjermene måler ganske likt uavhengig om det er mye eller lite solstråling, mens de naturlig ventilerte skjermene påvirkes av strålingsforholdene.

Påvirkningen av vind ble også undersøkt i kapittel 4.7. For de naturlig ventilerte skjermene er det en sammenheng mellom vindstyrken og størrelsen på avvikene. Trehytten fra MET har den største forskjellen i gjennomsnittlig avvik for de forskjellige vindhastighetene. Ved en vindhastighet på 0 til $0,49$ m/s er gjennomsnittlig avvik på $-0,18$ °C. For vindhastigheter mellom 1 og 5 m/s er gjennomsnittet $-0,03$ °C. Dette betyr at avvikene for referanseskjermen og trehytten blir mindre etterhvert som vindhastigheten øker og luftgjennomstrømningen i skjermen blir bedre. Spredningen i avvikene holder seg relativt konstant med $0,14$ °C ved vindhastigheter på 0 til $0,49$ m/s, $0,10$ °C ved vindhastigheter fra $0,5$ til $0,99$ m/s og $0,13$ °C ved vindhastigheter på 1 til 5 m/s.

For multiplateskjermen fra MET er ikke påvirkningen like tydelig fra gjennomsnittet. Gjennomsnittlig avvik er tilnærmet det samme i alle tilfellene med en variasjon fra $-0,01$ °C til $0,01$ °C. Standardavvikene til avvikene endrer seg derimot med endret vindhastighet, noe som også er synlig i figur 4.30. Standardavviket for vindhastigheter fra 0 til $0,49$ m/s er $0,15$ °C, mens standardavviket for de to andre vindintervallene er $0,09$ °C.

De to kunstig ventilerte skjermene ble også sammenlignet og undersøkt for vindpåvirkning. Fra figur 4.34 ser det ikke ut til å være noen klar effekt av vindhastighet på størrelsen på avvikene. Gjennomsnittlig avvik er tilnærmet konstant for alle vindkategoriene med ett snitt

på 0,07 °C ved vindhastigheter på 0 til 0,49 m/s og 1 til 5 m/s, og et snitt på 0,06 °C ved en vindhastighet på 0,5 til 0,99 m/s. Standardavvikene øker med økende vindhastighet og varierer fra 0,04 °C til 0,07 °C.

Resultatene fra vindsammenligningen gir et klart bilde av de naturlig ventilerte skjermene påvirkes av vindforholdene. Gjennomsnittet av avvikene for Young ventilert og trehytten fra MET er negative, noe som betyr at trehytten varmes opp mer enn referanseskjermen. At avvikene er mest negative ved lave vindhastigheter betyr at trehytten varmes opp mer ved lave vindhastigheter.

Fra figur 4.39 og 4.40 ser det ikke ut til å være noen klar forskjell på temperaturoppfatningen til skjermene ved bar bakke og snødekt bakke. Fra grafen med fordelingen av avvikene kan det se ut som snødagene har avvik som er skiftet mer mot den negative siden av grafen. Dette skiftet kan skyldes andre forhold i den valgte femdagers-perioden. For sammenligningen av snøforhold er det kun brukt ti dager med snø, og ti dager uten snø. Dette medfører at enkelt dager vil ha stor innvirkning på de beregnede verdiene og utseende til grafene.

Forsøket gjennomført i Oslo i 2002 (Mjelstad & Nordli, 2002) viste at dager med snødekke hadde større temperaturforskjeller på skjermene enn dager uten snødekke. Av de undersøkte skjermene var multiplateskjermen og trehytten fra MET mest påvirket. I denne oppgaven ble det kun undersøkt ti dager med snø og ti dager uten snø, og en sammenligning av lengre perioder med og uten snø vil gi tydeligere indikasjoner på hvordan de sensorene påvirkes av snødekke.

5.3 Responstid

Responstiden for de to skjermene fra MET ble beregnet ved å finne tidspunkt hvor skjermene har målt raske temperaturendringer. Fra temperaturendringene ble det undersøkt om noen av skjermene brukte lengre tid enn referansen på å nå en gitt temperaturredifferanse. Fordi skjermene befant seg på Søråsfeltet og dermed ikke var i kontrollerte omgivelser vil ikke alle skjermene nå den samme sluttemperaturen. Det vil også være variasjoner i temperaturen underveis i endringene fordi temperaturen rundt skjermen variere under undersøkelsen. Undersøkelsen vil allikevel gi en indikasjon på hvilke skjermene som reagerer treger enn de andre.

I alle tilfellene har trehytten den lengste responstiden. I det tilfellet med lengst responstid for trehytten var responstiden på 42 minutter ved 2/3 av temperaturredifferansen. Dette kan skyldes at trehytten har et stort indre volum i forhold til de andre skjermene. I to av tilfellene var multiplateskjermen betydelig tregere enn referanseskjermen, med 28 og 12 minutters forsinkelse. I de to andre tilfellene som ble undersøkt var responstiden ved 2/3 av temperaturredifferansen 2 og 0 minutter. I tilfellene hvor multiplateskjermen hadde lange responstider ble vindhastigheten målt til 1,4 og 1,7 m/s i tidspunktet hvor temperaturendringen skjedde. I de to andre tilfellene ble vindhastighetene målt til 2,6 og

4,8 m/s. Dette tyder på at responstiden til skjermen avhenger av vindforholdene. Meulen og Brandsma (2008) gjorde under sitt forsøk beregninger av responstiden. Her ble det funnet at trehyttene reagerte opptil 8 minutter treger enn referanseskjermen og at responstiden til de naturlig ventilerte skjermene avhenger av vindhastigheten. Denne oppgaven og forsøket til Meulen og Brandsma kommer begge frem til at trehytter har den lengste responstiden. Størrelsen på responstiden varierer mye mellom forsøkene. Trehyttene brukt i forsøket til Meulen og Brandsma har et noe annerledes design enn trehytten undersøkt i denne oppgaven. Designforskjellene kan ha innvirkning på hvordan luften strømmer gjennom skjermen og gi forskjellige responstider.

5.4 Köppen

Sammenligningen av døgnverdier beregnet med gjennomsnitt og Köppens formel viser at Köppen beregner høyere døgnverdier enn gjennomsnittet. Med et gjennomsnittlig avvik på 0,25 °C og fra avvikene i figur 4.45 er det tydelig at de fleste avvikene er større enn null. Det største positive avviket mellom de to metodene er 1,9 °C og det største negative avviket er -1,0 °C.

Köppen brukes i klimasammenheng til å beregne temperatur for normalperioder. Når temperaturen beregnes over 30 år vil forskjellene funnet her ikke ha betydning for de beregnede normalene og det er ikke nødvendig med korrigering av dataene. For sammenligninger for korte tidsperioder vil forskjellene i beregnet temperatur være signifikante og korrigeringer burde gjennomføres.

5.5 Andre faktorer

De forskjellige skjermene har forskjellige behov for vedlikehold. De kunstig ventilerte skjermene har et større vedlikeholdsbehov enn de naturlig ventilerte skjermene. For skjermen fra Apogee er det oppgitt av leverandøren at termistoren anbefales rengjort hver tredje måned. For de andre skjermene er det spesifisert at skjermene skal rengjøres ved behov. Young ventilert ble demontert og rengjort i mai. Hvorvidt rengjøringen påvirket temperaturoppfatningen har ikke blitt undersøkt i denne oppgaven.

Undersøkelser av hvorvidt rengjøring og overholdelse av det oppgitte vedlikeholdsbehovet til skjermene har innvirkning på den målte temperaturen vil kunne gi svar på hvor ofte skjermene må vedlikeholdes. Dette er spesielt interessant for automatiske stasjoner som har sjeldent tilsyn.

Høyden temperatursensoren er montert i varierer mellom de forskjellige skjermene på grunn monteringen av skjermene. Monteringshøyden for temperatursensoren varierer fra 1,8 meter i Young ventilert til 2,02 meter i den store skjermen fra Young. Forskjellig høyde på sensoren

kan bety at det registreres forskjellige temperaturer på grunn av den vertikale temperaturgradienten. I dette forsøket var den største forskjellen i sensorhøyde på 22 cm. WMO anbefaler at sensorene monteres i en høyde mellom 1,2 og 2 meter. Dette for å minimere effekten av temperaturgradienten og stråling fra bakken. Det er derfor vurdert at forskjellen i sensorhøyde ikke vil ha innvirkning på de målte temperaturene i dette forsøket.

Et annet spørsmål er hvorvidt ventilasjonen i de kunstig ventilerte skjermene kan forstyrre lavere luftlag og gi et uriktig bilde av temperaturen. Hvorvidt dette er tilfelle ble ikke undersøkt i denne oppgaven, men studier gjort av Meulen og Brandsma (2008) indikerte at en forstyrrelse av luftlagene kan være tilfelle. Videre undersøkelser av de kunstig ventilerte skjermene er nødvendig for å kunne bestemme om forstyrrelsene skjer.

6 Konklusjon og anbefalinger

Ved overgang fra trehytter til multiplateskjermer fra MET er det nødvendig å homogenisere dataene på grunn av store forskjeller i dataene. Selv om trehytten fra MET viser store avvik fra referanseskjermen er den en viktig del av meteorologiske målinger. Dette fordi trehytten befinner seg på mange forskjellige målestasjoner og det finnes ofte lange måleserier. Dette gir sammenlignbare dataserier.

Multiplateskjermen fra MET viser stor spredning i avvikene sammenlignet med referansen. På grunn av forskjellig datafrekvens er det vanskelig å bestemme om denne forskjellen skyldes forskjellig frekvens eller forskjellig temperatur. Det anbefales derfor å gjøre en lengre sammenligning av skjermene hvor alle har samme datafrekvens for å bestemme grunnen til den store variasjonen. En lenger sammenligning vil også gi muligheten til å se et eventuelt mønster i variasjonene.

Sammenligningen av alle skjermene viser at av de naturlig ventilerte skjermene er det de to multiplateskjermene fra Young som oppfører seg mest likt som referansen. For å få et fullstendig bilde av hvilke skjermer som er best under forskjellige forhold anbefales det at det gjennomføres et forsøk som inneholder data fra et helt år slik at data fra alle årstidene vurderes.

Davisstasjonen viser lignende avvik fra referansen som multiplateskjermen fra MET. For videre sammenligning av Davisstasjonen kunne det vært interessant å sammenligne de andre parameterne som Davisstasjonen måler med standard meteorologiske måleinstrumenter. Dette vil gi et bilde på hvor nøyaktig stasjonen er.

Vind er en faktor som tydelig påvirker de naturlig ventilerte skjermene. Spesielt ved raske temperaturendringer og lave vindhastigheter vil forskjellen i de registrerte temperaturene bli stor. I områder med hvor vindhastighetene ofte er lave, og spesielt under 1 m/s, må det vurderes å sette opp en kunstig ventilert skjerm for å sikre gode temperaturmålinger ved alle vindhastigheter.

Undersøkelsen av responstid ble begrenset til de to skjermene fra MET og Young ventilert fordi disse skjermene er de eneste med minuttdata i forsøket. For videre undersøkelse av responstiden ville det vært interessant å gjøre forsøk under kontrollerte forhold hvor temperaturen og vinden kan kontrolleres. I et slikt forsøk kunne det vært nyttig å inkludere den lille Young skjermen for å se hvordan en multiplateskjerm med lite indre volum oppfører seg og om responstiden skiller seg fra de andre skjermene.

Bibliografi

Aguado, E. & Burt, J. E., 2013. *Understanding weather and climate*. Sixth edition red. USA: Pearson Education Inc..

Apogee Instruments, 2014. *Owner's manual: Fan-aspirated radiation shield Model TS-100*, Logan, Utah: Apogee Instruments.

Brandsma, T. & Meulen, J. P. v. d., 2008. Thermometer screen intercomparison in De Bilt (the Netherlands) – Part II: Description and modeling of mean temperature differences and extremes. *International Journal of Climatology*, pp. 389-400.

Campbell Scientific, 2013. *Solar Radiation Shields: For Temperature and Temperature/Relative Humidity Sensors*, s.l.: Campbell Scientific.

Cengel, Y. A. & Ghajar, A. J., 2011. *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications*. Fourth Edition red. New York: McGraw-Hill.

Davis Instruments, 2015. *Wireless Vantage Pro2 & Vantage Pro2 Plus Stations*. [Internett] Available at: http://davisnet.com/product_documents/weather/spec_sheets/6152_62_53_63_SS.pdf [Funnet 1 Desember 2015].

de Haij, M., Bijma, J. & Proksch, N., 2014. *(TOO) HOT OR NOT? FIELD EXPERIMENT WITH THE KNMI THERMOMETER SCREEN*, De Bilt: KNMI.

Gjelten, H. M., 2011. *Homogenitetstesting og analyse av temperaturserien på Ås, Ås*: s.n.

Kartverket.no, 2015a. *Norgeskart.no*. [Internett] Available at: <http://norgeskart.no/#14/262352/6621205/-land/+flybilder> [Funnet 21 November 2015].

Kartverket.no, 2015b. *Norgeskart.no*. [Internett] Available at: <http://norgeskart.no/#13/262381/6621482/-land/+flybilder> [Funnet 2 Desember 2015].

Lacombe, M., Bousri, D., Leroy, M. & Mezred, M., 2011. *Wmo field intercomparison of thermometer screens/shields and humidity measuring instruments*, Algerie: World Meteorological Organization.

Meteorologisk Institutt, 2015a. *Klimaet i Norge*. [Internett] Available at: http://met.no/Klima/Natidsklima/Klima_i_Norge/ [Funnet 8 Oktober 2015].

Meteorologisk Institutt, 2015b. *Meteorologisk Institutt*. [Internett]
Available at: http://met.no/Om_oss/Om_Meteorologisk_institutt/
[Funnet 4 September 2015].

Meteorologisk Institutt, 2015c. *Eklima*. [Internett]
Available at: eklima.met.no
[Funnet 27 Oktober 2015].

Meteorologisk Institutt, 2015d. *Klimastatistikk*. [Internett]
Available at: <http://met.no/Klimastatistikk.9UFRHG5o.ips>
[Funnet 13 November 2015].

Meteorologisk Institutt, 2015e. *Værstasjoner i norske kommuner*. Oslo: Meteorologisk Institutt.

Meulen, J. P. v. d. & Brandsma, T., 2008. Thermometer screen intercomparison in De Bilt (The Netherlands), Part I: Understanding the weather-dependent temperature differences. *International Journal of Climatology*, pp. 371-387.

Mjelstad, H. & Nordli, P. Ø., 2002. *Comparison of radiation screens at a test field in Oslo*, Oslo: Meteorologisk Institutt.

Nes, A. M. v., 2013. *Håndbok for koding av manuelt observerte værparametere som inngår i meldingstype 16*. s.l.:Meteorologisk Institutt.

NMBU, 2015. *Om FAGKLIM*. [Internett]
Available at:
<http://www.nmbu.no/om/fakulteter/miljotek/institutter/imt/laboratorier/fagklim/om-fagklim>
[Funnet 10 Oktober 2015].

Nordli, P. Ø. et al., 1997. THE EFFECT OF RADIATION SCREENS ON NORDIC TIME SERIES OF MEAN TEMPERATURE. *International Journal of Climatology*, Vol. 17, pp. 1667-1681.

Oliver, J. E. & Hidore, J. J., 2002. *Climatology: An atmospheric Science*. Second Edition red. New Jersey: Prentice Hall.

Ormestad, H., 2009. *Termometer*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/termometer>
[Funnet 2 Desember 2015].

Ormestad, H., 2015. *Fordamping*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/fordamping>
[Funnet 8 Desember 2015].

Paynter, R. T. & Boydell, B. J. T., 2009. *Electronics: Technology Fundamentals. Conventional flow version*. Third Edition red. New Jersey: Pearson Education.

Sonntag, R. E. & Borgnakke, C., 2007. *Introduction to Engineering Thermodynamics*. Second Edition red. Hoboken: John Wiley & Sons.

Store Norske Leksikon, 2009a. *Minimumstermometer*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/minimumstermometer>
[Funnet 5 November 2015].

Store Norske Leksikon, 2009b. *Maksimumstermometer*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/maksimumstermometer>
[Funnet 5 November 2015].

Store Norske Leksikon, 2011. *Akershus - Klima*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/Akershus%2Fklima>
[Funnet 1 Desember 2015].

Stryken, A. C., 2012. *Klimahistorie & Klimapolitikk*. Oslo: Dreyers Forlag.

Taylor, J. A., 1997. *An introduction to Error Analysis: The study of uncertainties in physical measurements*. Second Edition red. Sausalito: University science books.

Tipler, P. A. & Mosca, G., 2008. *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics*. New York: W. H. Freeman and Company.

WMO, 2008. *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*, Sveits: World Meteorological Organization.

Young, 2014. *INSTRUCTION SHEET 41003-90*, Michigan: Young.

Young, 2015. *Instructions: Compact Aspirated Radiation Shield Model 43502*, Traverse City, Michigan: Young.



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no