





## FORORD

---

Denne oppgaven markerer avslutningen på en fantastisk studietid på studiet Miljøfysikk og fornybar energi ved Norges miljø- og biovitenskaplige universitet (NMBU). Oppgaven har vært et samarbeid mellom Meteorologisk institutt (MET) og Institutt for matematiske realfag og teknologi (IMT).

Først og fremst vil jeg takke min hovedveileder Mareile Astrid Wolff for god veiledning og gode råd og synspunkter gjennom hele prosessen. Jeg ønsker også å takke medveileder Arne Auen Grimenes for et kritisk blikk på innholdet og gode råd til forbedringer. Jeg må også takke min medstudent og venninne Ada Viktoria Husmo Duaas for gode tilbakemeldinger på innhold og layout, samt hjelp med Excel og god motivasjon på veien til målet. Uten disse tre hadde ikke denne oppgaven vært mulig.

Jeg ønsker også å rette en takk til Tom Ringstad for montering av utstyr og logger til forsøkene i Ås, og til Signe Kroken for meteorologiske data fra Ås. Til slutt vil jeg takke familie og venner for motivasjon og tålmodighet i denne perioden.

Ås, 14. desember 2015

Marthe Wiik-Hansen Bjerkåsholmen



## SAMMENDRAG

---

Snø og snødybde er viktige klimafaktorer, særlig i nordiske land. Snødybde har tradisjonelt blitt målt manuelt en gang i døgnet ved hjelp av en målestav. Automatiske sensorer gjør det mulig å måle snødybde med en høyere målefrekvens på steder med vanskelig tilgjengelighet vinterstid. Meteorologisk institutt (MET) har to typer automatiske snødybdesensorer i sitt nettverk: ultralydsensoren Campbell SR50A og lasersensoren Lufft SHM 30. Beliggenheten til den automatiske snødybdemålingen må velges med ekstra forsiktighet ettersom en observatør ikke er tilstede og kan justere for inhomogeniteter i snødybden. Underlagene som benyttes varierer fra stasjon til stasjon og enkelte steder oppleves det problemer med vegetasjon som gror og gir falske snødybder i perioder uten snø. Kvaliteten til snødybde-dataene varierer ved ulike værforhold som kraftig nedbør og/eller snø som blåser og dette kan forstyrre den automatiske snødybdemålingen.

Hovedformålet med denne oppgave har vært å videre standardisere automatisk snødybdemåling i Norge og evaluere dagens oppsett og den generelle funksjonaliteten til sensorene i felt. Mulige underlag ble testet i to feltforsøk. Sensornøyaktighet i generelt feltoppsett ble karakterisert. Videre ble dataserier fra vinteren 2014-2015 ved 27 utvalgte MET-stasjoner analysert for å undersøke under hvilke forhold snødybdemålingene var ukorrekte og om det var vesentlige forskjeller i funksjonalitet på sensorene.

Fire ulike underlag ble testet på Blindern i Oslo vinteren 2013-2014 og i Ås i Akershus vinteren 2014-2015. Underlagene som ble testet var kryssfinerplate, Litex-Membranplate, glassfiberarmert plast (GRP-plate) og sand. I Ås ble kunstgress inkludert i forsøket. Basert på analyser av bilder tatt hver time (eller oftere) av alle underlagene ble det undersøkt hvordan snøen la seg og smeltet på underlagene og sammenlignet med omkringliggende gress. Fra undersøkelsen ser det ut til at GRP-platen vil være et godt valg av underlag, mens Litex-Membranplate og sand ikke er egnet.

Alle ukorrekte snødybdemålinger på de 27 MET-stasjonene ble klassifisert i tre kategorier. Analysene viste at noen stasjoner har flere ukorrekte målinger enn andre. I noen tilfeller er det en sammenheng mellom mye nedbør og/eller kraftig vind, men i mange tilfeller er snødybdemålingene korrekte under disse meteorologiske forholdene. Åsakene til hvorfor de ukorrekte målinger med ultralyd- og lasersensor inntreffer er ikke signifikante, og flere vintersesonger bør analyseres.

Det ble ikke påvist store forskjeller mellom SR50A og SHM 30 med hensyn til funksjonaliteten i felt. Baset på sensorenes måleområde, målenøyaktighet og mulighet til å også registrere snø/ikke snø med SHM 30 konkluderer denne oppgaven med at SHM 30-sensoren bør være den foretrukne sensoren til snødybdemåling i kombinasjon med en GRP-plate som underlag.



## ABSTRACT

---

Snow and snow depth are important climate factors, especially in Nordic countries. Snow depth has traditionally been measured manually once a day using a measuring stick. Automatic sensors allow for measurements with a higher frequency at locations with difficult access during winter. The Norwegian Meteorological Institute (MET) has two types of automated snow depth sensors in their network: the ultrasonic sensor Campbell SR50A and the laser sensor Lufft SHM 30. The site for automatic snow depth measurements has to be chosen with extra care, as no human observer is in place to adjust in case of inhomogeneity in snow depth. Ground surfaces vary from station to station and some locations experience problems with growing vegetation that can give false snow depths in periods without snow. The quality of snow depth data vary under different weather conditions, as heavy precipitation and/or blowing snow may interfere with the automatic snow depth measurement.

The main purpose of this thesis was to further standardize the automatic snow depth measurements in Norway and to evaluate the current configurations and the overall functionality of the sensors in the field. Possible ground surfaces where tested in two field studies. The sensor accuracy in typical field configurations was characterized. Further, data from the winter season 2014-2015 at 27 selected MET-stations were analyzed to examine under which conditions sensor measurements became erroneous and if there are major differences in the overall functionality of the sensors.

Four different surfaces were tested at a site in Blindern in Oslo during winter 2013-2014 and in Ås in Akershus during winter 2014-2015. The tested surfaces were plywood, Litex-membrane, glass fiber reinforced plastic (GRP) and sand. In Ås artificial turf was added to the experiment. Based on the analysis of hourly (or more often) photographs of all surfaces it was analyzed how snow lay and melted on the surfaces and how it compared to the surrounding grass. From the study, it appears that the GRP-plate will be a good choice of surface, while Litex-membrane plate and sand are not suitable.

All erroneous measurements detected in the data from the 27 MET-stations were classified into three categories. The analysis shows that some stations have more incorrect measurements than others. In some cases heavy precipitation and/or high wind could be connected to the occurrence of erroneous measurements, but in a lot of cases the sensors were also working correctly under these meteorological conditions. Why incorrect measurements by ultrasonic- and laser sensor occurs is not significant, and more winter seasons should be analyzed.

There could not be detected any major differences of the major functionality in the field between SR50A and SHM 30. Based on the sensor's measurement range, measurement accuracy and the ability to also record snow/no snow with SHM 30 this thesis concludes that the SHM 30 sensor should be the preferred sensor for measuring snow depth in combination with a GRP-plate as a ground surface.





# INNHALDSFORTEGNELSE

---

Forord .....	i
Sammendrag .....	iii
Abstract .....	v
1. Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn .....	1
1.2 Tidligere studier.....	2
1.3 Målsetning.....	3
2. Teori.....	5
2.1 Hvordan dannes snø? .....	5
2.2 Typer snø .....	6
2.3 Fysiske egenskaper ved snø .....	7
2.4 Snødekke .....	8
Økt snødybde korrelert med nedbør .....	9
Snødybde avtar for temperaturer under 0 °C.....	10
Vindeffekter og drifting .....	11
Snøsmelting .....	12
2.5 Målemetoder for snødybde .....	13
Manuell måling.....	13
Ultralydsensor .....	13
Lasersensor.....	14
Lidar .....	14
GPS mottaker.....	15
3. Metoder.....	17
3.1 Testfelt og klima .....	17
Blindern .....	17
Ås .....	19
3.2 Underlagene .....	21
Kunstgress .....	21
Glassfiberarmert plast (GRP).....	22
Litex-Membranplate.....	23
Kryssfiner .....	23
Sand .....	23

3.3	Underlagsforsøk .....	24
3.4	Campbell Scientific SR50A – ultralydsensor .....	25
3.5	Lufft SHM 30 – lasersensor.....	27
3.6	Vinkelberegning for SHM 30 .....	29
	Loddrett prosedyre.....	29
	Referanseobjekt metoden.....	30
	Avvik i faktisk og registrert snødybde ved feil vinkelverdi .....	31
3.7	Fargevariasjoner og signalstyrke til SHM 30 .....	31
3.8	Ujevnt underlag ved ultralydmåling med SR50A.....	32
3.9	Analyse av 27 MET-stasjoner med automatisk snødybdemåling.....	33
4.	Resultater .....	35
4.1	Underlag for automatisk snødybdemåling.....	35
	Blindern 9.-10. februar 2014 .....	35
	Blindern 13.-14. februar 2014 .....	36
	Ås 15. januar 2015.....	37
	Ås 17.-18. februar 2015 .....	38
	Ås 25.-30. mars 2015 .....	38
4.2	Verifisering av vinkelen til SHM 30-lasersensoren.....	40
4.3	Signalstyrken til SHM 30 ved ulike farger.....	42
4.4	SR50A-sensor og ujevnt snødekke .....	43
4.5	Sammenligning av dataserier i Asker .....	44
4.6	Utvalgte MET-stasjoner med automatisk snødybdemåling .....	47
	Vind og nedbør på Glomfjord-skihytta.....	52
	Endring av nullnivå ved Hemsedal II.....	54
	Sprang og frysverdier ved Iškoras II i januar 2015 .....	55
	Feilanalyse av Mannen i desember 2014 og januar 2015 .....	56
	Sprang og frysverdier på Røldalsfjellet i desember 2014 og januar 2015.....	58
5.	Diskusjon .....	61
5.1	Måleunderlag .....	61
5.2	Vinkelinstilling og høyde på SHM 30-sensor .....	63
5.3	Signalstyrke til SHM 30-sensoren.....	64
5.4	Ujevnt snødekke og effekten på registrert snødybde med SR50A .....	64
5.5	Valg av sensortype til automatisk snødybdemåling.....	65
5.6	Sammenligning av to sesonger ved Asker.....	66

5.7	Feilanalyse på utvalgte MET-stasjoner.....	67
6.	Konklusjoner.....	71
	Referanser .....	73
	Vedlegg.....	77



# 1. INNLEDNING

---

## 1.1 Bakgrunn

Mennesket har alltid vært fasinert av været og hvordan det påvirker hverdagen og livet på jorden. Ved å observere og måle parametere som blant annet temperatur, nedbør og vind kan man danne seg et bilde av været. Dersom man ser på snittverdier og endringer for værobservasjoner over flere år er det derimot klima man studerer (Aguardo & Burt, 2013).

Omtrent en tredjedel av nedbøren i Norge kommer i form av snø (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2009a). Snø er nedbør i fast form og har stor variasjon i størrelse, form og tetthet. Nøyaktige manuelle målinger av snødybde er vanskelig og selv med automatiske målinger er det vanskelig å finne gode metoder som gir tilfredstillende målinger.

Nøyaktige målinger over lang tid er viktig for å få utgangspunkt for klimamodeller og kunne verifisere modeller, samt forbedre de. Med ulikt måleutstyr, målefrekvens og beliggenhet kan man ikke være sikker på at trendene i måleseriene kun skyldes klimaendringer. En standard målemetode er derfor svært viktig for korrekte observasjoner som kan sammenlignes over tid og sted. Ved siden av parametere som temperatur, vind og trykk er snøobservasjoner en viktig faktor i klimamodeller. Snø har høy albedo, termisk ledningsevne som er opptil 20 ganger lavere enn for is og våt jord, og krever mye energi for å smelte (Armstrong & Brown, 2008). Antall dager i året hvor bakken er snødekt er også en viktig klimaindikator, og er blant de første regelmessige registrerte parametere knyttet til snødekke (Brown & Armstrong, 2008). Snødybdemålingene må derfor kunne registrere selv noen få cm med snø.

Kraftprodusenter og hydrologer ønsker nøyaktige målinger av snødybde for å vite hvor mye vann man kan vente seg i smelteperioden. Dette er viktig for magasinkapasitet og flomberedskap. Snødybder kan ikke alene si noe om vannmengdene som kommer når snøen smelter fordi snø har stor variasjon i tetthet. Hydrologer trenger derfor også målinger av snøens vannekvivalent (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2009a). I deler av Asia og Nord-Amerika er smeltevann fra fjellene et viktig bidrag til drikkevannsreservoarene. Estimer tyder på at over 1 milliard mennesker er avhengig av snøakkumulasjon for å sikre vannreservene (Armstrong & Brown, 2008). Snødybdemålinger er også viktig for varsling av skredfare og for trafikkbildet for å få oversikt over snømengdene på veiene i forhold til behovet for brøyting og stengning av veier (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2009a).

Været har blitt målt manuelt og visuelt i over 100 år på ulike meteorologiske stasjoner rundt om i landet, enkelte steder har målinger fra 1800-tallet (Meteorologisk institutt, 2015a). Snødybde har tradisjonelt blitt målt ved hjelp av en målestang som enten står permanent i bakken eller en løs stav som flyttes rundt på et 5 m x 5 m område for å måle snødybden flere steder og beregne et middel (Meteorologisk institutt, 2010). En rekke av målestasjonene er i

dag helt eller delvis automatisert, også snødybdemålingene. Her er måleren montert i en kjent, fast høyde over bakken og ved hjelp av ultralyd eller laser måles avstanden til snøoverflaten og snødybden kan beregnes (Meteorologisk institutt, 2010).

Automatiserte målinger fører til økt målefrekvens. I Norge gjøres manuell måling av snødybde vanligvis kun en gang per døgn, mens de automatiske målerne sender inn observasjonene en gang i timen. Enkelte stasjoner har også begynt å registrere hvert 10. minutt. Samtidig kan målerne plasseres på steder som er vanskelige å komme til for en observatør og snødybden kan måles på flere steder (Meteorologisk institutt, 2015b). Meteorologisk institutt (heretter kun omtalt som MET) har i dag 71 ultralydmålere av typen Campbell SR50/SR50A/SR50AH. De har også begynt å benytte laser til snødybdemåling. Den første lasersensoren var i drift 17. februar 2010 på Blindern testfelt i Oslo, og i dag har MET 20 stasjoner med Lufft SHM 30-sensor (produsert av Jenoptik) i drift (Meteorologisk institutt, 2015c).

En rekke automatiske sensorer benytter naturlig vegetasjon som underlag for målingene. Når vegetasjonen gror vil man få falske snødybder og uten daglig tilsyn har man valgt å skru av sensorene i sommerhalvåret. Et problem har da vært at man ikke får slått på sensoren før første snøfall kommer. For å unngå dette kan man legge en plate på bakken som måleunderlag og nullnivå. Underlaget må imidlertid ha tilsvarende termiske egenskaper og overflateruhet som gress.

## 1.2 Tidligere studier

Gjennom vinteren 2006-2007 testet meteorologisk institutt i Finland (FMI) fem ulike måleunderlag for snødybdemåling. Snødybden ble registrert manuelt og sammenlignet med målinger på naturlig gress. Resultatene viste at målingene på kunstgress samsvarte best med naturlig gress, mens underlaget laget av trevirke hadde størst avvik fra målingene på naturlig underlag (Personlig kommunikasjon med FMI, 2015).

I Tyskland har det vært vanlig å benytte hvitmalte kryssfinerplater som nullnivå ved snødybdemålinger gjort med ultralyd. Disse har imidlertid hatt noen ulemper, blant annet den korte levetiden og for liten overflateruhet slik at vind blåser snøen bort fra underlagene. Lanzinger og Theel (2010a) har derfor gjort tester med glassfiberarmert plast (GRP). GRP-platen hadde god overflateruhet slik at den første snøen la seg fint uten å blåse bort. De valgte en lys grå plate, og på denne måten oppnådde de en god kontrast mellom plate og første snø. (Lanzinger & Theel, 2010a).

Lanzinger og Theel (2010b) har også testet lasermåleren Jenoptik SHM 30 gjennom to vintersesonger fordi bruk av ultralydsensor ga høy usikkerhet, særlig ved snødybder under 2 cm. Ved å benytte signalstyrken til lasersensoren ble den første snøen registrert en time etter at det ble registrert nedbør som snø med en present weather sensor, mens lasersensoren

registrerte 1 cm snø først to timer etter dette. Ultralydsenoren registrert 1 cm snø først fem timer etter at det begynte å snø. Dette forsøket viste at lasermåleren fanger opp små snødybder raskere enn ultralydsenoren og at man ved hjelp av signalstyrken kan bestemme om det er snø på underlaget eller ikke. På bakgrunn av flere perioder med snøfall valgte Lanzinger og Theel en terskelverdi til signalstyrken på 3,5 for snø/ikke snø ettersom dette ikke var kalibrert inn på de første programvareversjonene av sensoren. I dag er grensen på signalstyrken satt til 6 satt som standard på sensoren for bestemmelse av snø/ikke snø på underlaget (Jenoptik, 2014). (Lanzinger & Theel, 2010b).

Fra januar til mai 2012 testet Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI) lasersensoren Jenoptik SHM 30 på syv ulike stasjoner for å undersøke om sensoren var en egnet kandidat til automatisk snødybdemåling. Forsøket viste tydelig at stasjonene som benyttet en plate som måleunderlag istedenfor gress hadde færrest data med for svakt signal og negative snødybder. (de Haij, 2012).

Ultralyd- og lasersensorer registrerer kun snødybde over et lite område, for lasersensoren kun i ett punkt. Over et større område kan imidlertid snødybden ha store variasjoner som følge av blant annet terrenget og vindforhold. I USA har bruk av GPS mottakere blitt testet for å kunne måle snødybde over et større område. En studie ble utført i Colorado 1728 moh., og benyttet en antenne som var rettet mot zenith. Snødybden ble beregnet fra signal-støy forholdet (signal to noise ratio (SNR)) og flerbane signalene. GPS målingene ble sammenlignet med tre Campbell Scientific SR50 ultralydsensorer plassert omtrent 100 meter syd for GPS antennen. Resultatene av studien viste at snødybdene basert på GPS signaler samsvarte godt med målingene fra ultralydsensorene og manuelle målinger under to snøstormer, en i mars og en i april. (Larson, et al., 2009).

Ved bruk av ultralydsensor må man vite lufttemperaturen for å kunne beregne riktig snødybde. Dette for å kompensere for at lydets hastighet varierer ved ulike temperaturer. Temperaturprofilen fører til en forskjell i lufttemperatur mellom overflaten og sensoren, men hvilken effekt det har på snødybdemålingene er usikkert. Det er derfor undersøkt hvor store avvik i snødybde som en ultralydsensor registrerer som følge av temperaturprofilen og lokasjonen til temperatursensoren (Morin, et al., 2014).

### 1.3 Målsetning

Hensikten med denne oppgaven har vært å studere fem ulike måleunderlag for å se hvilken som egner seg best som underlag til snødybdemåling i Norge. Bakgrunnen for dette var et ønske fra MET om å finne en best mulig standard for automatisk snødybdemåling. Underlagene som ble testet var kryssfiner, Litex-Membranplate, glassfiberarmert plast (glass fibre reinforced plastic, GRP), kunstgress og sand lagt rett på bakken. Underlagene måtte ha tilsvarende egenskaper som gress med hensyn på hvordan snøen la seg og smeltet på underlagene.

Videre var det også et ønske om å se på effektene av ujevnt snødekke ved snødybdemåling med ultralyd, og usikkerheten i kalibreringen av lasersensoren med tanke på vinkelen og høyden den blir montert. Data fra snødybdemålinger med laser og ultralyd fra noen av MET sine målestasjoner skulle også analyseres for å se hvor godt sensorene fungerer og ved hvilke forhold de ikke har tilfredstillende resultater. Her ble 27 stasjoner valgt ut, hvorav 13 stasjoner benyttet ultralydsensor og 14 målte snødybden med en lasersensor.

Hovedmålet til oppgaven har dermed vært å evaluere hvilket utstyr som bør benyttes ved installasjon av nye snødybdemålere; valg av underlag, type sensor og kalibrering av sensoren. Samt undersøke funksjonaliteten til 27 sensorer i felt.



## 2. TEORI

---

Dette kapitlet skal først ta for seg hvordan snø dannes, fysiske egenskaper og typer snø. Deretter følger en kort beskrivelse av noen metoder for snødybdemåling.

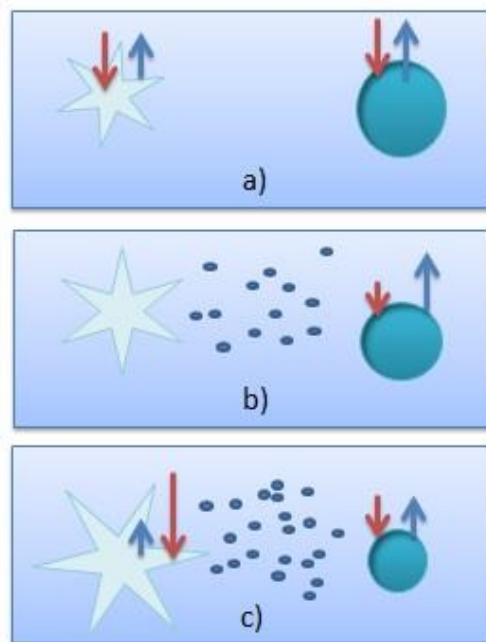
### 2.1 Hvordan dannes snø?

Teorien i dette delkapittet er hentet fra lærebøkene (Aguardo & Burt, 2013) og (Ahrens, 1998) dersom annet ikke er oppgitt.

Skyer består av veldig små vanndråper, diameter under 50  $\mu\text{m}$ , og har så lav terminalhastighet at de ikke når jordoverflaten, men holder seg svevende. Når dråpene vokser seg store nok vil de derimot falle som nedbør i form av regn eller snø avhengig av skytemperatur. Dersom temperaturen i hele skyen er under 0 °C klassifiseres den som kald. Hvis den nedre delen av en sky derimot har temperatur over 0 °C og øvre del er under 0 °C omtaler man skyen som kjølig.

Snø dannes i hovedsak som følge av Bergeronprosessen, som vist i Figur 2.1, i kalde eller kjølige skyer. Den røde pilen på krystallen er avsetning av vanndamp, den blå pilen er sublimasjonsraten. På vanndråpen er den røde pilen kondensasjonsraten og den blå er fordampningsraten. Skyene består av iskrystaller og superkjølige dråper. Selv under 0 °C vil andelen vanndråper være høyere enn andelen iskrystallene fordi de små dråpene fryser ved temperatur under 0 °C. Både vanndråpene og iskrystallene er i likevekt slik at antall H<sub>2</sub>O-molekyler som forlater overflaten og er lik antallet som kommer tilbake, men molekylerne kan lettere forlate vann enn is og derfor vil vanndråpen være omgitt av mer vanndamp enn iskrystallen. Metningsdamptrykket rundt vanndråpen er med andre ord høyere enn rundt iskrystallen. Derfor vil vanndamp i luften diffundere mot iskrystallen for å utjevne forskjellene. For å opprettholde likevekt vil fordampningsraten være større enn kondensasjonsraten og mengden vanndamp i luften øker. Vanndampen avsettes på iskrystallen og den vokser seg stadig større.

Når iskrystallene får stor nok masse vil de begynne å falle mot bakken. På vei nedover vil iskrystallene kolliderer med superkjølige dråper som fryser fast. Denne prosessen kalles riming og fører til en kjedereaksjon. Jo større iskrystallen blir, jo forttere faller de og jo flere dråper fryser fast. Dersom to iskrystaller fryser sammen kalles det aggregering og dette intreffer lettest når iskrystallene har et tynt lag vann utenpå som øker tiltrekningen mellom iskrystallene. Av denne grunnen vil aggregering være vanligst dersom skytemperaturen er nær 0 °C. Snø som dannes ved riming og aggregering vil ha de største snøflakene, mens snø fra kalde skyer vil normalt være minst.



**Figur 2.1: Bergeronprosessen; t.v. iskrystall som gradvis vokser, t.h. vanndråpe som blir mindre.**  
 a) Vanndråpen har høyere metningsdamptrykk og vanndamp diffunderer fra dråpen til iskrystallen.  
 b) For å opprettholde likevekt øker fordampningen fra dråpen og mengden vanndamp i luften øker.  
 c) Vanndamp avsettes på iskrystallen og den vokser. Skisse gjengitt fra (Aguardo & Burt, 2013).

## 2.2 Typer snø

Dersom iskrystaller ikke smelter før de treffer bakken klassifiseres nedbøren som snø. Snø kommer i mange ulike former og størrelser avhengig av blant annet temperatur under dannelsen og temperaturprofilen på vei nedover (Aguardo & Burt, 2013). Snø som nedbør kan bestå av både snøkrystaller og snøflak. Snøkrystaller dannes fra små iskrystaller ved at vanndamp fordamper fra gass til is og krystallen vokser. Gjennom aggregering av snøkrystaller dannes snøflak (Schemenauer, et al., 1981). Snø kan blant annet ha form som plater, sekskanter eller søyler, og varierer i størrelse fra rundt 50  $\mu\text{m}$  til 5 mm (Aguardo & Burt, 2013).

Kikuchi m.fl. (2013) har oppdatert klassifiseringen av snøkrystaller, iskrystaller og fast nedbør som Magono og Lee lagde i 1966. I den oppdaterte inndelingen er det åtte hovedkategorier, et mellomnivå med 39 kategorier og totalt 121 underkategorier. En oversikt over inndelingen er vist i Tabell A.1, med kode til hovedkategoriene og antall mellom- og underkategorier. Skisse av alle de 121 typene snø med tilhørende kode er vist i Figur A.1

I tillegg til til snø, is og fast nedbør har Fierz m.fl. (2009) en litt annen inndeling som klassifiserer snø på bakken basert på omdannelser i snødekket. Denne inndelingen er vist i Tabell A.2 med hovedtypene, kode og antall undergrupper.

## 2.3 Fysiske egenskaper ved snø

Energiutveksling mellom atmosfæren og overflaten er viktig i klimasystemet og snø har egenskaper som påvirker utvekslingen. Særlig viktig er snøens albedo, isolasjonsegenskapene og faseendringer (Armstrong & Brown, 2008). Snøkrystallenes størrelse og form, samt tettheten og vanninnholdet i snødekket er viktige faktorer for transport av varme og vann (Armstrong & Brown, 2008).

Evnen til å reflektere stråling varierer mye for type snødekke, men er generelt høy. For ny, tørr snø ligger albedoverdien mellom 0,80-0,95. Gammel snø har noe lavere albedo, mens våt snø kan ha en refleksjon ned mot 50 % (Armstrong & Brown, 2008). Albedoverdien avtar ved økende kornstørrelse og dersom forholdet mellom direkte og diffus stråling øker. En skyet dag vil med andre ord gi en høyere albedo enn en skyfri dag (Jordan, et al., 2008). Snøens høye albedo fører til en positiv tilbakekobling med lufttemperaturen. Høyere temperatur fører til snøsmelting og tilbakegang i snødekket. Da vil albedoverdien avta, mer kortbølget solstråling absorberes og lufttemperaturen øker (Armstrong & Brown, 2008).

Termisk ledningsevne for snø varierer med blant annet tetthet, temperatur og strukturen til snøen. For is varierer termisk ledningsevne omvendt proporsjonalt med  $\sim 0,17 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$  og man antar at det er tilsvarende for snø (Langham, 1981). For nysnø ligger termisk ledningsevne rundt  $0,1 \text{ W}/(\text{mK})$ . Det gir god isolasjon for planter og organismer i bakken slik at de ikke fryser ihjel gjennom vinteren. Et snødekke vil føre til at lite varme og fuktighet transporteres til atmosfæren fra bakken under snøen (Armstrong & Brown, 2008). Snø har høy latent smeltevarme,  $334 \text{ kJ/kg}$  ved  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , som gjør at det kreves store mengder energi for å smelte snøen (Armstrong & Brown, 2008).

Ifølge Mellor (1977) skjer varmeoverføring i tørr snø ved konduksjon i nettverket av iskrystaller, konduksjon gjennom luftlommer i snødekket, konveksjon og stråling gjennom porer og vandampdiffusjon (Langham, 1981). Våt snø har ikke en temperaturgradient gjennom dekket slik som tørr snø, og det vil derfor i liten grad være varmeoverføring gjennom snødekket. Smelting vil i hovedsak skje i det øverste snølaget som følge av absorpsjon av stråling og konveksjon fra luften over (Langham, 1981).

Snøens vannekvivalent (SWE) er den vertikale dybden på vannlaget som dannes når snøen smelter (World Meteorological Organization, 2008). SWE er en viktig faktor i blant annet flomvarsling og forvaltning av vannreservoarer i tillegg til validering av klimamodeller (Brown & Armstrong, 2008). En vanlig metode å måle SWE er å benytte et rør som stikkes i snøen og ta ut en prøve. Denne veies eller smeltes for å finne vanninnholdet i prøven. SWE kan også måles automatisk med en snøpute. Dette er en sirkelformet pute på rundt  $3 \text{ m}^2$  som er fylt med vann og etanol, og er koblet til et vertikalt stigerør. Når snøen legger seg på puten vil væsken presses opp i røret og trykket av væskesøylen omgjøres til et mål på SWE (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2009b).

Akkumulert snø på bakken har stor variasjon i tetthet. Nysnø er typisk  $60\text{-}120\text{ kg/m}^3$  dersom den er tørr og faller i svak vind. Snø som faller i sterk vind pakkes mer og får en høyere tetthet, og snø i kombinasjon med regn kan ha tetthet over  $300\text{ kg/m}^3$  (Jordan, et al., 2008).

På grunn av den store variasjonen i størrelse og tetthet vil fast nedbør ha stor variasjon i fallhastighet. Ved hjelp av et Multi-Angle Snowflake Camera (MASC) kan nedbørspartikler fotograferes og fallhastigheten beregnes. Instrumentet har tre kameraer for å kunne ta bilde fra flere vinkler og kan registrere nedbørspartikler fra  $100\text{ }\mu\text{m}$  til noen centimeters størrelse. Ved hjelp av to lag med infrarøde nett kan fallhastigheten bestemmes ved å registrere tiden det tar mellom brytning av øverste og nederste lag (Garrett, et al., 2012).

## 2.4 Snødekke

Så snart snøkrystallene treffer bakken begynner de å omdannes og danner et snølag. Ulik snø danner snølag med ulike egenskaper og disse vil også endre seg med tid som følge av blant annet temperatur og trykk fra overliggende lag. Snødekket, som består av is, vann og luft, gjennomgår en rekke endringer som følge av forholdet mellom vann i alle sine tre faser og disse endringene kalles metamorfose (Jordan, et al., 2008). Snøens temperatur er ofte nær trippelpunktet for vann og dette fører til hyppig masseutveksling mellom de ulike fasene til  $\text{H}_2\text{O}$ .

Snø har stor variasjon i størrelse og form, og består av en stor del porer med luft. Disse kan være delvis fylt med vann dersom temperaturen er nær  $0\text{ }^\circ\text{C}$  (Fierz, et al., 2009). Snø som ligger på bakken er i kontinuerlig endring. På grunn av dette, og vindeffekter, vil snødekket bestå av en rekke ulike lag med forskjellige karakteristikk. Fierz et al. (2009) har definert ni ulike fysiske karakteristikk på snødekket og blant disse er kornstørrelse, tetthet, temperatur og innhold av vann i væskeform.

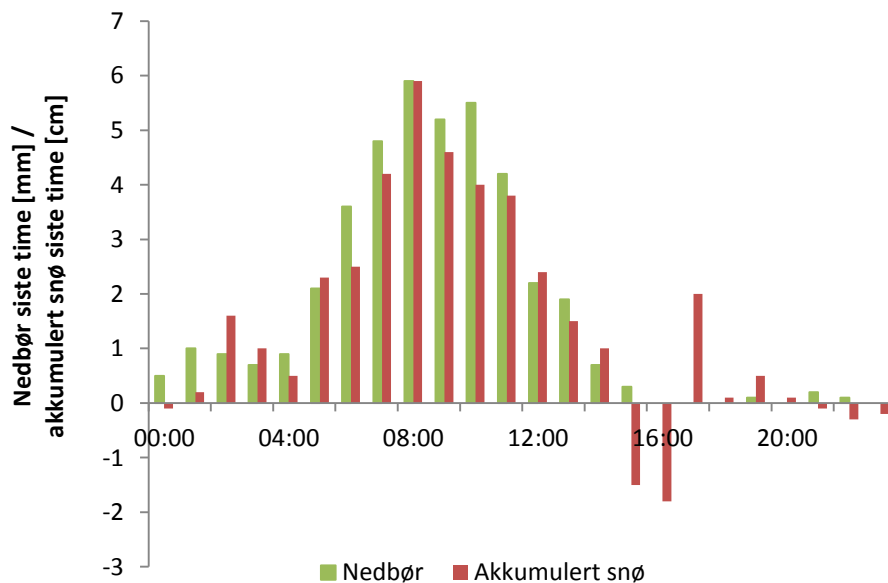
Omdanninger i snødekket fører til at snøkrystaller endres over tid og blir rundere og tuppene brytter av og smelter sammen med andre krystaller. Endringene skjer raskest ved varm snø, fra rundt  $-10\text{ }^\circ\text{C}$  til  $0\text{ }^\circ\text{C}$  (Doesken & Judson, 1997). Også ved tykke snølag vil omdannelsene skje raskere på grunn av trykket fra overliggende snølag. Etter kun noen dager med nysnø vil snødybden synke som følge av omdannelser og kompresjon (Doesken & Judson, 1997).

Endringer i snødekket og snødybden kan skyldes mange forhold. De neste delkapitlene tar for seg noen av disse; økt snødybde ved nedbør, avtagende snødybde ved kuldegrader, drift av snø og avtagende snødybde som følge av smelting. Endringene skyldes ikke en faktor alene, men er en kombinasjon av flere.

### Økt snødybde korrelert med nedbør

Målt nedbør siste time og akkumulert snø siste time på Hakadal Jernbanestasjon 26. mars 2015 er vist i Figur 2.2. Hakadal ligger i Nittedal kommune i Akershus og stasjonen er lokalisert 170 moh. Snødybdemålingene utføres her med ultralydsensoren SR50A i en høyde på 1,88 m over bakken (Meteorologisk institutt, 2015c). 25. mars 2015 kl. 23 ble det registrert nedbør på stasjonen og dette vedvarte til kl. 15 den 26. mars. Som det fremgår i Figur 2.2, og som man forventer, akkumuleres mest snø i timene med mest nedbør. Total nedbør gjennom døgnet var 40,8 mm basert på timesmålingene og endringen i total nedbør i bøtten var 39,3 mm. Forskjellen her skyldes ulike beregningsmetoder i nedbørssensoren.

Økningen i snødybde var 34,3 cm fra midnatt til midnatt, men fordi snøen komprimeres noe over tid var maksimal endring 35,5 cm. Gjennom døgnet var snittvinden 1,9 m/s og høyeste timesverdi var 2,9 m/s slik at vindeffekter antagelig ikke var tilstede her. Temperaturen var i snitt  $-1,1$  °C, men frem til kl. 12 var det kuldegrader og resten av døgnet var temperaturen over 0 °C, men med maksimal temperatur på 0,7 °C kl. 15. Årsaken til nedgangen i snødybde kl. 15 og 16, og økningen kl. 17 er ikke kjent.

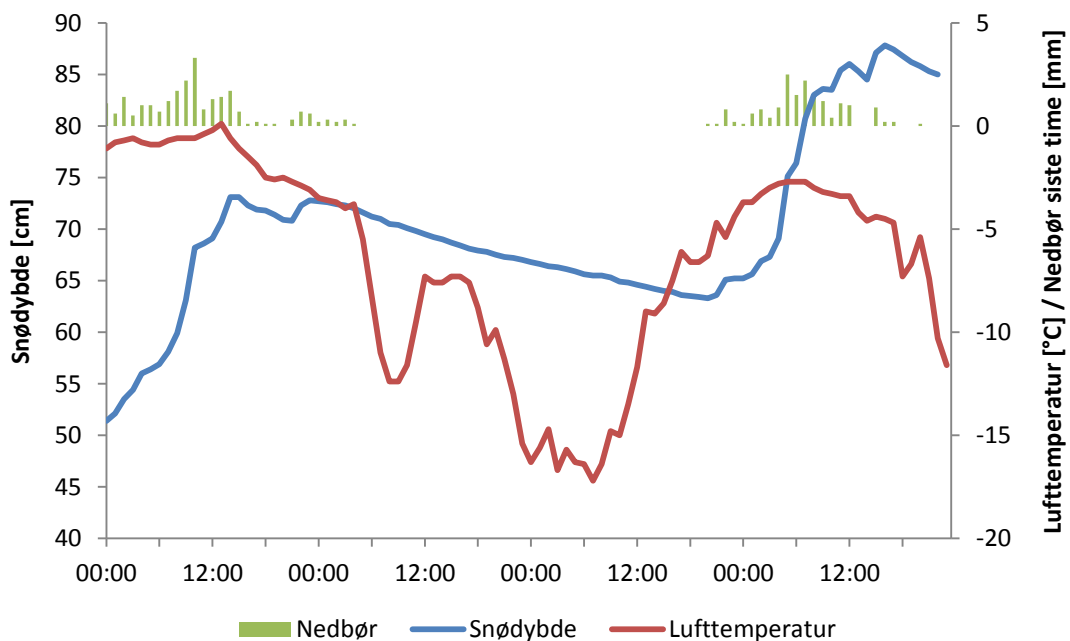


**Figur 2.2: Utvikling i snødybde målt med ultralydsensor på Hakadal Jernbanestasjon 26. mars 2015. Grafen viser at målt nedbør samsvarer godt med akkumulert snø på bakken og at 1 mm nedbør omtrent tilsvarer 1 cm med snø.**

### Snødybde avtar for temperaturer under 0 °C

Som vist i Figur 2.3 kan snødekket komprimeres selv ved lufttemperatur under 0 °C. Måleserien er fra Innerdalen stasjon i Sunndal kommune i Møre og Romsdal, og ligger 405 moh. Her måles snødybden med en SHM 30-sensor som er montert 3 m over bakken (Meteorologisk institutt, 2015c). Tidsperioden går fra 23. desember 2014 kl. 00 til 26. desember kl. 23. For perioden fra 24. desember kl. 09 til 25. desember kl. 18 var det ikke registrert nedbør og gjennomsnittlig lufttemperatur var -11,6 °C. I løpet av disse 34 timene sank snødekket sammen 6,9 cm eller 0,20 cm/t.

Innerdalen stasjon har ikke vindmålinger, men fra nærmeste stasjon med vindmåling, Sunndalsøra, er det ikke registrert kraftig vind i og rundt valgt periode. Høyeste registrerte vindhastighet som er registrert på Sunndalsøra stasjon mellom 22. desember og 28. desember er 6,8 m/s, og gjennomsnittet for uken er 2,7 m/s. Det er derfor grunn til å tro at snøen ikke har blitt blåst bort fra måleområdet, men at nedgangen skyldes kompresjon. Måling av lufttemperaturen er skjermet fra stråling og temperaturen i snødekket kan være høyere som følge av stråling. Snødekket vil komprimeres som følge av trykk fra overliggende snølag, særlig dersom snøen er våt og har høy tetthet eller det er store mengder snø. Trykket fra de øverste snølagene kan være noe av årsaken til at snødybden i Innerdalen avtar over tid.

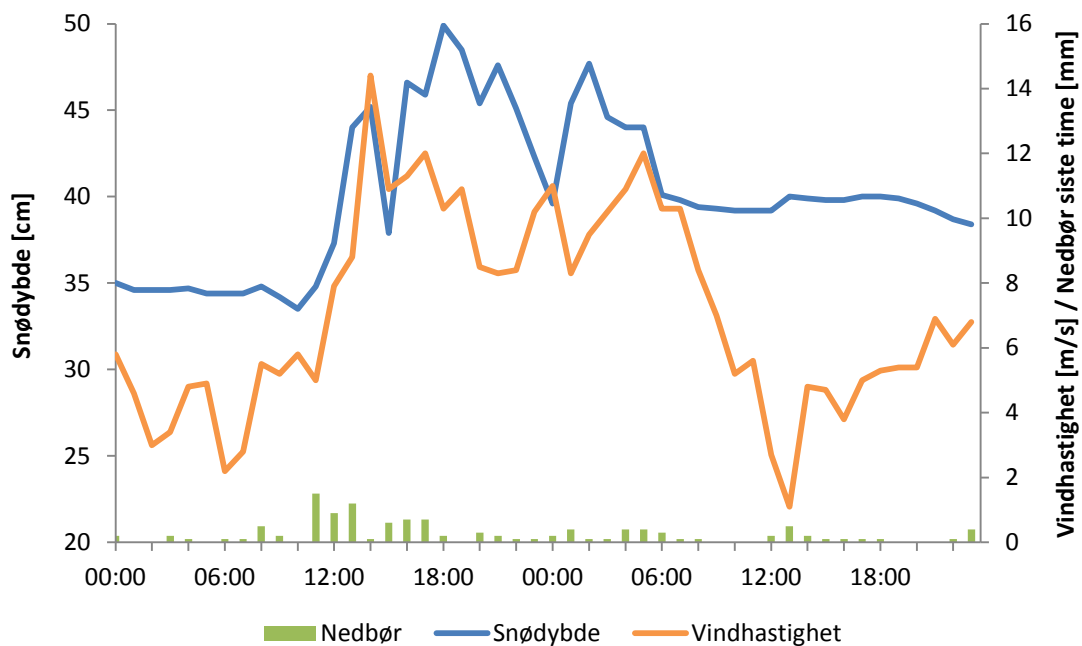


Figur 2.3: Målt snødybde, lufttemperatur og nedbør på Innerdalen stasjon 23.-26. desember 2014. Grafen viser tydelig en økning i snødybde i periodene med nedbør, mens snødybden avtar når nedbør ikke er registrert. Temperaturen er i hele perioden under 0 °C og snødybdemålingene er utført med lasersensor.

## Vindeffekter og drifting

Vind kan ha stor innvirkning på snødybden og snødekket, særlig for stasjoner i åpent landskap. Vind kan transportere snø, særlig lett snø, og forårsake erosjon av snødekket. Nær overflaten er vinden ofte turbulent og vinden kan danne snøfonner og –banker (McKay & Gray, 1981). Snødrift oppstår dersom vindhastigheten er høyere enn en grenseverdi som varierer etter type snø på overflaten. Snødrift fører til økt tetthet av snøkrystallene, og danner mindre og rundere krystaller (Jordan, et al., 2008).

Figur 2.4 viser snødybde, vindhastighet og nedbør over to døgn ved Losistua, 740 moh., i Narvik kommune i Nordland. Perioden som er valgt er 3. desember 2014 kl. 00 til 4. desember kl. 23 og snødybdemålingene er utført med lasersensor plassert 5 m over bakken (Meteorologisk institutt, 2015c). Fra grafen kan man se at fra kl. 12 den 3. desember øker snødybden og vindhastigheten er over 8 m/s. Fra kl. 06 den 4. desember avtar vinden og snødybden stabiliserer seg. I perioden fra kl. 12 til kl. 06 er stasjonen preget av frisk bris til liten kuling (8 m/s – 14 m/s) samtidig som det kommer nedbør, antagelig i form av snø ettersom lufttemperaturen er under 0 °C. De store variasjonen i snødybden skyldes antagelig lag med snø som blåser gjennom måleområdet slik at reell endring i snødybde er fra 34,8 cm til 40,1 cm. Frem til 4. desember kl. 17 er det målt kuldegrader, mens resten av perioden har lufttemperatur over 0 °C og kan forklare hvorfor snødybden avtar 1,6 cm frem til midnatt.

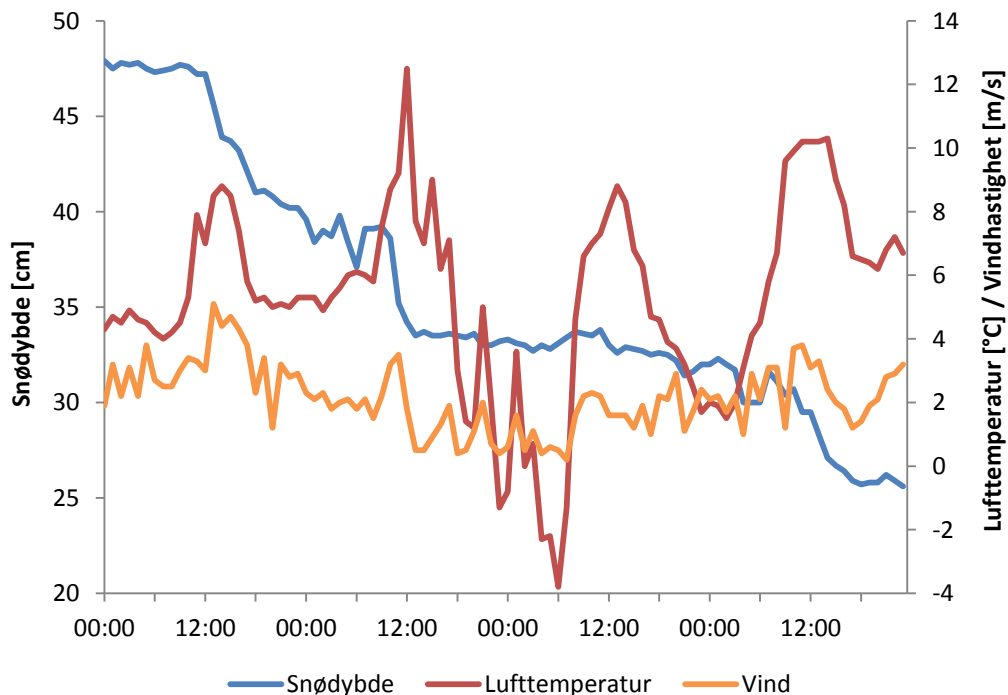


**Figur 2.4: Snødybde, vindhastighet og nedbør ved Losistua 3. og 4. desember 2014. Frem til kl. 10 3. desember er snødybden stabil rundt 35 cm. Fra kl. 06 4. desember stabiliserer registrert snødybde seg på rundt 40 cm. I timene mellom dette er det store variasjoner i målt snødybde, som varierer fra 37 cm til 50 cm. Denne perioden er preget av nedbør og vindhastigheter over 8 m/s og dette kan forklare variasjonen i målt snødybde som er utført med lasersensor.**

## Snøsmelting

Ved temperaturer over 0 °C vil isen i snøpartiklene smelte til vann og snøen vil komprimeres og etterhvert smelte bort. Noe smelting skjer nederst i snødekket der det er i kontakt med bakken, men smeltingen skjer i hovedsak på overflaten som følge av blant annet stråling og konduksjon (Doesken & Judson, 1997). På grunn av snøens høye albedo vil solstråling være mindre effektiv til snøsmelting enn mange tror. Vind derimot, er svært effektiv. Sterk, turbulent vind gir god varmeoverføring fra luft til snø (Doesken & Judson, 1997).

Et eksempel på at snødybden avtar ved varmegrader er vist i Figur 2.5. Grafen viser målt snødybde, lufttemperatur og vindhastighet fra 7. mars 2014 kl. 00 til 10. mars 2014 kl. 23. Målingene er utført på Konnerud målestasjon i Drammen kommune i Buskerud, 193 moh. Her benyttes en ultralydsensor plassert i 1,63 meters høyde (Meteorologisk institutt, 2015c). Gjennomsnittlig lufttemperaturen i valgt periode var 5,3 °C og vindhastigheten 10 meter over bakken var i snitt 2,1 m/s. Vind bidrar til smeltingen, men de lave vindhastighetene fører til at det her er lufttemperatur som er den avgjørende faktoren for smeltingen. Med unntak av tre timer natt til 10. mars ble det ikke registrert nedbør i perioden. Fra Figur 2.5 kan man se at snødybden har størst nedgang der lufttemperaturen er høy. Perioden med de laveste lufttemperaturene, kvelden 8. mars til morgen 9. mars, viser en stabil snødybde når det er kaldt, enkelte timer under 0 °C.



**Figur 2.5: Snødybde, lufttemperatur og vindhastighet ved Konnerud 7.-10. mars 2015. Gjennom disse fire døgnene avtar snødybden fra 47 cm til 26 cm. Perioden er preget av positive lufttemperaturer, men i timene ved negative temperaturer er registrert snødybde stabil. Vindhastighetene er lave, og vil også bidra til snøsmelting. Snødybdemålingene er utført med ultralydsensor.**



## 2.5 Målemetoder for snødybde

Måling av snødybde har tradisjonelt blitt utført ved hjelp av en målestav som en observatør manuelt leser av. Meteorologiske målinger blir stadig mer automatisert og bruk av ultralyd benyttes flere steder til snødybdemåling. De siste årene har MET også begynt å benytte laser.

Snø er vanskelig å måle nøyaktig og det er noe av grunnen til at automatiseringen av snødybdemåling har kommet så kort i forhold til automatiseringen av andre værparametere som temperatur og vind. Noe av grunnen til at det er vanskelig er fordi snø har stor variasjon i størrelse og tetthet, samtidig som det kan smelte så snart det legger seg, komprimeres over tid og påvirkes lett av vind. Disse problemene er også tilstede ved manuell snødybdemåling, men en observatør har bedre overblikk over større områder og kan velge hvor snødybden skal måles og utføre flere målinger på området. Dette delkapittelet tar for seg noen av metodene for snødybdemåling.

### Manuell måling

En av de mest brukte målemetodene er manuell snødybdemåling hvor en observatør benytter en målestav som stikkes ned i snøen. Avlesningen skjer vanligvis en gang i døgnet, gjerne tidlig på dagen, men enkelte steder leses snødybden av flere ganger gjennom døgnet (Brown & Armstrong, 2008). Flere målinger må utføres på målestasjonen for å finne en gjennomsnittlig snødybde (World Meteorological Organization, 2008). Dersom snøen ligger flekkvis er en presis avlesning av snødybden vanskelig. En metode er da å ha flere faste staver. Denne metoden kan gi ukorrekte målinger ved at snøen kan akkumuleres eller smelte inntil staven (Brown & Armstrong, 2008).

### Ultralydsensor

Bruk av ultralyd har vært benyttet i Norge siden 1998 da en Campbell SR50-sensor ble installert på Årnes. Siden den gang har ytterligere 70 ultralydmålerer blitt installert i Norge (Meteorologisk institutt, 2015c). Ultralydsensorer beregner avstanden til snødekket ved å sende ut en lydimpuls. Tiden pulsen bruker på å returnere til sensoren danner grunnlaget for beregningene ettersom lydens hastighet i luft er kjent. For nøyaktig beregninger er det nødvendig med en temperaturmåling fordi lyd hastigheten varierer med temperatur (Brown & Armstrong, 2008). Korrigering av lyd hastigheten er gitt ved

$$V_{lyd} = 331,4 \text{ m/s} \sqrt{\left(\frac{T}{273,15 \text{ K}}\right)} \quad (2.1)$$

Der  $T$  er lufttemperaturen i kelvin (Ryan & Doesken, 2008). Snødybdemålingene blir korrigert for lufttemperaturen ved å benytte målinger fra en temperatursensor i nærheten av ultralydsensoren.

Sensoren er fast montert og måler kun snødybden over et lite område. Det er derfor viktig hvor sensoren plasseres i terrenget for at målingene skal være mest mulig representative for området. Også plasseringen og høyden til temperatursensoren er viktig slik at vegetasjon eller annet måleutstyr ikke er i måleområdet til sensoren. Ultralydsensoren som ble benyttet under forsøkene, og den som blir benyttet av MET, er nærmere beskrevet i kapittel 3.4.

### Lasersensor

Lasersensor har blitt tatt i bruk de senere årene og har vist seg bedre til å registrere små snødybder enn ultralydsensorer (Mair & Baumgartner, 2010). Den første lasersensoren som MET installerte i Norge var på Blindern testfelt i Oslo og i dag har MET 20 stasjoner med lasersensorer til snødybdemåling (Meteorologisk institutt, 2015c). En lasersensor sender ut laserlys og ved hjelp av faseendringen til lyset når det reflekteres tilbake til sensoren beregnes avstanden til snødekket og dermed snødybden (Nitu, et al., 2012). Nærmere beskrivelse av lasersensoren som MET benytter, og den som ble benyttet i dette forsøket, er nærmere beskrevet i kapittel 3.5.

Dagens lasersensorer måler snødybden kun i ett enkelt punkt og fordi snødekket kan ha store variasjoner kan en punktmåling gi målinger som ikke er representative for området (Kim, et al., 2014). For å prøve å løse dette problemet er det utviklet en lasersensor som beveger seg og måler snødybden i 36 punkter i en sirkel på bakken. Snødybden som rapporteres er gjennomsnittet av alle målingene i sirkelen (Kim, et al., 2014). Lufft har utviklet sensoren SHM 50. Dette er en vidreutvikling av SHM 30 og sensoren har tre uavhengige laserstråler som måler snødybden over et trekantet område på 20 cm x 30 cm dersom sensoren står to meter over bakken. I tillegg til faseinformasjonen benyttes også tiden pulsen bruker for å beregne avstanden til underlaget (Lufft, 2015).

### Lidar

Lidar er en avstandsmåler som benytter lasersignaler i beregningene av avstanden. Dette gjøres ved å beregne tiden fra lasersignalet sendes ut til det returnerer (Deems & Painter, 2006). For å kunne beregne snødybde trenger man to lidarkart med høydeinformasjon; ett med bar grunn uten snø og ett med det snødekke som man ønsker å finne tykkelsen til (Hopkinson, et al., 2004). En lidar kan være ombord i et fly eller være bakkebasert (TLS) (Deems, et al., 2013). Laseren skanner over ønsket område og måler avstanden til bakken i en rekke punkter (Luzi, et al., 2009).

Instrumentet trenger tilstrekkelig med informasjon om posisjonen den er i for kunne beregne nøyaktig avstand til underlaget. I et fly bestemmes dette ved hjelp av GPS og flyets interne navigasjonssystem (INS) (Deems & Painter, 2006). Snødybden måles i punkter med 1-2 m i horisontal avstand og en vertikal nøyaktighet i desimeter (Deems & Painter, 2006). Ved bruk av fly kan man skanne over et stort område, men samtidig fører bruk av fly til få observasjoner gjennom året.

Ved bruk av en bakkebasert laserskanner (TLS) kan snødybden over et større område bestemmes (Luzi, et al., 2009) enn ved bruk av ultralyd og laser. Det er mulig å skanne et område på 400-1000 m fra sensoren avhengig av sikten (Deems, et al., 2013). Flere punkter gir lengre beregningstid, så antallet målepunkter ligger rundt 0,5-1,0 punkter per kvadratmeter (Luzi, et al., 2009). I forhold til luftbåren lidar har TLS høyere nøyaktighet (5 mm) og færre feilkilder ettersom den står i ro (Deems, et al., 2013).

### **GPS mottaker**

GPS benytter flerbanesignaler til posisjonsberegning. Dette er interferens mellom direkte mikrobølger fra satellitter og reflekterte bølger, oftes fra bakken (Ozeki & Heki, 2012). De reflekterte mikrobølgene fører ofte til feil i posisjonen og man reduserer disse så mye som mulig. Dersom snø akkumuleres på bakken vil avstanden fra underlaget til en fast GPS-mottaker endres og ved å analyserer flerbanesignalene til strålingen kan snødybden beregnes (Ozeki & Heki, 2012). Signal-støy forholdet (SNR) blir ofte benyttet i analysene fordi det er sensitivt for snødybde, men det er ikke et direkte mål på dybden (Larson, et al., 2009). Forsøk tyder på at snødybdemålinger basert på GPS korrelerer godt med ultralydmålinger, men generelt ligger noen centimeter over (Larson, et al., 2009). Fordelen med GPS er at de kan gi informasjon om et mye større område, arealer rundt 1000 m<sup>2</sup> (Larson & Nievinski, 2013), enn for eksempel manuelle målinger, laser og ultralyd.



### 3. METODER

---

Denne oppgaven har tatt for seg flere forsøk knyttet til automatisk snødybdemåling. Først tar kapittelet for seg de to forsøkene med ulike måleunderlag som ble utført vinteren 2013-2014 på Blindern i Oslo og vinteren 2014-2015 i Ås i Akershus. Deretter vil forsøkene med ultralyd- og lasersensor beskrives, før kapittelet til slutt tar for seg analysene av 27 utvalgte MET-stasjoner hvor det benyttes enten ultralyd- eller lasersensor til snødybdemåling.

#### 3.1 Testfelt og klima

Forsøkene med underlag for automatisk snødybdemåling ble utført på Blindern i Oslo og i Ås i Akershus. Kart over Oslo og Ås er vist i Figur 3.1. Forsøk med ultralyd- og lasersensor ble utført i Ås.

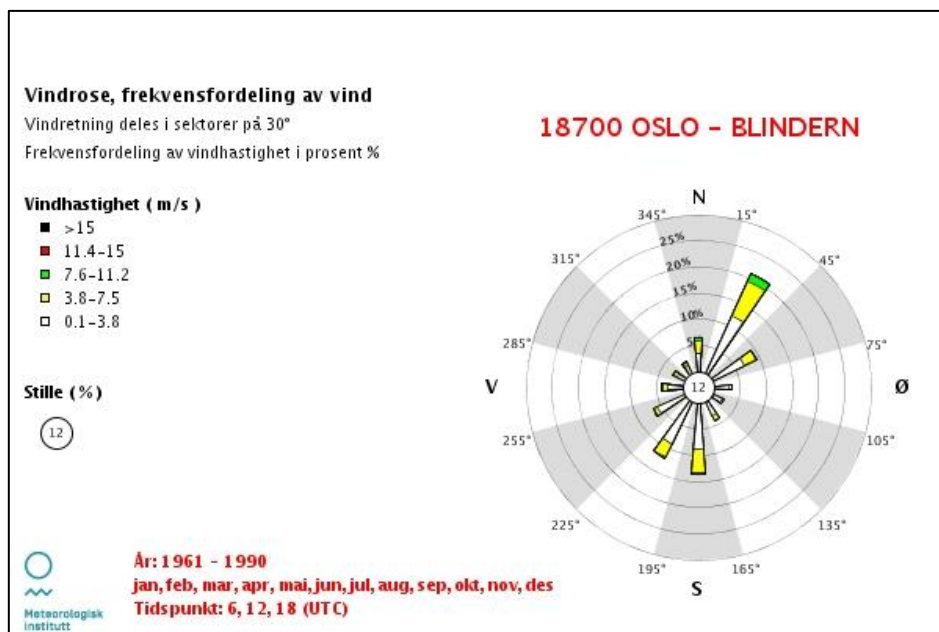


**Figur 3.1:** Kart over deler av Oslo og Akershus hvor de to testfeltene Blindern (blå ring) og Ås (rød ring) befinner seg (Kartverket, 2015).

#### **Blindern**

Vinteren 2013-2014 ble det utført et forsøk med fire ulike underlag på Blindern testfelt i Oslo. Målestasjonen ligger 94 moh på koordinatene 59,94 °N, 10,72 °Ø, og er vist i Figur 3.2. Middelsestemperaturen på Blindern for normalperioden 1961-1990 er 5,7 °C og årsnedbøren er 763 mm (Meteorologisk institutt, 2015d). Månedsverdiene er vist i Tabell 3.1 og vindrose for normalperioden er vist i Figur 3.3. Fra vindrosen er dominerende vindretning på Blindern nordøst og syd-sydvest.





Figur 3.3: Vindrose for Blindern i normalperioden 1961-1990. Dominerende vindretninger er mellom 15 ° og 45 °, og 165 ° til 225 °. Fra eKlima (Meteorologisk institutt, 2015d).

## Ås

På Søråsjordet i Ås er det gjort meteorologiske målinger siden 1983. Imidlertid har det på Ås vært koninuerlige meteorologiske observasjoner siden 1859, men målestasjonen har vært flyttet to ganger (Norges miljø- og biovitenskaplige universitet, 2014). Området der feltet er lokalisert er vist i Figur 3.4 og er markert med rød ring. Feltet er inngjerdet og på 12 dekar. Området er flatt, omgitt av åkerlandskap og ligger 93,3 moh. Koordinatene til temperaturhytten på feltet er: N 59° 39' 37", Ø 10° 46' 54" (Norges miljø- og biovitenskaplige universitet, 2014), mens forsøket med underlagene ble utført ca 50 meter øst for temperaturhytten. På feltet blir det registrert observasjoner fra over 50 målere. Selv om det er en helautomatisert stasjon er det daglig manuell kontroll på feltet (Norges miljø- og biovitenskaplige universitet, 2014).

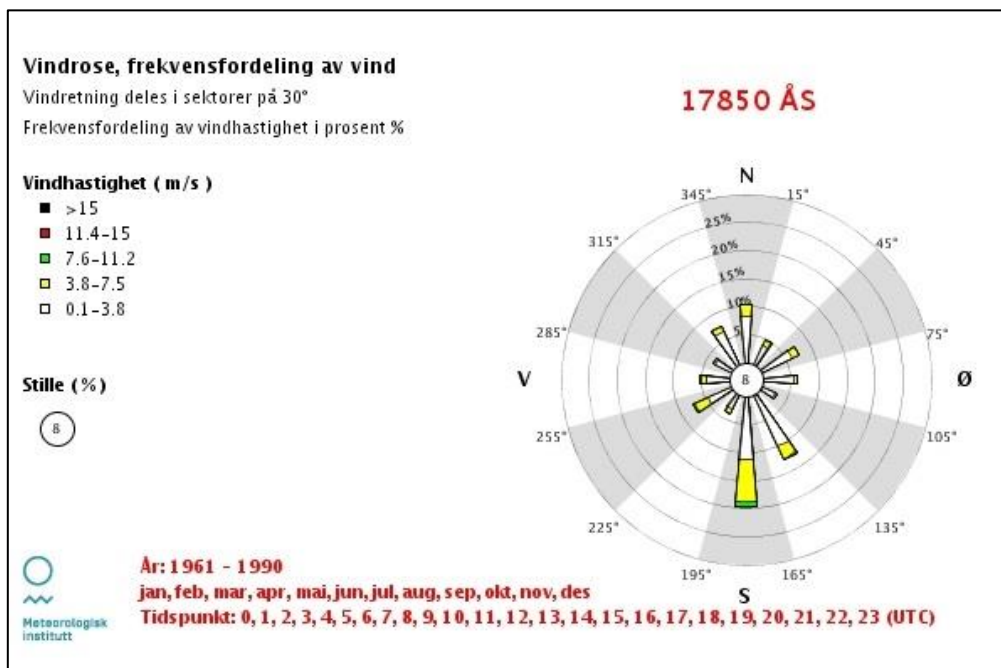
Middeltemperaturen i Ås for normalperioden 1961-1990 er 5,3 °C og årsnedbøren er 785 mm i samme periode (Meteorologisk institutt, 2015d). Månedsmiddelverdiene er vist i Tabell 3.1. Vindrose for Ås i normalperioden 1961-1990 er vist i Figur 3.5 og viser at syd er den dominerende vindretningen og den retningen den sterkeste vinden stort sett kommer fra.

**Tabell 3.1: Månedsverdier for middeltemperatur og nedbør i normalperioden 1961-1990 for Blindern og Ås. Temperatur og nedbør mellom de to stedene har kun små forskjeller (Meteorologisk institutt, 2015d).**

	Blindern		Ås	
	Middeltemperatur [°C]	Nedbør [mm]	Middeltemperatur [°C]	Nedbør [mm]
<b>Jan</b>	-4,3	49	-4,8	49
<b>Feb</b>	-4,0	36	-4,8	35
<b>Mar</b>	-0,2	47	-0,7	48
<b>Apr</b>	4,5	41	4,1	39
<b>Mai</b>	10,8	53	10,3	60
<b>Jun</b>	15,2	65	14,8	68
<b>Jul</b>	16,4	81	16,1	81
<b>Aug</b>	15,2	89	14,9	83
<b>Sep</b>	10,8	90	10,6	90
<b>Okt</b>	6,3	84	6,2	100
<b>Nov</b>	0,7	73	0,4	79
<b>Des</b>	-3,1	55	-3,4	53



Figur 3.4: Flyfoto av Søråsjordet i Ås. Feltet er markert med rød ring (Kartverket, 2015).



Figur 3.5: Vindrose for normalperioden 1961-1990 i Ås. Dominerende vindretning er syd, 135 ° til 195 ° (Meteorologisk institutt, 2015d).



## 3.2 Underlagene

De fem ulike underlag som ble testet var kunstgress, glassfiberarmert plast (GRP), Litex-Membranplate, kryssfiner og sand. Kunstgress ble kun testet i Ås. Videre følger en kort beskrivelse av dimensjoner, materialer og egenskaper ved de ulike underlagene.

Dimensjonene på underlagene som ble testet på Blindern er ikke målt, men er i samme størrelsesorden som oppgitte dimensjoner fra Ås. Tabell 3.2 viser en oversikt over termisk konduktivitet, spesifikk varmekapasitet og overflatefarge for de ulike underlagene sammen med jord og snø.

Tabell 3.2: Sammenligning av termisk konduktivitet og overflatefarge for de ulike underlagene.

Type underlag	Termisk konduktivitet [W/mK]	Spesifikk varmekapasitet [J/kgK]	Overflatefarge
Snø	$\sim 0,1$ <sup>1</sup>	2090 <sup>2</sup>	Hvit
Jord	0,15 – 2,0 <sup>3</sup>	800 – 1480 <sup>2</sup>	Brun
Kunstgress	0,42 <sup>4</sup>	1250 <sup>2</sup>	Grønn
GRP-plate	0,25 – 0,35 <sup>5</sup>	1880 <sup>6</sup>	Lys grå
Litex-plate	0,033 <sup>7</sup>	1380 <sup>8</sup>	Hvit
Kryssfiner	0,13 <sup>3</sup>	1200 <sup>9</sup>	Brun
Sand	0,15 – 4,0 <sup>3</sup>	800 <sup>2</sup>	Grå

### Kunstgress

Underlaget var en kunstgressmatte som målte 385 mm x 693 mm. Plastgresset hadde en høyde på 20 mm. Bilde av underlaget som ble benyttet er vist i Figur 3.6. Øverst til venstre er underlaget sett ovenfra, mens til høyre vises et nærbilde av underlaget. Det nederst bildet er underlaget sett fra siden. Underlaget ble festet med metallpinner i hvert hjørne.

<sup>1</sup> (Armstrong & Brown, 2008)

<sup>2</sup> (The Engineering ToolBox, 2015a)

<sup>3</sup> (The Engineering ToolBox, 2015b)

<sup>4</sup> (Yaghoobian, et al., 2010)

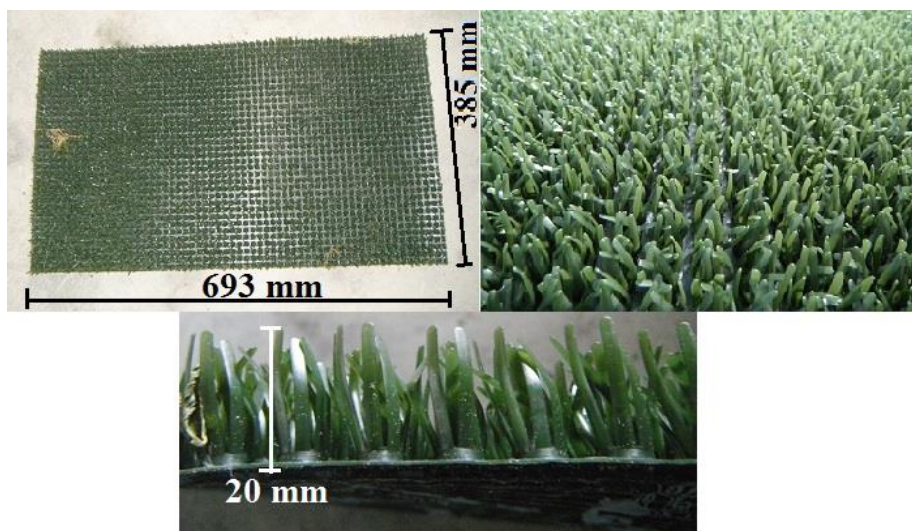
<sup>5</sup> (Fiberline Composites, 2015)

<sup>6</sup> (5M, 2012)

<sup>7</sup> (Litex AS, 2013)

<sup>8</sup> (Integrated Environmental Solutions Limited, 2015)

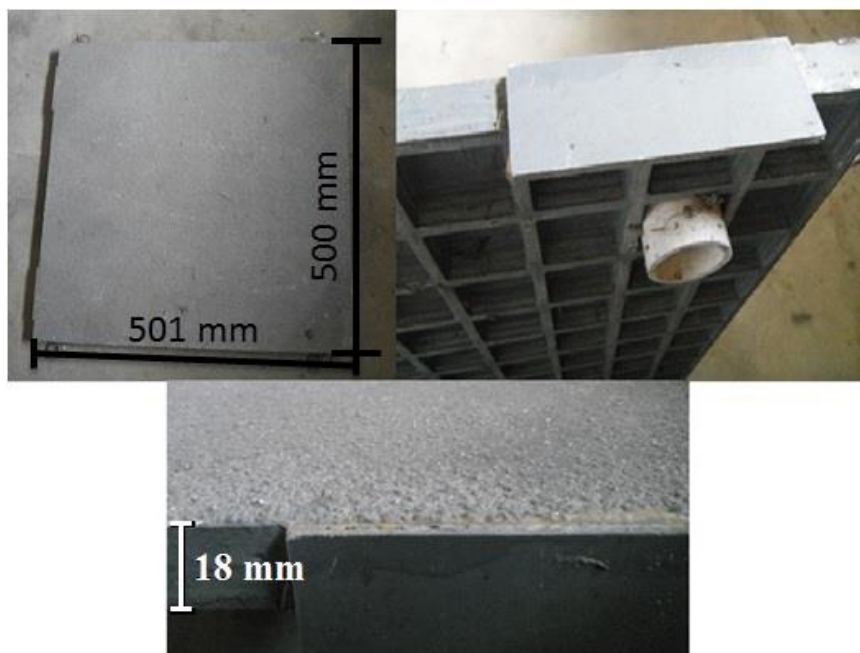
<sup>9</sup> (Engineering.com, 2006)



Figur 3.6: Kunstgressunderlaget sett fra ulike vinkler. Øverst til venstre er underlaget sett ovenfra, mens bildet øverst til høyre viser nærbilde av overflaten til underlaget. Nederst er underlaget sett fra siden og høyden på gresstråene er vist.

### Glassfiberarmert plast (GRP)

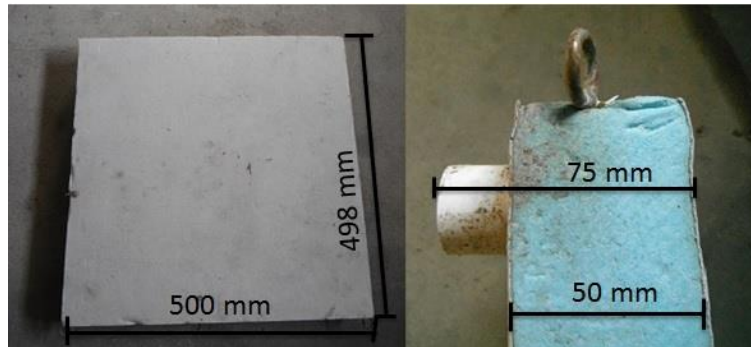
Underlaget er en tilsvarende plate som Lanzinger og Theel (2010a) benyttet i sine forsøk. Platen har en ru overflate og en grå farge. Dimensjonene på platen var 500 mm x 501 mm. Platen var 18 mm tykk og hadde en total høyde på 29 mm inkludert plastføttene under. I Figur 3.7 vises GRP-platen fra ulike vinkler. Øverst til venstre er platen ovenfra, øverst til høyre vises platen fra undersiden hvor også en av plastføttene er synlig, og nederst vises platen fra siden og gir et bildet på platens overflateruhet.



Figur 3.7: Glassfiberarmert plast (GRP) plate med ekstra føtter. Øverst til venstre er platen sett ovenfra. Øverst til høyre vises platens underside. Her vises en av de ekstra plastføttene som er montert for å heve platen høyere fra bakken enn rektangelet på yttersiden som også vises. Nederst vises platen fra siden og gir et bilde på overflateruheten til underlaget.

### Litex-Membranplate

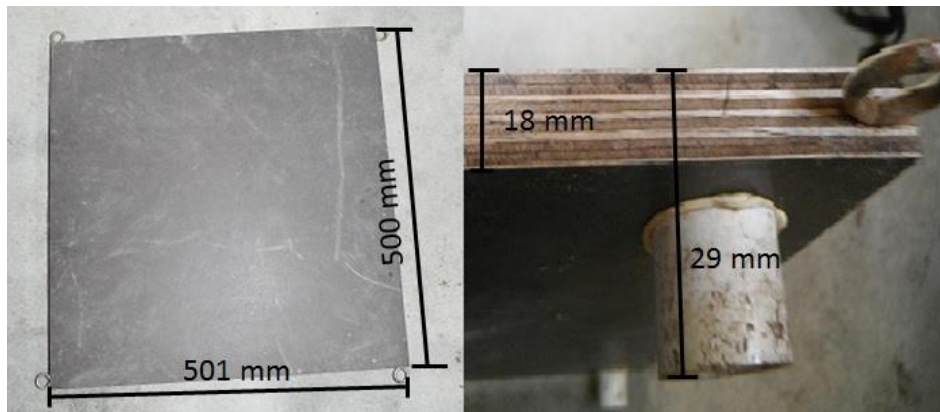
Underlaget som ble benyttet var en Litex-Membranplate, en damptett isolasjonsplate til bad- og våtrom. Den består av ekstrudert polystyren (XPS) og er laminert med aluminium og polyester (Litex AS, 2013). Platen hadde følgende dimensjoner: 500 mm x 498 mm. Tykkelsen på platen var 50 mm og var i tillegg påmontert fem føtter med en høyde på 25 mm, en i hvert hjørne og en fot i senter av platen. Platen er vist ovenfra og fra siden i Figur 3.8.



**Figur 3.8:** Litex-Membranplate med plastføtter. Til venstre vises platen ovenfra og til høyre er underlaget sett fra siden og viser også en av de påmonterte plastføttene. Overflaten til underlaget er lysere enn det fremgår av bildet.

### Kryssfiner

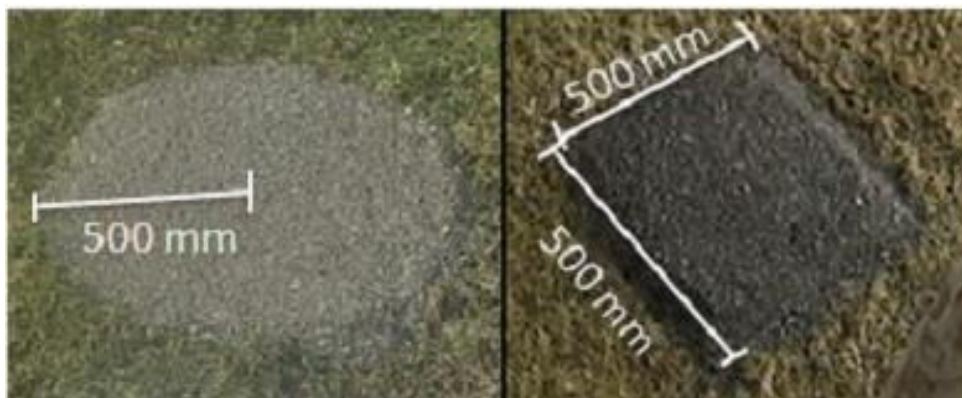
Underlaget av kryssfiner målte 500 mm x 501 mm. Tykkelsen på platen var 18 mm, mens den totale høyden inkludert føttene under var 29 mm. Platen sett ovenfra og fra siden er vist i Figur 3.9.



**Figur 3.9:** Kryssfinerplaten med plastføtter som ble benyttet i Ås. Platen er vist ovenfra til venstre og til høyre er platen sett fra siden. Til høyre vises også en av plastføttene som er montert på undersiden av platen.

### Sand

Sand ble lagt rett på gresset. Arealet var sirkelformet på Ås og kvadratisk på Blindern, som vist i Figur 3.10. Dimensjonene på underlaget er ikke målt direkte, men sammenligning av sanden i forhold til de andre underlagene på bilder tyder på at diameteren var omtrent 500 mm på Ås og 500 mm x 500 mm på Blindern.



Figur 3.10: Til venstre er sanden som ble brukt i Ås. Til høyre er sanden fra Blindern vist. Lengdene er ikke målt, men er basert på sammenligning med de andre underlagene som ble testet.

### 3.3 Underlagsforsøk

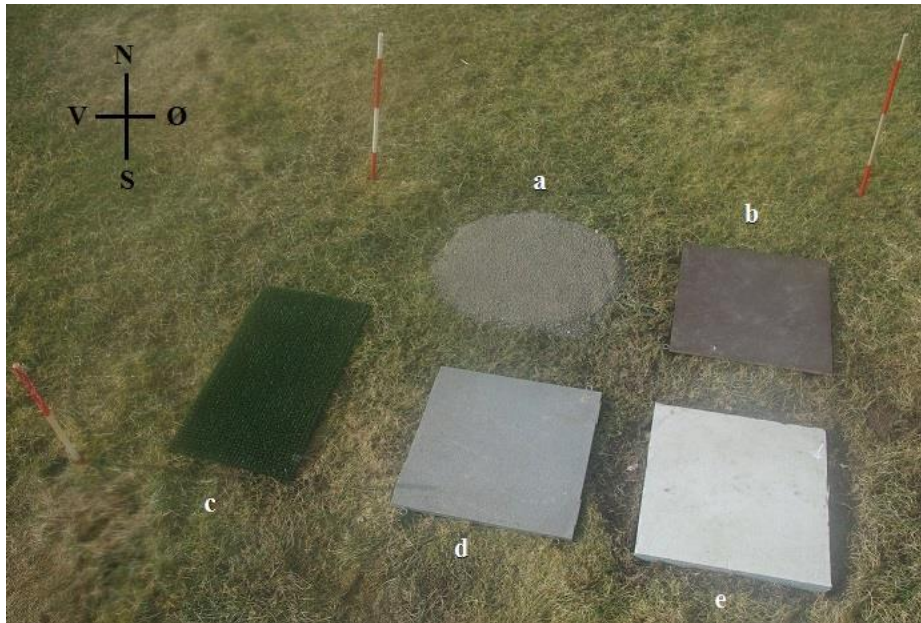
Underlagene som ble testet på Blindern var kryssfinerplate, Litex-Membranplate, GRP-plate og sand, som vist i Figur 3.11. Underlagene lå på en liten kolle syd for en målerigg med kamera og en rekke testinstrumenter fra MET. Underlagene ble fotografert regelmessig fra 15. januar 2014 kl. 09 og avsluttet 24. mars 2014 kl. 07. Bildene ble tatt en gang hver time, men i enkelte perioder ble det fotografert hvert 10. minutt. Manuel snødybdemåling ble utført ca. 50 m unna underlagsforsøket.



Figur 3.11: Oppsettet av underlagsforsøket på Blindern vinteren 2013-2014. I venstre hjørne kan deler av en målerigg ses. Underlagene som ble testet var a) kryssfinerplate, b) GRP-plate, c) Litex-Membranplate og d) sand.



19. desember 2014 ble det lagt ut tre plater på et område på det meteorologiske feltet på Søråsjordet i Ås. I en eksisterende målemast ble det montert et kamera med lys og logger. Loggeren ble programert til å ta bilde hver time hele døgnet. 8. januar 2015 ble ytterligere to underlag lagt ut, som vist i Figur 3.12. 30. januar 2015 ble loggeren omprogramert til en frekvens på 4 bilder per time. Med unntak av enkelte perioder med feil på kamera og/eller logger har det blitt fotografert kontinuerlig frem til 16. april 2015.



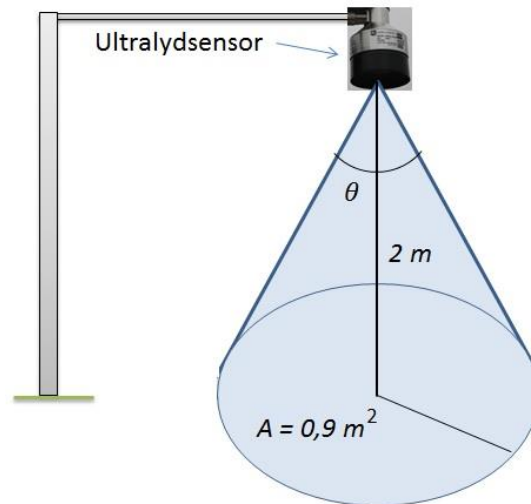
**Figur 3.12: Underlagsoppsettet i Ås vinteren 2014-2015. Målemasten er sydøst for underlagene. Underlagene er a) sand, b) kryssfinerplate, c) kunstgressmatte, d) GRP-plate og e) Litex-Membranplate.**

Alle bildene har blitt sett gjennom manuelt med særlig fokus på periodene med snøfall og smelting for å se etter forskjeller mellom underlagene og likhet med det naturlige underlaget.

### 3.4 Campbell Scientific SR50A – ultralydsensor

Ultralydsensoren som ble benyttet var en Campbell Scientific SR50A, i resten av oppgaven kun omtalt som SR50A. Dette er også den ultralydsensoren som blir benyttet på 71 av MET sine stasjoner (Meteorologisk institutt, 2015c). Videre informasjon om sensoren er hentet fra brukermanualen (Campbell Scientific, 2014).

SR50A sender ut ultralyd med en frekvens på 50 kHz og beregner avstanden til underlaget ut i fra tiden det tar før ekkoet kommer tilbake til sensoren. Lyden sendes ut i en stråle med en åpningsvinkel på 30 °, markert som  $\theta$  i Figur 3.13, og måler snødybden på et lite areal.



Figur 3.13: Skisse av måleområdet til ultralydsensoren SR50A. Ved en monteringshøyde på 2 m vil sensoren måle snødybden over et areal på  $0,9 \text{ m}^2$ .  $\theta$  er åpningsvinkelen til lyden som sendes ut.

Radiusen til måleområdet er gitt ved

$$\text{Radius} = 0,268 * \text{Høyde} \quad (3.1)$$

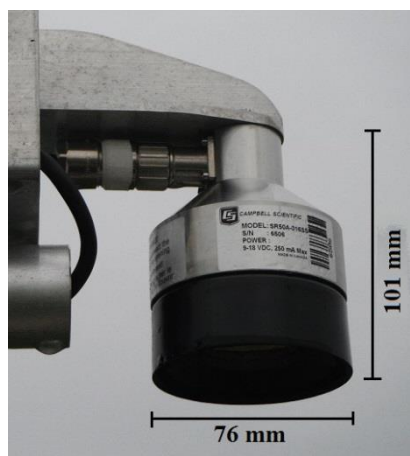
Hvor *Høyde* er avstanden fra sensoråpningen til bakken. Typisk monteringshøyde for MET sine ultralydsensorer er 2 m og måleområdet vil da ha en radius på 0,54 m på bakkenivå og et areal på  $0,90 \text{ m}^2$ .

For å ta hensyn til at lydhastigheten varierer med lufttemperaturen må sensoren korrigere for dette i beregningene. Avstanden til underlaget beregnes fra følgende formel:

$$\text{Avstand} = \text{Avlesning}_{SR50A} \sqrt{\frac{T}{273,15 \text{ K}}} \quad (3.2)$$

Der *Avstand* er den reelle avstanden fra sensoren til underlaget,  $\text{Avlesning}_{SR50A}$  er avstanden til underlaget som sensoren beregner ved å bruke lydens hastighet i luft ved  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  som er 331,4 m/s, og  $T$  er lufttemperaturen i kelvin.

Diameteren på apparatet er 7,6 cm og har en lengde på 10,1 cm, som vist i Figur 3.14. Sensoren har en oppløsning på 0,25 mm og bruker under ett sekund på å utføre en måling. SR50A kan måle avstanden til objekter som er mellom 0,5 m og 10 m unna sensoren, og har en nøyaktighet på enten  $\pm 1 \text{ cm}$  eller 0,4 % av avstanden til objektet avhengig av hvilken verdi som er størst.



**Figur 3.14: Ultralydsensoren SR50A som er montert i Ås med dimensjoner. Tilsvarende sensor benyttes på en rekke MET-stasjoner.**

Dersom sensoren ikke står vinkelrett på underlaget eller underlaget er ujevnt vil det kunne føre til stor usikkerhet i målingene som sensoren utfører. Sensoren kan gi et kvalitetsnummer for å fortelle hvor sikker observasjonen er. Tall mellom 152 og 210 er bra, mens over 300 tyder på en dårlig måling. Høye kvalitetsnummer oppstår blant annet dersom underlaget reflekterer lyden dårlig eller overflaten er ujevn. Ved kvalitetsnummer på 0 har ikke en avlesning blitt utført.

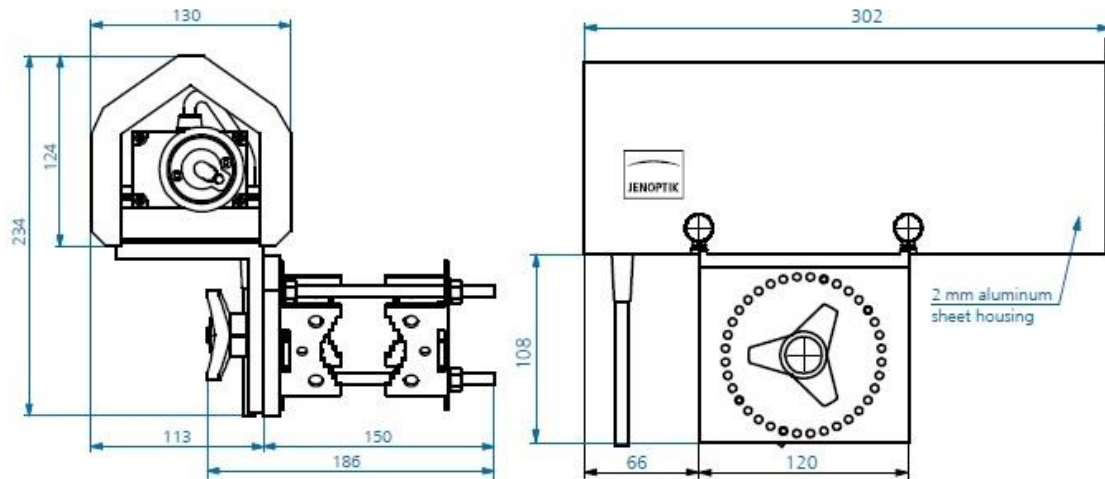
Ultralydsensoren kan leveres med varmeelement og dette benyttes i dag på to av MET sine stasjoner; Asker og Hemsedal II (Meteorologisk institutt, 2015c). Hensikten er å forhindre is på senderen som kan påvirke snødybdemålingene. Ved lufttemperaturer over 25 °C skal varmen slås av for å forhindre skader på sensoren.

### 3.5 Lufft SHM 30 – lasersensor

Lasersensoren som er benyttet i forsøkene, og som er den samme sensoren som benyttes av MET på 20 av deres stasjoner (Meteorologisk institutt, 2015c), er en Lufft SHM 30, heretter kalt SHM 30. Sensorene er den samme som Jenoptik SHM 30, men har endret navn som følge av at Jenoptik er kjøpt opp av Lufft. Informasjonen om virkemåte og dimensjoner i dette delkapittelet er hentet fra brukermanualen (Jenoptik, 2014).

Laseren er en klasse 2 laser og sendet ut rødt laserlys med en bølgelengde på 650 nm. Sensoren er en punktmåler, dvs at den kun måler i ett punkt på bakken, og strålen har en diameter på under 11 mm i en avstand på 10 meter. Sensorens dimensjoner er 303 mm x 130 mm x 234 mm, som vist i Figur 3.15. SHM 30 består av en sender og en mottaker, og sammenligner faseinformasjonen for å beregne avstanden til underlaget. En enkelt måling utføres i løpet av 0,25 s. Ved å analysere signalstyrken og antall bølger blir målingen presis og sensoren benytter fem pulser ved hver måling for å minke måleusikkerheten. Avstanden til

nullpunktet, som er bar bakke eller et måleunderlag, er lagret i sensoren. På denne måten kan snødybden beregnes som forskjellen mellom de to avstandene når også monteringsvinkelen er kjent.

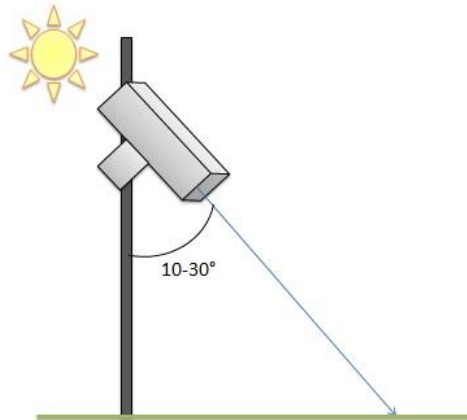


**Figur 3.15: Dimensjonene til lasersensoren SHM 30. Til venstre er sensoren sett forfra, mens til høyre er sensoren vist fra siden. Alle målene er oppgitt i mm. Hentet fra brukermanualen (Jenoptik, 2014).**

Lasersensoren kan måle snødybder fra 0 m til 10 m og har en nøyaktighet på under  $\pm 5$  mm. Oppløsningen for den målte avstanden er 0,1 mm. Sorte overflater med 5-7 % refleksjon har en signalstyrke på  $1 \pm 0,5$ , mens for en hvit overflate med en refleksjon på 85-90 % ligger signalstyrken på  $10 \pm 3$ . Signalstyrken til sensoren kan derfor brukes for å si noe om det er snø på bakken eller ikke dersom måleunderlaget er mørkt.

SHM 30 bør monteres med en vinkel på mellom  $10^\circ$  og  $30^\circ$  der  $0^\circ$  er vertikalt, og anbefalt vendt bort fra solen, som vist i Figur 3.16. Målepunktet bør ligge litt unna målemasten hvor sensoren er montert for å forhindre snø og vann å falle fra målemasten. Utstyret kan også påvirke termiske egenskaper og vindmønstre ved målepunktet slik at snødybden her ikke er representativt for resten av området. Lasersensoren leveres med et innebygd varmeelement for å holde laserdioden på temperaturer over  $-10^\circ\text{C}$  og forlenge levetiden. Standard innstilling her er at varmen slås på dersom temperaturen er under  $2^\circ\text{C}$  og slås av når temperaturen er over  $4^\circ\text{C}$ .





**Figur 3.16:** Skisse av optimalt oppsett av lasersensoren SHM 30. Sensoren bør plasseres slik at den vender bort fra solen slik at reflektert solstråling ikke treffer sensoren. Det kan gi for mye lys til at sensoren klarer å utføre målinger. Det anbefales også at sensoren monteres i en vinkel på mellom 10 ° og 30 °.

### 3.6 Vinkelberegning for SHM 30

Lasersensoren har en gradskive for å vite hvilken vinkel den er montert i. For å kunne beregne riktig snødybde må sensoren ha riktig inngangsverdi for vinkelen den er installert i. Verifisering av vinkelen kan gjøres på to måter; loddrett prosedyre eller ved bruk av et referanseobjekt (Jenoptik, 2014). Begge disse metodene er utført for oppsatt vinkel for å undersøke hvor nøyaktig metodene er og om de samsvarer. Vinkelen ble sammenlignet med vinkel som ble funnet ved bruk av laseravstandsmåleren Leica DISTO D8.

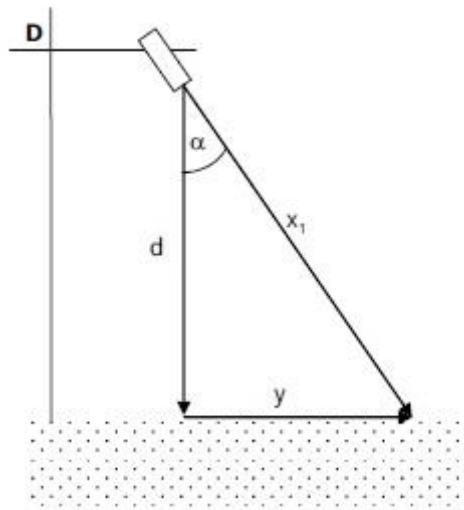
#### Loddrett prosedyre

Fremgangsmåten er hentet fra (Jenoptik, 2014) og er vist i Figur 3.17. Først markeres et punkt rett under sensoren dersom den hadde vært innstilt på 0 °. Avstanden  $y$  fra dette punktet til stedet der laserstrålen treffer bakken måles. Avstanden  $d$  fra sensoren til bakken måles også. Ved å benytte avstanden  $x_1$  fra sensoren til underlaget kan vinkelen  $\alpha$  beregnes fra følgende formel:

$$\alpha = \sin^{-1} \frac{y}{x_1} \quad (3.3)$$

Der  $y$  er den horisontale avstanden mellom punktet rett under sensoren og punktet der laserstrålen treffer bakken, og  $x_1$  er den målte avstanden fra lasersensoren.

Ettersom alle sidene i trekanten er kjent kan vinkelen også beregnes ved hjelp av cosinus og tangens.



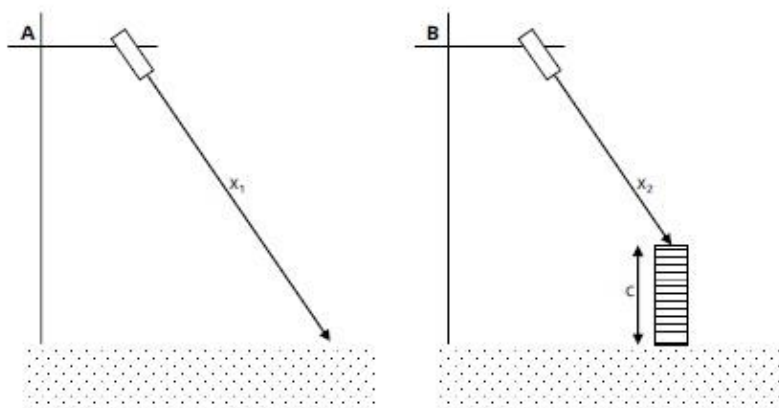
Figur 3.17: Loddrett prosedyre for vinkelberegning. Ved å måle sidene i den rettvinklede trekanten kan vinkelen beregnes. Skisse fra (Jenoptik, 2014).

### Referanseobjekt metoden

Denne metoden benytter seg av et referanseobjekt med kjent høyde som vist i Figur 3.18, og er hentet fra manualen (Jenoptik, 2014). Først utføres en måling til bakkenivå hvor sensoren står i ønsket vinkel, figur A. Deretter plasseres et objekt med kjent høyde i måleområdet, figur B, og ny måling med sensoren utføres. Fra dette kan vinkelen  $\alpha$  beregnes:

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{c}{x_1 - x_2} \quad (3.4)$$

Der  $c$  er høyden på objektet,  $x_1$  er avstanden til bakken og  $x_2$  er avstanden til objektet.



Figur 3.18: Vinkelberegning ved bruk av et referanseobjekt. Når høyden  $c$  på objektet er kjent og  $x_1$  og  $x_2$  måles, kan vinkelen beregnes. Skisse fra (Jenoptik, 2014).

### Avvik i faktisk og registrert snødybde ved feil vinkelverdi

Når sensoren installeres i felt kan vinkelen være vanskelig å bestemme nøyaktig. Det er derfor sett på hvor stort avvik målt snødybde har i forhold til faktisk snødybde dersom vinkelen som er lagt inn i sensoren ikke stemmer overens med montert vinkel. Beregningene er utført ved flere snødybder og vinkler. De teoretiske beregningene er utført ved å anta en fast vinkel og fast høyde som sensoren er montert i. Deretter er avstanden til bakken  $x_1$  beregnet.

$$x_1 = \frac{d}{\cos(\alpha_{sensor})} \quad (3.5)$$

Der  $d$  er avstanden vinkelrett fra sensoren til bakken og  $\alpha_{sensor}$  er vinkelen sensoren er montert i. Avstanden til underlaget som sensoren måler,  $x_2$ , er beregnet fra følgende formel:

$$x_2 = \frac{d-c}{\cos(\alpha_{sensor})} \quad (3.6)$$

Der  $d$  er høyden sensoren er montert i,  $c$  er faktisk snødybde og  $\alpha_{sensor}$  er vinkelen sensoren er montert i.

Snødybden ble deretter beregnet og sammenlignet med faktisk snødybde  $c$ .

$$SA = (x_1 - x_2) * \cos(\alpha_{input}) \quad (3.7)$$

Der  $SA$  er beregnet snødybde,  $x_1$  er avstanden sensoren måler til nullnivået,  $x_2$  er avstanden til overflaten av snødekket og  $\alpha_{input}$  er vinkelen som er lagt inn i sensoren for snødybdeberegning.

## 3.7 Fargevariasjoner og signalstyrke til SHM 30

I programvareversjonen 9.09 og nyere til SHM 30-sensoren skal signalstyrken kunne benyttes til å bestemme om det er snø på underlaget eller ikke. Dersom sensoren registrerer en snødybde på noen få centimeter kan denne verifiseres som korrekt dersom man ved hjelp av signalstyrken kan fastslå at det er snø på underlaget. Ved for lav signalstyrke kan målingen forkastes.

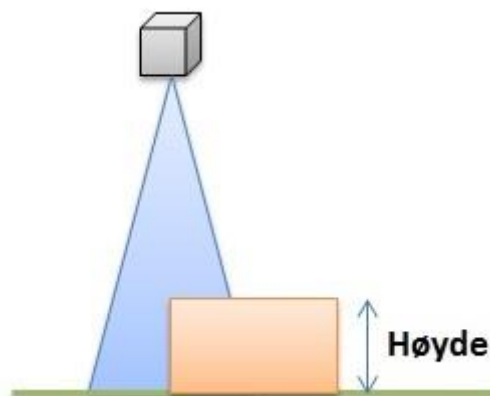
Ved å benytte fargeprøver i ulike gråtoner ble signalstyrken til SHM 30-sensoren undersøkt. Dette for å undersøke om sensorens signalstyrke kan benyttes til å fastslå om det er snø på underlaget eller ikke. Fargene fra Jotun gikk fra hvit til mørk grå, i tillegg ble en mørk grønn farge benyttet. De seks fargene som ble benyttet er vist i Figur 3.19 og kodet fra A til F der A er den lyseste. Fargeprøvene ble lagt i to ulike høyder for å undersøke variasjonen i signalstyrke som følge av snødybden. Høydene de ble lagt i var 0 cm (på bakken) og på en krakk med høyde 43,5 cm. Signalstyrken ble avlest tre ganger, men noen minutters intervall, for hver farge i begge høydene.



Figur 3.19: De ulike fargene som ble testet med signalstyrken til SHM 30. Fargene er kodet fra A til F hvor A er den lyseste hvite og E er mørk grå. F er den grønne fargeprøven.

### 3.8 Ujevnt underlag ved ultralydmåling med SR50A

For å undersøke hvordan et ujevnt snødekke påvirker snødybden som registreres med SR50A-sensoren ble deler av måleområdet hevet høyere enn resten, som vist i Figur 3.20. Det skulle også undersøkes om sensoren registrerte et gjennomsnitt av snødybdene i måleområdet eller om kun laveste eller høyeste verdi ble registrert. En plate som dekket halve måleområdet ble først lagt i tre ulike høyder. Deretter ble platen lagt slik at kun 25 % av måleområdet var dekket og registrert snødybde for to høyder ble notert.

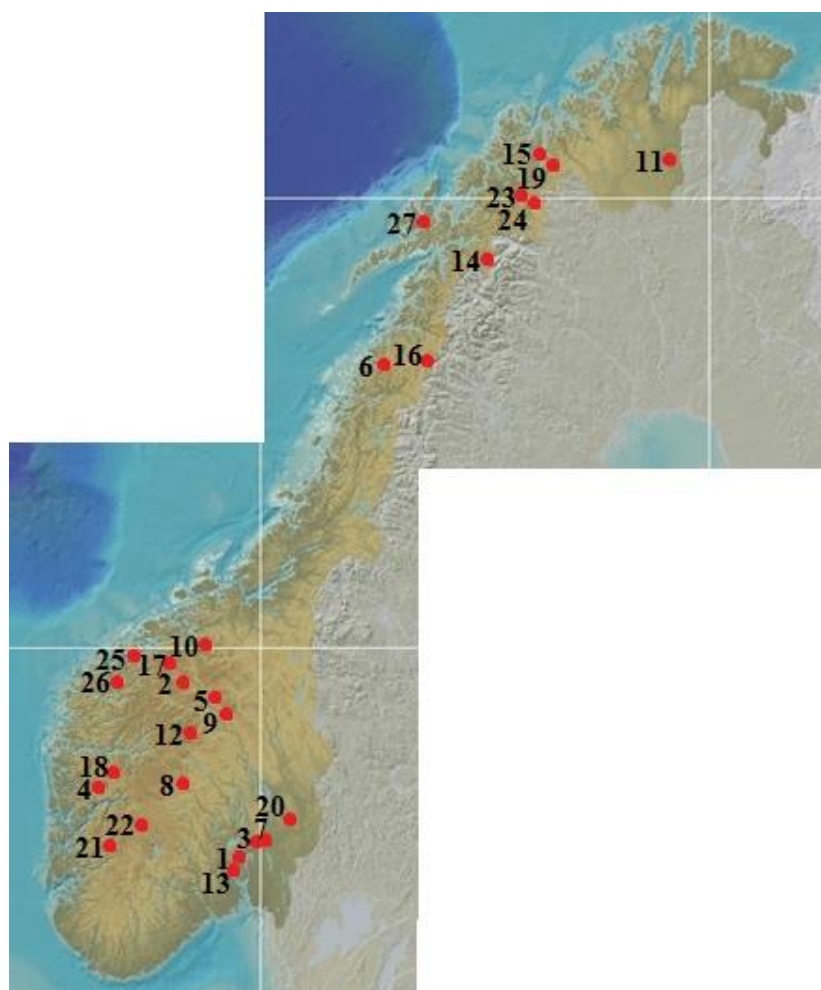


Figur 3.20: Skisse av forsøket der deler av måleområdet var hevet i ulike høyder for å se hvilken snødybde sensoren registrerte. Platen dekket 50 % og 25 % av måleområdet til sensoren.

### 3.9 Analyse av 27 MET-stasjoner med automatisk snødybdemåling

Meteorologisk institutt har i dag 91 stasjoner med automatisk snødybdemåling i Norge (Meteorologisk institutt, 2015c). For å undersøke hvor godt sensorene fungerer ble 27 stasjoner valgt ut. Dataseriene ble analysert for å se hvor ofte sensorene ikke klarer å registrere en snødybde og ved hvilke meteorologiske forhold snødybden ikke registreres korrekt.

13 stasjoner som benytter ultralydsensor og 14 stasjoner med lasersensor ble valgt ut til analysen. Stasjonene er lokalisert over hele landet, som vist i Figur 3.21, og på ulike høyder. I Figur A.2 og Figur A.3 er alle MET-stasjonene vist. Nedbør, lufttemperatur og vind ble sammen med snødybde studert for hver stasjon fra 1. oktober 2014 for de fleste stasjonene, mens på noen stasjoner begynte snødybdemålingene senere enn dette på grunn av sen installasjon av snødybdesensor. Data frem til 30. april 2015 har blitt analysert, men for stasjoner som fremdeles hadde snø på dette tidspunktet ble dette forlenget til 30. juni. Enkelte stasjoner hadde da fremdeles snø. Alle parametrene på stasjonene hadde timesoppløsning.



Figur 3.21: Norgeskart med de utvalgte MET-stasjonene som er analysert. 1) Asker, 2) Bjorli, 3) Bjørnholt, 4) Bulken, 5) Dovre-Lannem, 6) Glomfjord-skihytta, 7) Hakadal jernbanestasjon, 8) Hemsedal II, 9) Høvingen II, 10) Innerdalen, 11) Iškoras II, 12) Juvvasshøe, 13) Konnerud, 14) Losistua, 15) Lyngen-Gjerdvassbu, 16) Lønsdal stasjon, 17) Mannen, 18) Myrkdalen-Vetlebotn, 19) Nordnesfjellet, 20) Nord-Odal, 21) Røldalsfjellet, 22) Sandhaug, 23) Sjuvfjellet, 24) Tamokdalen, 25) Ørskog, 26) Ørsta-Eitrefjell, 27) Ånestadblåheia. Kart fra (Kartverket, 2015).

Asker stasjon er undersøkt nærmere enn de andre stasjonene, og med data fra vinteren 2013-2014 i tillegg til vinteren 2014-2015. Dette fordi ultralydsensoren i Asker ble byttet ut med en sensor med varmeelement (SR50AH) i januar 2015 og man ønsket å se om det førte til mer korrekte målinger og færre feilkoder.

De ukorrekte målingene for hver stasjon ble delt inn i tre kategorier; feilkoder, unormale verdier og avvik. Feilkoder er alle timer hvor sensoren registrerer feilkodene -99999, -99,9 eller -7999. Disse oppstår når det er problemer med kommunikasjonen og ingen av sensorene på stasjonen registrerer noe, eller dersom sensoren ikke har klart å registrere snødybden. Unormale verdier er store negative verdier og høye verdier. Grensen for høye verdier varierer fra stasjon til stasjon avhengig av maksimal snødybde gjennom vinteren og sensorens monteringshøyde. Avvik er enkeltmålinger som er for høye eller lav i forhold til målingene i timene før og etter, men de er sannsynlige snødybder og kan være både lavere og høyere enn reell snødybde.

De ukorrekte målingene i kategorien feilkoder kan automatisk fjernes i et dataprogram ved å slette målinger hvor en feilkode registreres. Unormale verdier vil også være lette å identifisere og kan fjernes ved å programere at snødybder under -10 cm skal fjernes, i tillegg til å fjerne snødybder over grensen for høye verdier for stasjonen. Avvikene vil være de vanskeligste å identifisere. En metode er å se på endringen fra en time til den neste. Dersom det er et sprang over en forhåndsbestemt grense skal målingen fjernes. Grensen må imidlertid være høy nok til at naturlige variasjoner og kraftige snøfall blir korrekt registrert.

Basert på dataseriene er det forsøkt å finne en generell sprangverdi og frysverdi slik at avvik automatisk skal kunne fjernes fra dataseriene. Sprangverdien skal være en grense for hvor stor endring i snødybde som er realistisk fra en time til den neste. Dersom endringen i snødybde mellom to timer er over sprangverdien skal siste måling fjernes. Dersom grenseverdien settes for lavt vil det ved kraftig snøfall ikke registreres riktig snødybde, mens en høy verdi vil godta enkelte ukorrekte målinger i dataserien. En generell sprangverdi som er optimal for alle stasjonene er vanskelig å finne ettersom det er stor variasjon i beliggenhet og snøforhold mellom stasjonene.

Frysverdi er grensen for hvor mange etterfølgende timer som registrerer eksakt samme snødybde som skal godtas i dataseriene. Nøyaktig lik snødybde over lengre tid tyder på at snødybden som registreres ikke er korrekt. For en del stasjoner registreres snødybden med en oppløsning på 1 mm, mens stadig flere stasjoner har kun 1 cm oppløsning. For stasjoner med 1 cm oppløsning vil frysverdien være høyere enn det som er nødvendig der det benyttes 1 mm oppløsning.

## 4. RESULTATER

---

I dette kapittelet vil resultatene fra de ulike forsøkene og analysene bli presentert.

### 4.1 Underlag for automatisk snødybdemåling

I dette delkapittelet vil det blir sett nærmere på de fire ulike underlagene som ble testet på Blindern vinteren 2013-2014 og de samme underlagene sammen med kunstgress som ble testet i Ås vinteren 2014-2015. Resultatene er basert på bilder fra henholdsvis Blindern og Ås, og sammenlignet med manuelle snødybdemålinger som er utført.

Videre vil det bli sett nærmere på noen utvalgte tidsperioder. De valgte periodene fra Blindern er 9.-10. februar 2014 og 13.-14. februar 2014. Fra Ås er periodene 15. januar 2015, 17.-18. februar 2015 og 25.-30. mars 2015 valgt. Disse periodene er valgt fordi dette var perioder hvor snøen smeltet slik at underlagene ble snøfrie. Periodene fra Blindern viser hvordan snøen smelter ulikt på de forskjellige underlagene. Forsøket i Ås hadde få smelteperioder hvor det var mulig å påvise forskjeller mellom underlagene som ikke skyldes eksterne faktorer.

#### Blindern 9.-10. februar 2014

9. februar 2014 begynner snøen å smelte slik at underlagene kommer til syne. Utviklingen i snødekke hver fjerde time er vist i Tabell 4.1 for hvert av underlagene samt omkringliggende gress. Manuell snødybdemåling kl. 06 viser 6 cm med snø. 10. februar kl. 09 er Litex-platen og sanden bar, mens deler av kryssfinerplaten og GRP-platen begynner å bli synlig, se Figur 4.1. I løpet av kvelden 10. februar blir alle platene snøfrie, men manuell snødybdemåling 11. februar var 6 cm.



**Figur 4.1:** Ujevn snøsmelting på Blindern 10. februar 2014 kl. 09:04. Litex-Membranplaten og sanden er fri for snø, mens kryssfiner- og GRP-platen er delvis dekket selv om gresset foran platene er bart.

**Tabell 4.1: Utvikling i snødekket 9.-10. februar 2014 på de fire underlagene som lå på Blindern og omkringliggende gress som er mulig å se på bildene.**

Tid	Kryssfiner	GRP	Litex	Sand	Gress
09.02 kl. 00	Snø	Snø	Snø	Snø	Snø
09.02 kl. 04	Snø	Snø	Snø	Snø	Snø
09.02 kl. 08	Snø	Snø	Bar	Snø	Snø
09.02 kl. 12	Snø	Snø	Bar	Snø	Snø
09.02 kl. 16	½ synlig	Snø	Bar	½ synlig	Snø
09.02 kl. 20	½ synlig	Snø	Bar	¾ synlig	Snø
10.02 kl. 00	½ synlig	Snø	Bar	Bar	Snø
10.02 kl. 04	½ synlig	Snø	Bar	Bar	Snø
10.02 kl. 08	½ synlig	Snø	Bar	Bar	Snø
10.02 kl. 12	½ synlig	½ synlig	Bar	Bar	Flekkvis
10.02 kl. 16	Bar	Bar	Bar	Bar	Flekkvis
10.02 kl. 20	Bar	Bar	Bar	Bar	Flekkvis
11.02 kl. 00	Bar	Bar	Bar	Bar	Flekkvis

Tabell 4.1 viser at Litex-platen først blir snøfri og at dette skjer over 24 timer før gresset omkring begynner å bli synlig. Platen av kryssfiner begynner å smelte tidlig, men bruker lang tid på å bli snøfri. GRP-platen samsvarer best med omkringliggende gress i denne smelteperioden.

#### **Blindern 13.-14. februar 2014**

13. februar 2014 kl. 03 kommer det et snøfall på Blindern. Sanden blir først hvit og ligner på det omkringliggende gresset. Utviklingen i snødekket hver fjerde time er vist i Tabell 4.2. Først kl. 11 er alle platene helt dekket av snø. Når snøen så smelter er det igjen Litex-platen som først blir bar, deretter kryssfinerplaten. Som vist i Figur 4.2 ser der ut til at GRP-platen smelter ganske likt som gresset omkring. Sanden er den siste til å bli snøfri

**Tabell 4.2: Utvikling i snødekke på de ulike underlagene på Blindern 13.-14. februar 2014.**

Tid	Kryssfiner	GRP	Litex	Sand	Gress
13.02 kl. 00	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar
13.02 kl. 04	Bar	Bar	Bar	Snø	Snø
13.02 kl. 08	Bar	Bar	Bar	Snø	Snø
13.02 kl. 12	Snø	Snø	Snø	Snø	Snø
13.02 kl. 16	Snø	Snø	Snø	Snø	Snø
13.02 kl. 20	Snø	Snø	Snø	Snø	Snø
14.02 kl. 00	Snø	Snø	Smeltet i kantene	Snø	Snø
14.02 kl. 04	Snø	Snø	½ synlig	Snø	Snø
14.02 kl. 08	Smeltet i kantene	Snø	Bar	Snø	Snø
14.02 kl. 12	Bar	Bar	Bar	½ synlig	Bar
14.02 kl. 16	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar





**Figur 4.2:** Snødekke på Blindern 14. februar 2014 kl. 09:01. GRP-platen nest øverst smelter mest likt gresset omkring, mens kryssfinerplaten og Litex-Membranplaten allerede er bsnøfrie.

### Ås 15. januar 2015

Som følge av vind fra sydøst (8,7 m/s målt 10 meter over bakken) har snø fra målemasten blåst ned på testfeltet, se Figur 4.3, og dette påvirker smeltingen 15. januar og dagene etter. I timene etter kl. 16 ser man tydelig at det smelter mest rundt hullene fra snøkastene ved at hullene blir stadig større. Fra den manuelle snødybdemålingen er det registrert 5 cm snø 15. januar. Temperaturene 15. januar 2015 lå mellom  $-1,0$  °C og  $4,5$  °C gjennom døgnet.



**Figur 4.3:** Eksempel på snøkast fra målemasten. Snøen smelter først rundt hullene som er dannet i snødekke og gjør at forskjellene i smelting på de ulike underlagene ikke kan benyttes til å påvise forskjeller mellom underlagene.

### Ås 17.-18. februar 2015

Som følge av vind 7. februar blåste det snø fra nord og dannet et ujevnt snødekke over testplatene. Snødybden var størst nærmest målemasten. 16. februar var det snødekt i sydøst, mens den nordvestlige halvdelen var islagt som vist i Figur 4.4. Kl. 01 den 17. februar 2015 kom det litt ny snø, men snødekket var likevel fremdeles ujevnt. Snøen oppå isen forsvant først. I løpet av 18. februar kan det se ut som snødekket har en jevn overflate av slaps og vann. Mens Søråsfeltet er bart blir platene liggende under is. Temperaturene lå stort sett over 0 °C (minimumstemperatur 17. februar var -0,2 °C) og manuelt målt snødybde 17. februar var 3 cm, mens det 18. februar var flekkvis snødekke (0 – 4 cm).



Figur 4.4: Ujevnt snødekke i Ås 17. februar 2015. Den sydvestlige halvdelen er snødekt, mens resten er dekket av is, og islaget er tynnere enn snølaget.

### Ås 25.-30. mars 2015

Natt til 26. mars begynner det å snø i Ås. Alle underlagene, med unntak av kunstgress, har hvit overflate kl. 23:30, som vist i Figur 4.5. Naturlig gress rundt testfeltet har omtrent samme dekke som kunstgresset som følge av at snø legger seg mellom gresstråene. Etterhvert som det snør blir hele bakken snødekt og utviklingen i dekket på de ulike underlagene er vist i Tabell 4.3 fra det begynner å snø til alle underlagene er snøfrie. 26. mars registreres det 22 cm snø manuelt. Kl. 17:30 samme dag har snødybden økt til 29 cm. Natt til 27. mars synker snøen sammen og snødybden blir registrert til 23 cm. Snødybden avtar gradvis gjennom 27. mars og 28. mars, men snødybden er ikke målt 28. eller 29. mars. 30. mars er det manuelt registrert 1,5 cm snø.



Figur 4.5: 25. mars 2015 faller snø på bar bakke i Ås. De fire underlagene til høyre har hvite overflater, mens kunstgressmatten har likhetstrekk med det naturlig gresset omkring.

Tabell 4.3: Utvikling i snødekket på de fem underlagene og omkringliggende gress i Ås 25.-30. mars 2015. Perioden fra 26. mars kl. 04 til 29. mars kl. 12 er utelatt i tabellen fordi alle platene og gresset var snødekt i denne perioden.

Tid	Sand	Kryssfiner	Kunstgress	GPR	Litex	Gress
25.03 kl. 20	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar
26.03 kl. 00	Snø	Snø	Snø	Snø	Snø	Snø
26.03 kl. 04	Snø	Snø	Snø	Snø	Snø	Snø
29.03 kl. 12	Snø	Snø	Snø	Snø	Snø	Snø
29.03 kl. 16	½ synlig	Snø	Snø	Hjørne synlig	Snø	Snø
29.03 kl. 20	¾ synlig	Snø	¼ synlig	½ synlig	Snø	Snø
30.03 kl. 00	¾ synlig	Snø	¼ synlig	½ synlig	Snø	Snø
30.03 kl. 04	Bar	Snø	½ synlig	¾ synlig	Snø	Flekkvis
30.03 kl. 08	Bar	¼ synlig	½ synlig	Bar	Smeltet i kanten	Flekkvis
30.03 kl. 12	Bar	Bar	Bar	Bar	½ synlig	Flekkvis
30.03 kl. 16	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar

Fra Tabell 4.3 er det tydelig at snøen som ligger på sanden og GRP-platen smelter raskere enn gresset omkring. Litex-platen bruker derimot lengre tid på å smelt enn gresset. Som man kan se fra Tabell 4.3 og Figur 4.6 ser det ut som kunstgresset og kryssfinerplaten har størst likhet med naturlig gress rundt i denne smelteperioden. Kl. 12:30 er det kun litt snø igjen på Litex-platen og ellers på naturlig underlag.



Figur 4.6: Variasjon i snødekke på de ulike underlagene ved smelting. Sand og GRP-platen er nesten helt bare, mens Litex-Membranplaten er nesten helt dekket. Ved å sammenligne med omkringliggende gress er overflaten på kryssfinerplaten og kunstgresset mest likt naturlig gress.

## 4.2 Verifisering av vinkelen til SHM 30-lasersensoren

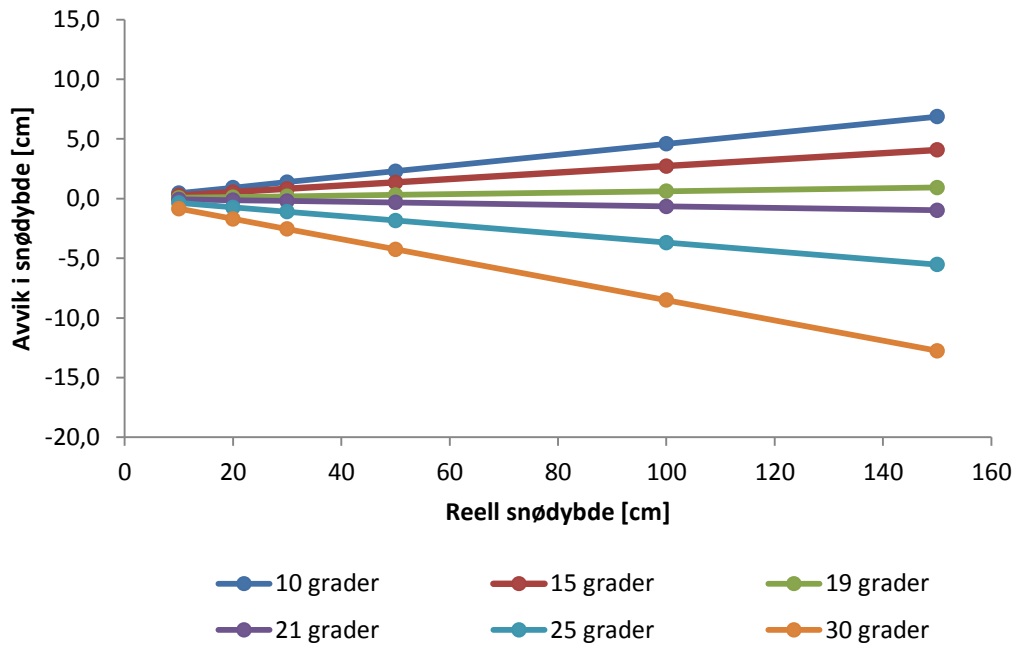
Vinkelen som lasersensoren i Ås var montert i, og om denne stemte overens med innlagt vinkel på  $30^\circ$ , skulle undersøkes. Verifisering av vinkelen som SHM 30-sensoren ble montert i ble utført med tre ulike metoder som beskrevet i kapittel 3.6, og beregnet fra formel 3.3 og 3.4, og ved bruk av vinkelfunksjon på en laser avstandsmåler. Beregningene av monteringsvinkelen viste at vinkelen varierte mellom  $29,0^\circ$  og  $30,8^\circ$ . For tre målinger utført med laser avstandsmåler var snittet  $29,8^\circ \pm 1,0^\circ$ . Resultatene er vist i Tabell 4.4 og er et snitt av flere målinger og beregninger. Vinkelen ble målt tre ganger med laseravstandsmåleren, mens for referanseobjekt metoden ble kun en beregning utført. For loddrett prosedyre ble vinkelen beregnet med både sinus, cosinus og tanges. Resultatene viser at monteringsvinkelen var  $30,0^\circ \pm 1,0^\circ$  basert på alle beregningene. For alle vinkelberegninger, utenom bruk av laser avstandsmåleren, har de ulike lengdene blitt målt manuelt og det vil være en usikkerhet i disse målingene.

Tabell 4.4: Beregnet vinkel for SHM 30 ved bruk av vinkelfunksjon på en laser avstandsmåler og de to beregningsmetodene hentet fra brukermanualen. I tillegg til usikkerheten i metodene knyttet til ulike beregningsmetoder og det også en usikkerhet i avstandene som er brukt til beregningene ettersom disse er målt manuelt.

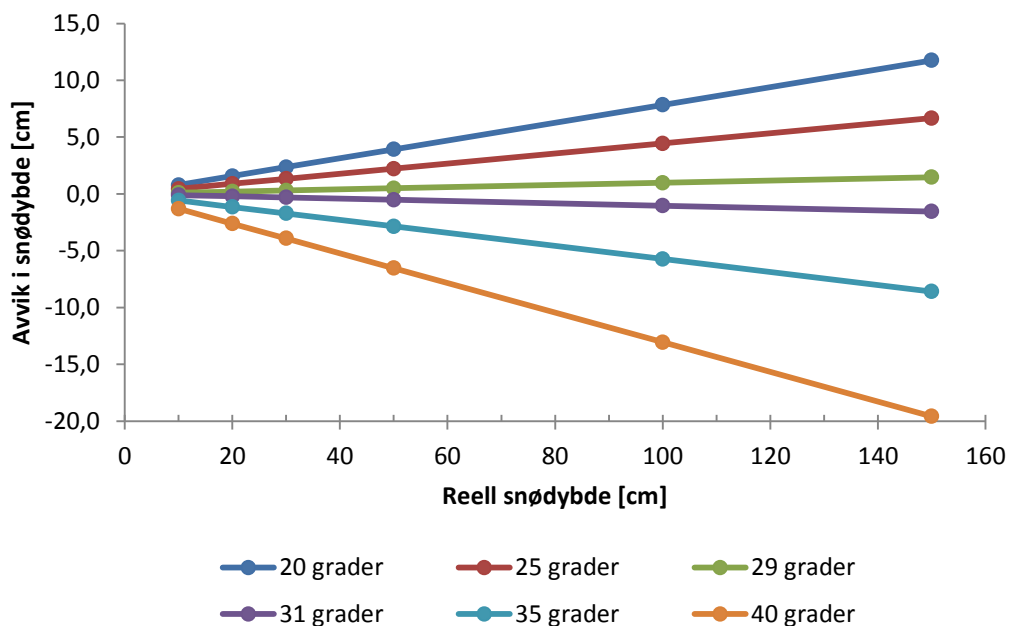
Metode	Vinkel
Laser avstandsmåler	$29,8^\circ \pm 1,0^\circ$
Loddrett metode	$30,4^\circ \pm 0,5^\circ$
Referanseobjekt metode	$29,5^\circ$ <sup>10</sup>

<sup>10</sup> Kun en beregning er utført og vinkelberegningen har ingen usikkerhet.

Fordi nøyaktig monteringsvinkel er vanskelig å bestemme nøyaktig i felt har teoretiske beregninger blitt utført. Beregningene skulle undersøke hvor store avvik det er mellom registrert snødybde med lasersensoren og riktig snødybde ved ulike snødybder og vinkelavvik. Resultatene fra de teoretiske beregningene er vist i Figur 4.7 og Figur 4.8 for snødybder på 10-150 cm. Beregningene er utført ved å anta at sensoren er montert 400 cm over bakken og at vinkelen som er lagt inn i sensoren er henholdsvis 20 ° og 30 °.



Figur 4.7: Avvik i snødybde for ulike monteringsvinkler for SHM 30-sensoren og ulike snødybder. 20 ° er lagt inn i sensoren.



Figur 4.8: Avvik i snødybde for ulike monteringsvinkler for SHM 30-sensoren og ulike snødybder. 30 ° er lagt inn i sensoren.



Dersom vinkelen som er lagt inn i sensoren er 30 °, men sensoren er montert i 25 ° vil snødybden ved 20 cm snø bli registrert som 19,1 cm. Ved 100 cm snø vil sensoren registrere 95,6 cm. Dersom sensoren var montert 5 ° for lavt når inngangsverdien er 20 ° vil sensoren registrere 19,5 cm og 97,3 cm snø når det er henholdsvis 20 cm og 100 cm snø i virkligheten.

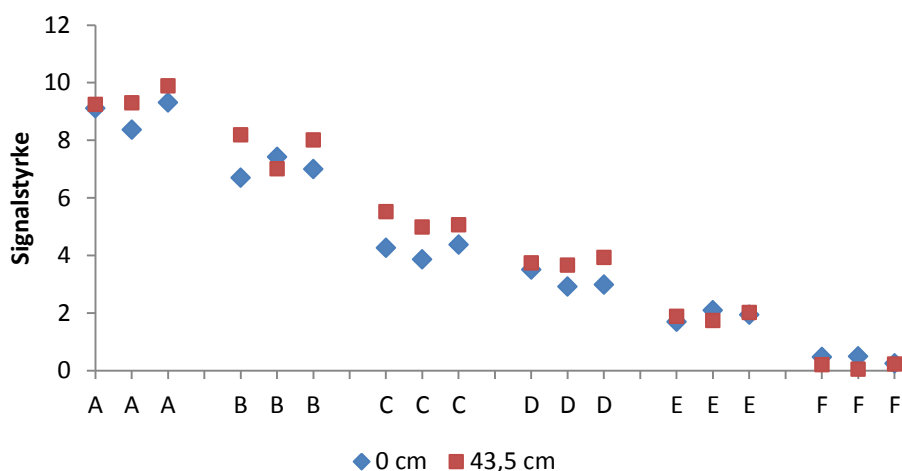
Tabell 4.5 viser prosentavviket i snødybde for vinkelavvik på  $\pm 1^\circ$ ,  $\pm 5^\circ$  og  $\pm 10^\circ$  ved innlagt vinkel på 20 ° og 30 °. Prosentavviket påvirkes ikke av snødybden og er konstant for hvert vinkelavvik. Dersom sensoren står i en mindre vinkel enn det som er lagt inn vil den registrere mindre snø enn det som er reelt, mens ved en større vinkel vil sensoren overestimere snødybden. Avviket er lavere for 20 ° enn ved 30 °.

**Tabell 4.5: Forskjell i faktisk og registrert snødybde for avvik mellom montert vinkel og innlagt vinkel i sensor. Prosentavvikene er konstante for hvert vinkelavvik og endres ikke ved endring i snødybde.**

Vinkelavvik	Avvik i snødybde	
	Inngangsverdi 20 ° [%]	Inngangsverdi 30 ° [%]
-10 °	4,6	7,8
-5 °	2,7	4,4
-1 °	0,6	1,0
1 °	-0,7	-1,0
5 °	-3,7	-5,7
10 °	-8,5	-13,1

### 4.3 Signalstyrken til SHM 30 ved ulike farger

For å undersøke om signalstyrken til SHM 30-sensoren kan benyttes til å påvise snø på underlaget ble sensoren testet med seks ulike farger i to forskjellige høyder. Forsøket ble utført en klar dag med sol. Resultatene er vist i Figur 4.9 og viser tydelig at signalstyrken avtar når underlaget blir mørkere. Fra grafen ser man også at signalstyrken er høyere dersom avstanden til sensoren blir kortere, med unntak av den mørkest grå og den grønne fargeprøven. Ved målinger på bakkenivå registrert sensoren i snitt 0,26 cm snø, mens for målingene med fiktiv snødybde på 43,5 cm registrerte sensoren en snødybde på 43,7 cm. Det er her tydelig at nullnivået som er lagt inn i sensoren har et avvik på 0,3 cm. Dette kan være fordi nullnivået ikke har blitt justert etter at en GRP-plate ble lagt ut som underlag.



Figur 4.9: Signalstyrke til SHM 30-sensoren ved ulike farger og i to høyder; 0 cm og 43,5 cm. A er den lysteste hvite, E er mørk grå, mens F er en mørk grønn farge. Signalstyrken avtar tydelig etterhvert som fargen på underlaget blir mørkere. Med unntak av E og F er signalstyrken høyere dersom underlaget er nærmere sensoren.

#### 4.4 SR50A-sensor og ujevnt snødekke

For å undersøke om ultralydsensoren SR50A registrerte avstanden til det høyeste objektet i måleområdet, det laveste punktet eller et gjennomsnitt ble en plate lagt inn i deler av målefeltet og registrert snødybde avlest. Platen ble lagt slik at den dekket deler av måleområdet til SR50A-sensoren for å se på effekten av ujevnt snødekke. Resultatene med målt høyde på plate og registrert snødybde er vist i Tabell 4.6. Fra dette er det tydelig at selv med kun 25 % forhøyet område er det den største snødybden som registreres. Ved alle målingene er kvalitetstallet til sensoren innenfor det som regnes som en god måling, men kvalitetstallet øker når mindre av måleområdet er forhøyet. Ved 50 % forhøyet måleområdet og 49 cm platehøyde var kvalitetstallet 169, mens ved 25 % forhøyet måleområde i 53 cm økte kvalitetstallet til 195. Kvalitetstallet økte også med økende fiktiv snødybde.

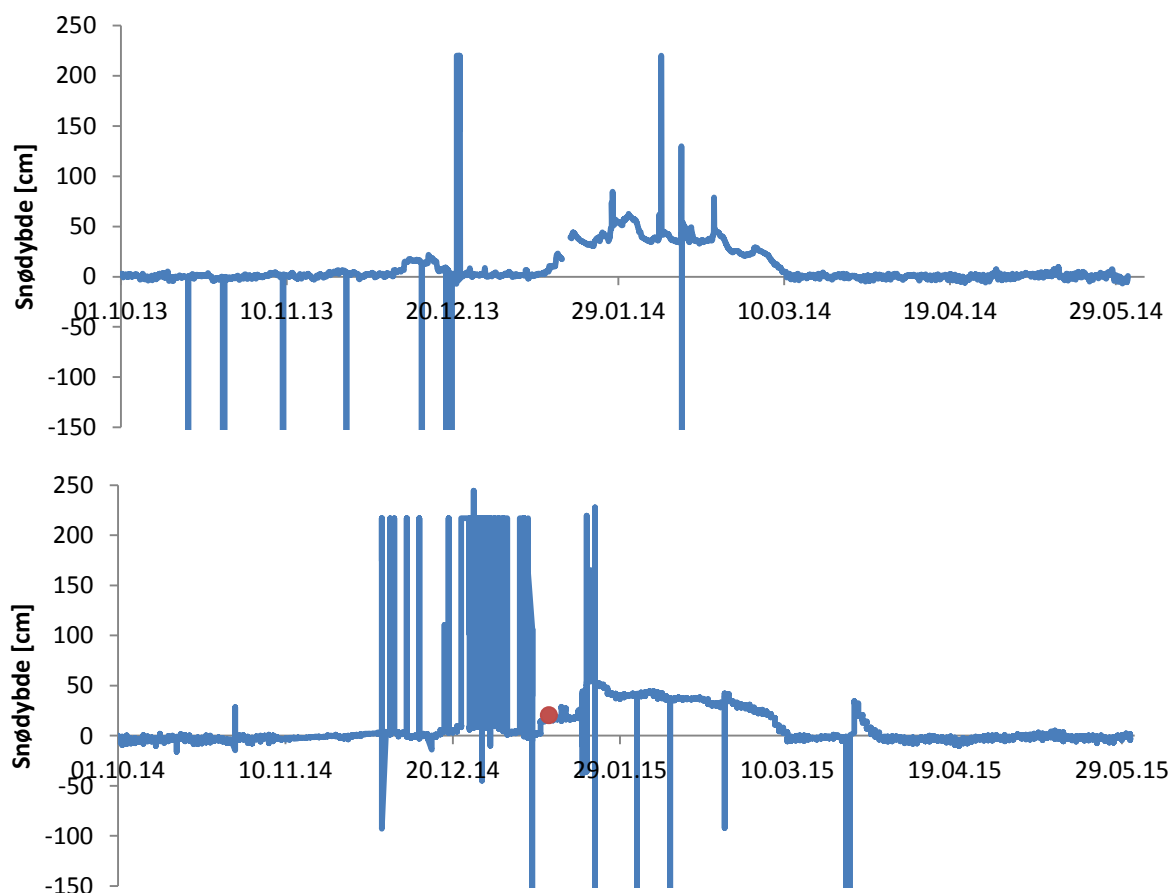
Tabell 4.6: Registrert snødybde for ultralydsensoren ved ulike høyde på underlaget. Ved alle høydene og både 50 % og 25 % forhøyet området registrerer SR50A den største snødybden i måleområdet.

Andel av måleområdet som var forhøyet	Platehøyde [cm]	Snødybde [cm]	Kvalitetstall
50 %	48,5	47,9	169
	63,2	61,9	191
	78,9	76,9	192
25 %	10,1	8,9	177
	52,5	51,9	195

## 4.5 Sammenligning av dataserier i Asker

12. januar 2015 ble SR50A-sensoren i Asker erstattet med en nyere utgave med varmeelement, SR50AH. Det ble registrert mye ukorrekte målinger i desember 2014 og sensoren måtte byttes. En sensor med varmeelement ble valgt for å undersøke om den oftere viste riktige snødybder. Figur 4.10 viser registrert snødybde med alle ukorrekte målinger i Asker for vinteren 2013-2014 øverst og 2014-2015 nederst. Det røde punktet i den nederste grafen viser når sensoren ble byttet. Det er tydelig at begge sensorene har enkelte timer med feilkoder. Måneden før sensorbytte er preget av mange høye målinger som ikke er reelle. En sammenligning av målingene med de to sensorene er vist i Tabell 4.7. De ukorrekte målingene er klassifisert som feilkoder, unormale verdier og avvik, som beskrevet i kapittel 3.9. I tillegg er antall negative verdier inkludert. Dette er alle verdier under 0 cm, også store negative verdier, men inkluderer ikke feilkodene.

Andelen feilkoder er 0,3 % for både SR50A- og SR50AH-sensoren, basert på data fra vinteren 2013-2014 og vinteren 2014-2015. SR50A har 50 avvik, mens SR50AH ikke har noen. Andelen unormale verdier er størst for den eldste sensoren, mens den nye har høyere andel negative målinger.



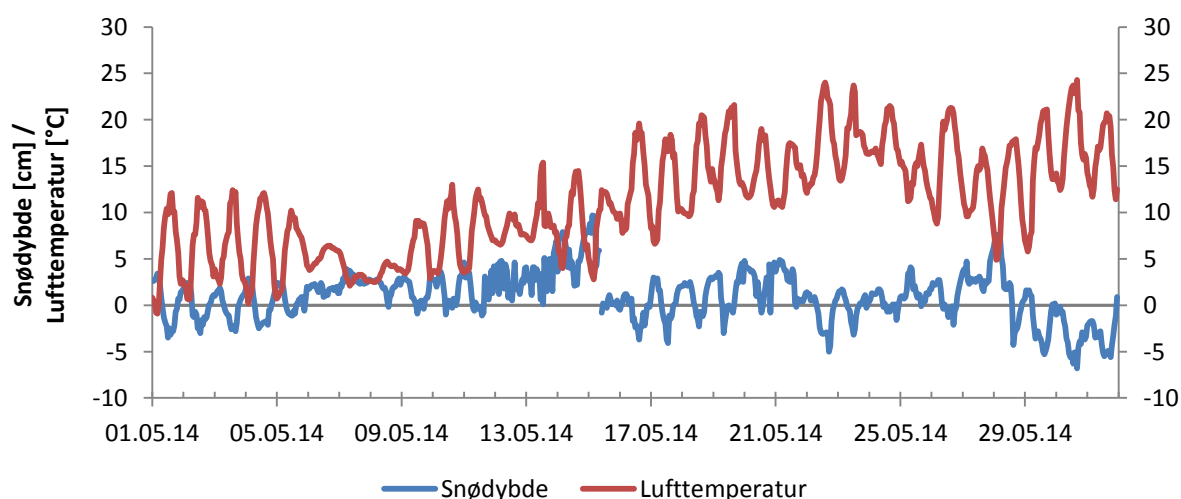
Figur 4.10: Ukorrekte snødybdemålinger i Asker vinteren 2013-2014 og vinteren 2014-2015. Den røde prikken markerer tidspunktet for sensorbyttet (12. januar 2015). Hullet i januar 2014 skyldes at det i to døgn ikke ble registrert noe på stasjonen. De to grafene har lik grunnstruktur, men tidspunktene for feilkoder og unormale verdier varierer. Måneden før sensorbytte har sensoren registrert mange høye snødybder som ikke er reelle. Feilkode -99999 tilsvarer alle stedene hvor grafen går ned til -150 cm.



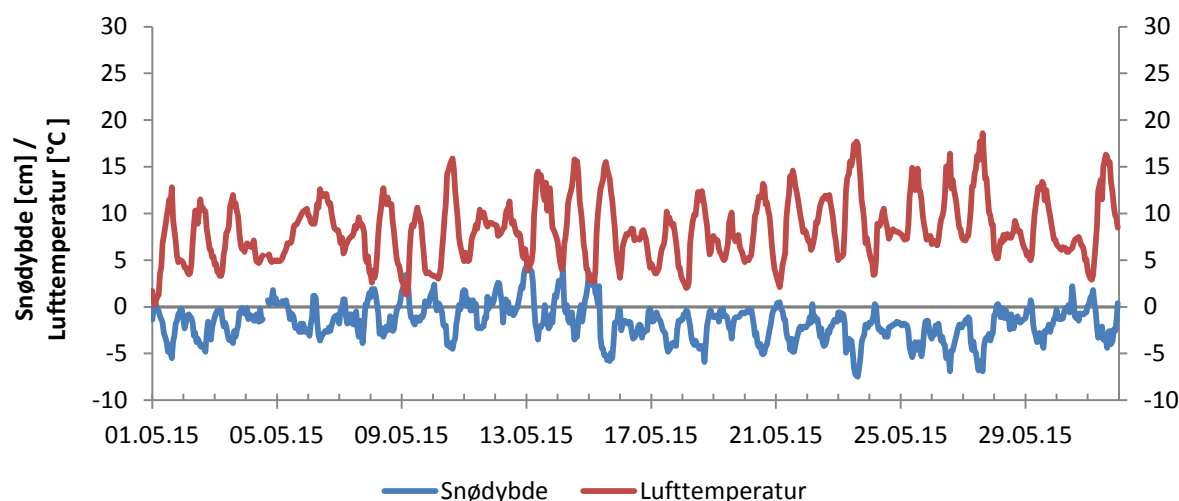
Tabell 4.7: Sammenligning av feilkoder, unormale verdier, negative snødybder og avvik før og etter sensorbytte i Asker. SR50A-sensorene har større andel unormale verdier hvor de fleste er i måneden før bytte.

	2013-2015 SR50A	2015 SR50AH
<b>Antall målinger</b>	8255	3360
<b>Antall feilkoder</b>	25	11
<b>Antall unormale verdier</b>	253	9
<b>Antall negative snødybder</b>	2706	1659
<b>Antall avvik</b>	50	0
<b>Andel feilkoder, %</b>	0,3	0,3
<b>Andel unormale verdier, %</b>	3	0,3
<b>Andel negative målinger, %</b>	33	49
<b>Andel avvik, %</b>	0,6	0,0

Figur 4.11 og Figur 4.12 viser registrert snødybde og lufttemperatur i Asker i mai i henholdsvis 2014 og 2015. Begge grafene viser store svingninger i både lufttemperatur og snødybde, og disse er i motfase. Den registrerte snødybden varierer mellom  $-6,8$  cm og  $9,7$  cm i mai 2014 og mellom  $-7,5$  cm og  $5,2$  cm i mai 2015, som vist i Tabell 4.8. Variasjonen i lufttemperatur gjennom døgnet ligger over  $10$  °C i både 2014 og 2015. Asker hadde ikke snø i mai verken i 2014 eller 2015, selv om ultralydsensoren har registrert opptil henholdsvis  $9,7$  cm og  $5,2$  cm. Også oktober 2013 og oktober 2014 er preget av svingninger i lufttemperaturen, med lufttemperaturer ned mot  $0$  °C enkelte netter. Også disse to månedene har svingninger i snødybde i motfase med lufttemperaturen. Oktober 2014 har ikke like tydelige svingninger i motfase som i oktober 2013, mai 2014 og mai 2015, med unntak av de store variasjonene.



Figur 4.11: Lufttemperatur og målt snødybde med SR50A-sensor i Asker i mai 2014. Både lufttemperaturen og snødybden varierer gjennom døgnet og er i motfase. Hullet i måleserien skyldes en ukorrekt verdi som er fjernet.

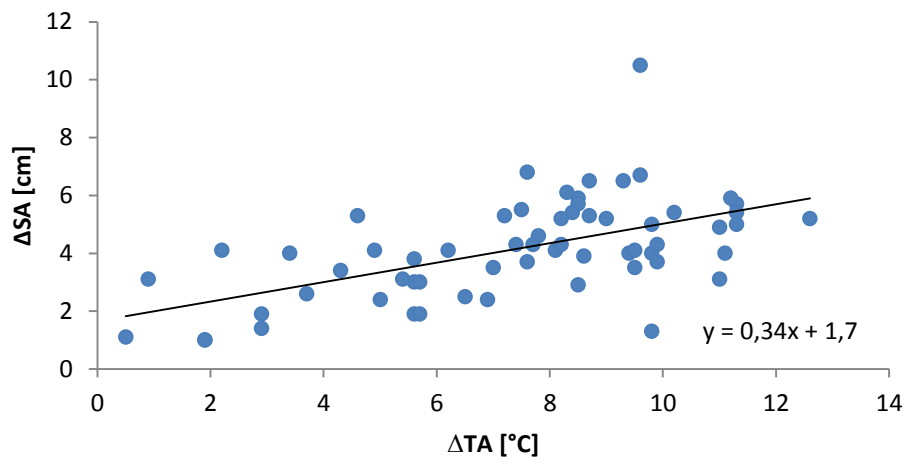


Figur 4.12: Lufttemperatur og målt snødybde med SR50AH-sensor i Asker i mai 2015. Både lufttemperaturen og snødybden varierer gjennom døgnet og er i motfase. Hullet i måleseriene skyldes et sensorutfall to timer 4. mai 2015.

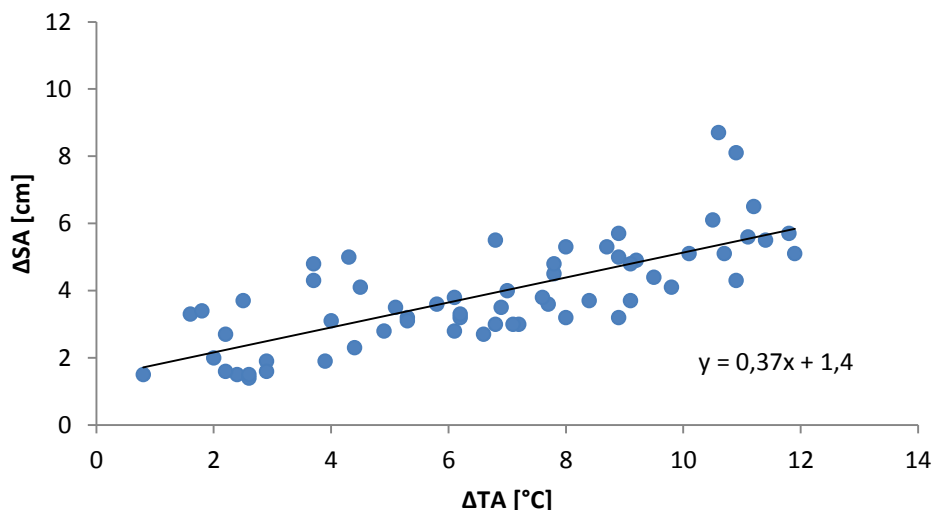
Tabell 4.8: Maksimum- og minimumsverdier for snødybde og lufttemperatur i Asker i mai 2014 og mai 2015.

	Min snødybde [cm]	Maks snødybde [cm]	Min lufttemperatur [°C]	Maks lufttemperatur [°C]
<b>Mai 2014</b>	-6,8	9,7	-0,9	24,3
<b>Mai 2015</b>	-7,5	5,2	0,2	18,6

I Figur 4.13 og Figur 4.14 er forskjellen mellom høyeste og laveste registrerte lufttemperatur (TA) og snødybde (SA) hver 12. time plottet mot hverandre. Dette for å undersøke hvordan snødybden som registreres varierer med store endringer i lufttemperatur gjennom døgnet. Fra trendlinjene fremgår det at dersom differansen mellom minimumstemperatur og maksimumstemperatur øker med 1 °C, så vil forskjellen mellom minimum- og maksimumsnødybde øke med 0,34 cm i 2014 og 0,37 cm i 2015.



Figur 4.13: Forskjell mellom høyeste og laveste registrerte lufttemperatur (TA) og snødybde (SA) for hver 12. time i mai 2014 i Asker. Store variasjoner i lufttemperatur gir også store variasjoner i snødybde.



Figur 4.14: Forskjell mellom høyeste og laveste registrerte lufttemperatur (TA) og snødybde (SA) for hver 12. time i mai 2015 i Asker. Store variasjoner i lufttemperatur gir også store variasjoner i snødybde.

## 4.6 Utvalgte MET-stasjoner med automatisk snødybdemåling

12 stasjoner med ultralydsensoren SR50A, SR50 eller SR50AH, og 13 stasjoner med lasersensoren SHM 30 ble valgt ut. Nedbør, lufttemperatur og vinddata (der det var tilgjengelig) ble benyttet i analysene av snødybdemålingene ved hver stasjon for vinteren 2014-2015. Dataseriene ble analysert med hensyn på antall og type feil, som beskrevet i kapittel 3.9, og undersøkt ved hvilke forhold de ikke viste korrekt snødybde. Stasjonsnavn, kommune, høyde over havet og andelen av hver gruppe med ukorrekte målinger for hver enkelt stasjon er vist i Tabell 4.9 for stasjoner med ultralydsensor og Tabell 4.10 for stasjoner med lasersensor.

Prosentandelene for hver feilkategori er delt inn i intervaller og i Tabell 4.11 er antall stasjoner i hver kategori vist. Fordelingen viser at antall stasjoner som har unormale verdier og avvik i hvert intervall er lik for stasjoner med SR50A og SHM 30. Det er to flere SHM 30 stasjoner med feilandel over 10 % enn for stasjoner med SR50A. Dette er ikke en signifikant forskjell på sensorene. Flertallet av både stasjoner med SR50A- og SHM 30-sensor har prosentandel unormale verdier og prosentandel avvik under 1 %, mens nesten hver tredje stasjon har over 10,1 % feilkoder i dataserien som er analysert.

**Tabell 4.9: Oversikt over avvik ved analyserte stasjoner med ultralydsensor. Andelen feilkoder, unormale verdier og avvik og varierer mellom stasjonene, men flertallet har ukorrekte målinger innenfor et akseptabelt nivå. På Nordnesfjellet er det i hovedsak registrert 0 cm og 3,8 cm og de fleste målingene her er antagelig ikke korrekte.**

Stasjonsnavn	Kommune	Høyde [moh]	Underlag	Feilkode [%]	Unormale verdier [%]	Avvik [%]
<b>Asker</b>	Asker	163	Gress	0,2	4,4	0,4
<b>Bjorli</b>	Lesja	579	Sand	0,1	0,1	0,0
<b>Bjørnholt</b>	Oslo	360	Kryssfinerplate	0,2	0,0	0,0
<b>Hakadal jernbanestasjon</b>	Nittedal	170	Sand	1,7	0,0	0,0
<b>Hemsedal II</b>	Hemsedal	604	Gress	0,3	0,4	0,1
<b>Juvvasshøe</b>	Lom	1894	Fjell	0,8	0,2	0,6
<b>Konnerud</b>	Drammen	193	Heller	17,8	8,3	1,0
<b>Lyngen-Gjerdvassbu</b>	Lyngen	710	Stein	0,0	0,0	0,2
<b>Lønsdal stasjon</b>	Saltdal	520	Fjell	11,4	0,5	0,1
<b>Mannen</b>	Rauma	1294	Fjell	0,2	8,4	6,2
<b>Nordnesfjellet</b>	Kåfjord	700	Gress	1,1	0,0	27,5
<b>Sandhaug</b>	Eidfjord	1250	Gress	17,2	0,0	0,5
<b>Sjufjellet</b>	Balsfjord	1020	Stein	0,0	1,8	2,6

**Tabell 4.10: Oversikt over ukorrekte snødybdemålinger ved analyserte stasjoner med lasersensor. Andelen feilkoder, unormale verdier og avvik varierer mellom stasjonene, men flertallet har ukorrekte målinger innenfor et akseptabelt nivå. Ørskog har etter 18. desember kun registrert 0 cm utenom feilkoder, og dataserien er antagelig ikke korrekte fra denne dagen.**

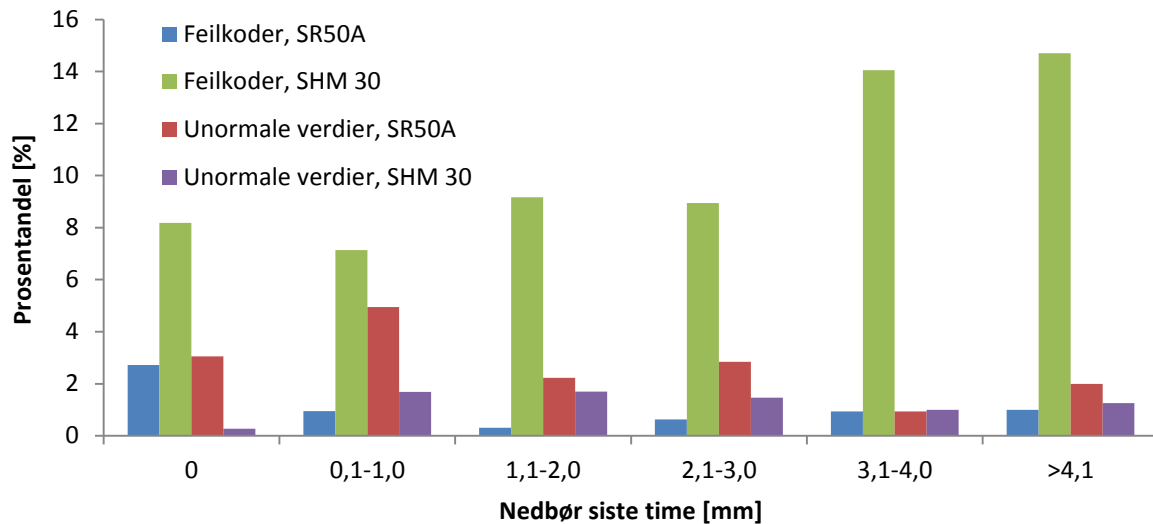
Stasjonsnavn	Kommune	Høyde [moh]	Underlag	Feilkode [%]	Unormale verdier [%]	Avvik [%]
<b>Bulken</b>	Voss	328	GRP-plate	49,3	0,0	0,0
<b>Dovre-Lannem</b>	Dovre	560	Grus	0,6	0,7	0,0
<b>Glomfjord-skihytta</b>	Meløy	520	Fjell	5,8	4,7	1,6
<b>Høvringen II</b>	Sel	940	Stein	0,0	0,6	0,0
<b>Innerdalen</b>	Sunndal	405	Gress	0,2	0,0	0,0
<b>İskoras II</b>	Karasjok	591	Jord	10,3	1,5	0,2
<b>Losistua</b>	Narvik	740	Fjell	5,1	0,0	2,9
<b>Myrkdalen-Vetlebotn</b>	Voss	700	Gress	7,2	0,0	0,0
<b>Nord-Odal</b>	Nord-Odal	147	GRP-plate	15,7	0,0	0,0
<b>Røldalsfjellet</b>	Odda	1010	Gress	0,2	2,0	14,6
<b>Tamokdalen</b>	Balsfjord	230	Jord	0,1	0,0	0,1
<b>Ørskog</b>	Ørskog	29	Gress	19,8	0,0	0,0
<b>Ørsta-Eitrefjell</b>	Ørsta	690	Gress	0,1	0,3	0,1
<b>Ånestadblåheia</b>	Sortland	500	Stein	17,5	1,9	4,9

**Tabell 4.11: Sammenligning av antall stasjoner med de ulike feilene fordelt på stasjoner med ultralyd- og lasersensor. Med unntak av antall stasjoner med mye feilkoder er de to sensorene like i forhold til hvor mange stasjoner som har unormale verdier og avvik.**

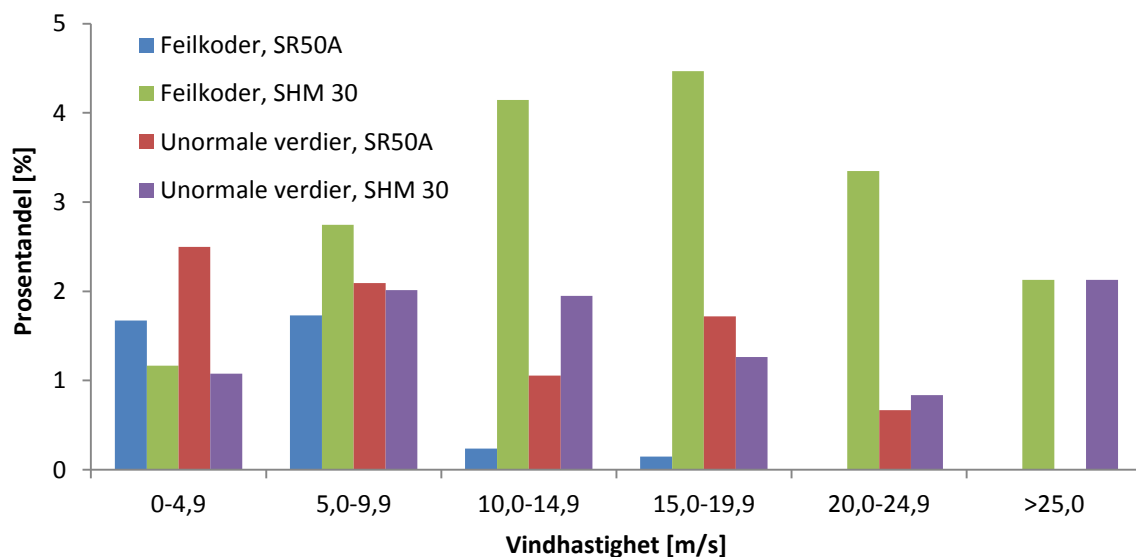
	Feilkoder [%]			Unormale verdier [%]			Avvik [%]		
	0-1	1,1-10,0	>10,1	0-1	1,1-10,0	>10,1	0-1	1,1-10,0	>10,1
<b>Ultralyd</b>	8	2	3	9	4	0	10	2	1
<b>Laser</b>	6	3	5	10	4	0	10	3	1
<b>Totalt</b>	14	5	8	19	8	0	20	5	2

Videre er det undersøkt ved hvilke nedbørsintensiteter og vindhastigheter det er størst hyppighet av feilkoder og unormale verdier ved alle stasjonene. Prosentandelene for ultralyd- og lasersensorene er vist i Figur 4.15 for ulike nedbørsintensiteter og i Figur 4.16 for ulike vindhastigheter. Andelen feilkoder er signifikant høyere ved stasjoner som benytter SHM 30 sammenlignet med stasjoner med SR50A ved alle nedbørsintensitetene. Dette er også tilfelle ved vindstyrke over 10,0 m/s. Stasjoner med SR50A har større andel unormale verdier ved nedbør siste time under 1,0 mm enn stasjoner med SHM 30. Ved større nedbørsintensiteter er andelen unormale verdier ikke signifikant forskjellig mellom de to sensortypene.

Andelen feilkoder ved stasjoner som benytter SR50A er størst ved vindhastigheter under 10,0 m/s, mens feilkodeandelen ser ut til å være normalfordelt for stasjoner med SHM 30. Det ser ikke ut til å være en signifikant forskjell mellom SR50A og SHM 30 når det gjelder andelen unormale verdier og vindstyrken som er registrert.



Figur 4.15: Prosentfordelingen av feilkoder og unormale verdier for SR50A og SHM 30 ved ulike nedbørsintensiteter.



Figur 4.16: Prosentfordeling av feilkoder og unormale verdier fordelt på ulike vindhastigheter og SR50A- og SHM 30-sensor.

For alle de 27 MET-stasjonene er det i Tabell 4.12 listet opp forslag til sprangverdi og frysverdi som gjør at flest mulig ukorrekte målinger fjernes automatisk fra dataseriene, samtidig som riktige verdier beholdes.

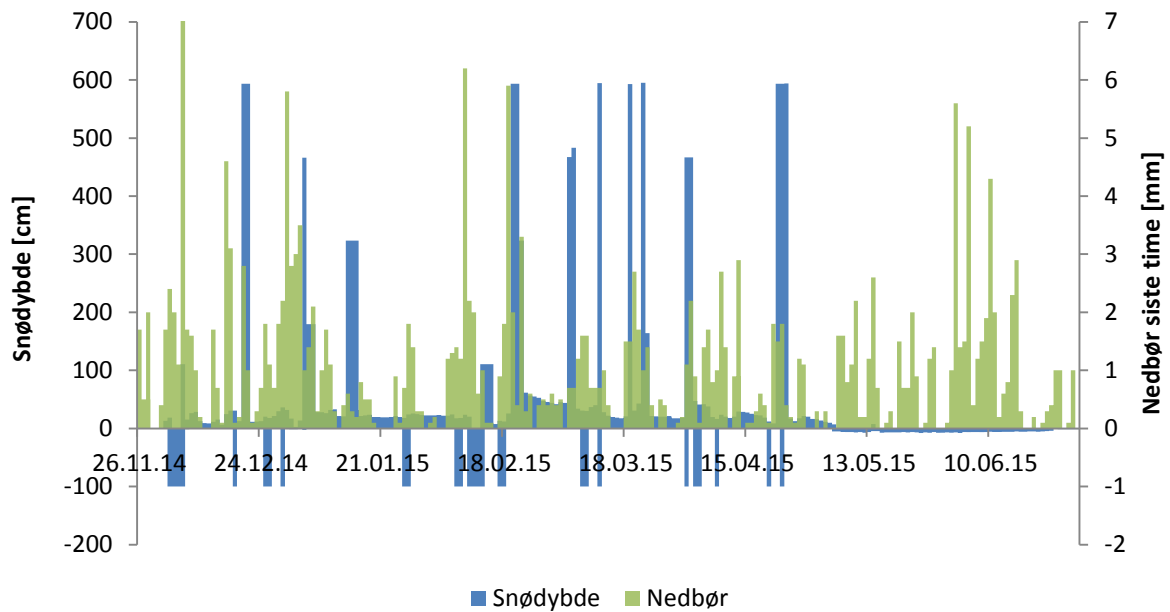
**Tabell 4.12: Sprangverdi og frysverdi for de utvalgte MET-stasjonene. Verdiene er basert på gjennomgang av registrert snødybde vinteren 2014-2015.**

<b>Stasjonsnavn</b>	<b>Sprangverdi [cm]</b>	<b>Frysverdi [timer]</b>
<b>Asker</b>	10	10
<b>Bjørli</b>	10	50
<b>Bjørnholt</b>	5	12
<b>Bulken</b>	10	50
<b>Dovre Lannem</b>	5	15
<b>Glomfjord-skihytta</b>	15	25
<b>Hakadal jernbanestasjon</b>	10	15
<b>Hemsedal II</b>	10	48
<b>Høvringen II</b>	10	48
<b>Innerdalen</b>	10	24
<b>Iškoras II</b>	10	96
<b>Juvvasshøe</b>	10	8
<b>Konnerud</b>	20	12
<b>Losistua</b>	10	24
<b>Lyngen-Gjerdvassbu</b>	15	24
<b>Lønsdal stasjon</b>	10	72
<b>Mannen</b>	10	20
<b>Myrkdalen-Vetlebotn</b>	15	24
<b>Nordnesfjellet</b>	5	12
<b>Nord-Odal</b>	10	96
<b>Røldalsfjellet</b>	10	12
<b>Sandhaug</b>	15	12
<b>Sjufjellet</b>	15	6
<b>Tamokdalen</b>	10	30
<b>Ørskog</b>	5	48
<b>Ørsta-Eitrefjell</b>	10	12
<b>Ånestadblåheia</b>	10	48

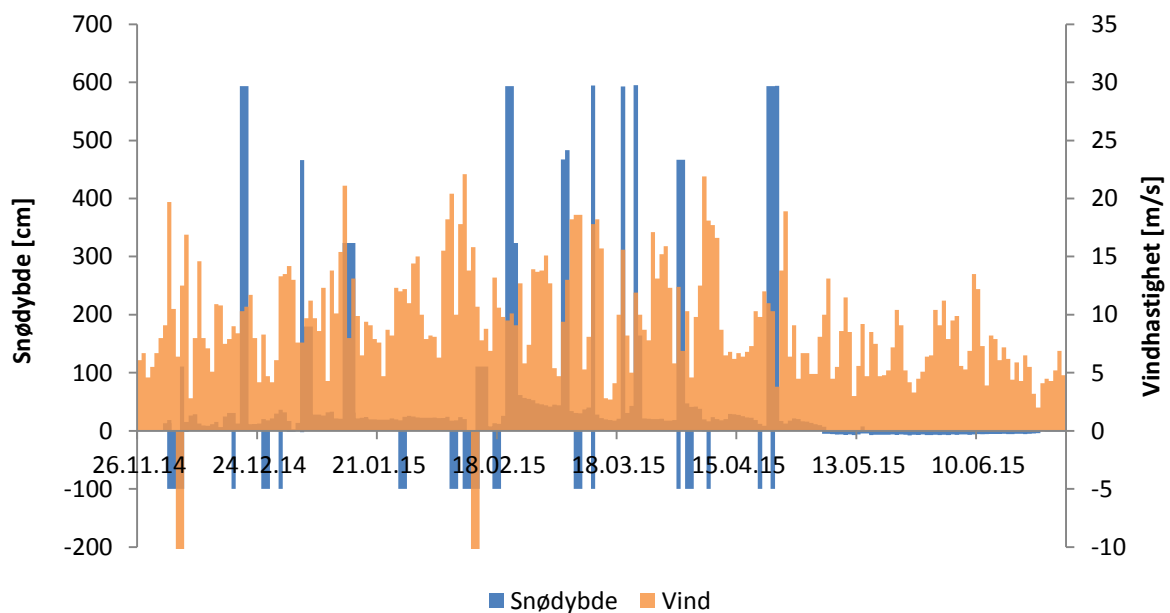
Videre følger noen grafer fra utvalgte stasjoner og perioder som blir nærmere diskutert i kapittel 5.

### Vind og nedbør på Glomfjord-skihytta

I Figur 4.17 vises registrert snødybde ved bruk av SHM 30-sensor og nedbør som har kommet siste time ved Glomfjord i Nordland. I Figur 4.18 er registrert snødybde og vindstyrke 10 meter over bakken vist. Måleperioden for begge figurene strekker seg fra 26. november 2014 til 30. juni 2015 og var preget av mye ukorrekte målinger. Grafene viser at enkelte av periodene med feilkoder og unormale verdier er preget av mye nedbør og/eller kraftig vind, men at mye nedbør og vind også forekommer uten at det påvirker snødybdemålingene.



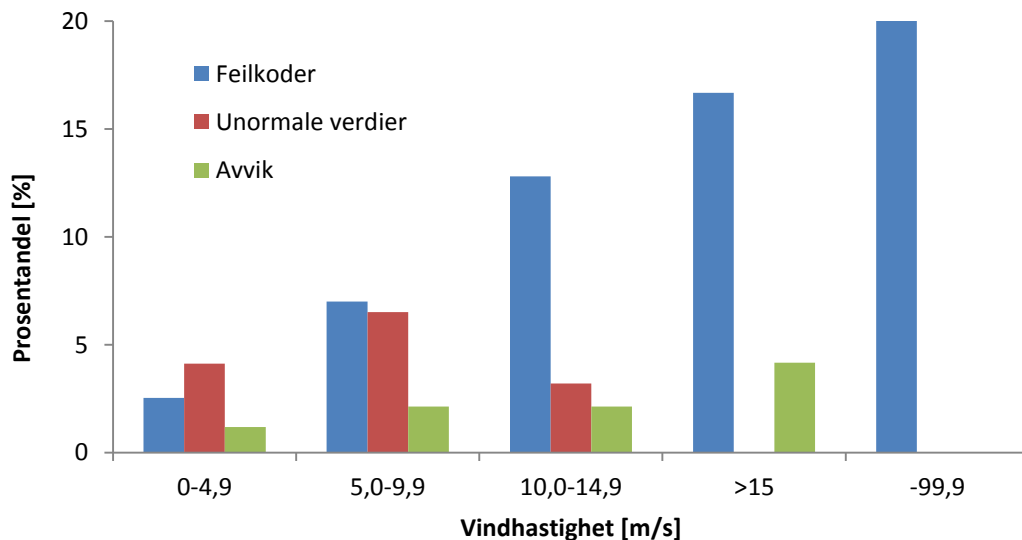
Figur 4.17: Snødybde og nedbør ved Glomfjord-skihytta i Nordland. Snødybden er registrert ved bruk av lasersensor. Mye nedbør påvirker i enkelte perioder snødybdemålingene, men ikke i andre perioder.



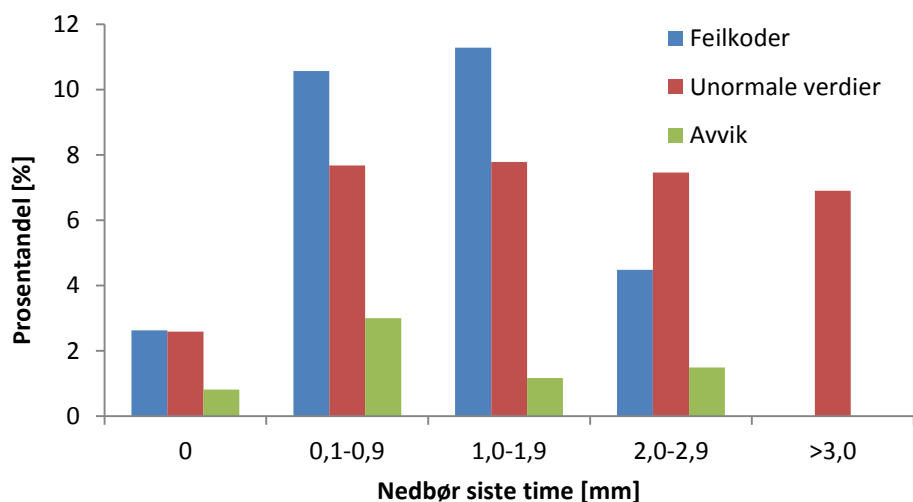
Figur 4.18: Snødybde og vindhastighet 10 meter over bakken ved Glomfjord-skihytta i Nordland. Ukorrekte snødybdemålinger korrelerer ofte med kraftig vind, men ikke alltid.



En nærmere analyse av ved hvilke vindhastigheter og nedbørsintensiter de ukorrekte målingene oppstår er vist i Figur 4.19 og Figur 4.20. Analysen viser at avvik oppstår ved alle vindhastigheter. Andelen feilkoder er økende med økende vindhastighet. Alle tilfeller hvor vindsensorene registrerer -99,9 registrerer også lasersensoren dette. Flest ukorrekte målinger oppstår ved lite nedbør, 0,1-0,9 mm i timen. Feilkoder og unormale verdier inntreffer i over 1,5 % av målingene når det ikke er registrert nedbør.



**Figur 4.19:** Prosentandel ukorrekte målinger fordelt på feilkoder, unormale verdier og avvik ved Glomfjord-skihytta, basert på data fra 26. november 2014 til 30. juni 2015. Vindhastighetene er delt inn i intervaller på 5 m/s og viser hvor ofte de ukorrekte målingene av snødybde inntreffer for hvert intervall. Feilkoder og avvik oppstår hyppigst ved vindhastigheter over 10 m/s, men økningen er ikke signifikant. I alle tilfellene hvor vindsensoren viser feilkode, vises også dette på snødybdesensoren.

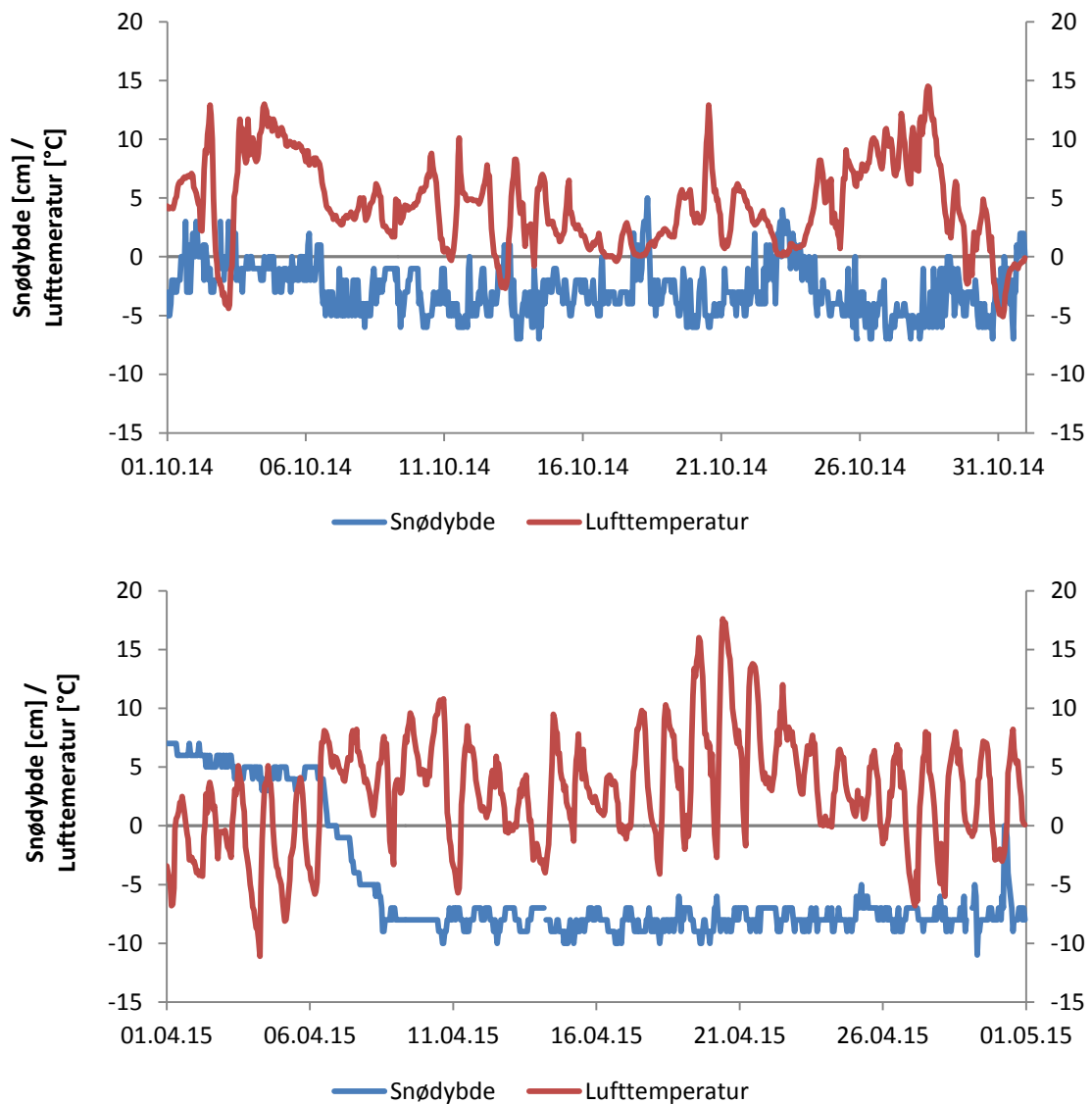


**Figur 4.20:** Prosentandel feilkoder, unormale verdier og avvik ved Glomfjord-skihytta fra 26. november 2014 til 30. juni 2015. Nedbørsintensiteten er delt inn i intervaller på 1 mm, sammen med en gruppe hvor det ikke er registrert nedbør. Feilkoder oppstår hyppigst ved nedbør mellom 0,1 mm og 1,9 mm, mens de unormale verdiene fordeler seg ganske likt uansett hvor mye nedbør som kommer.

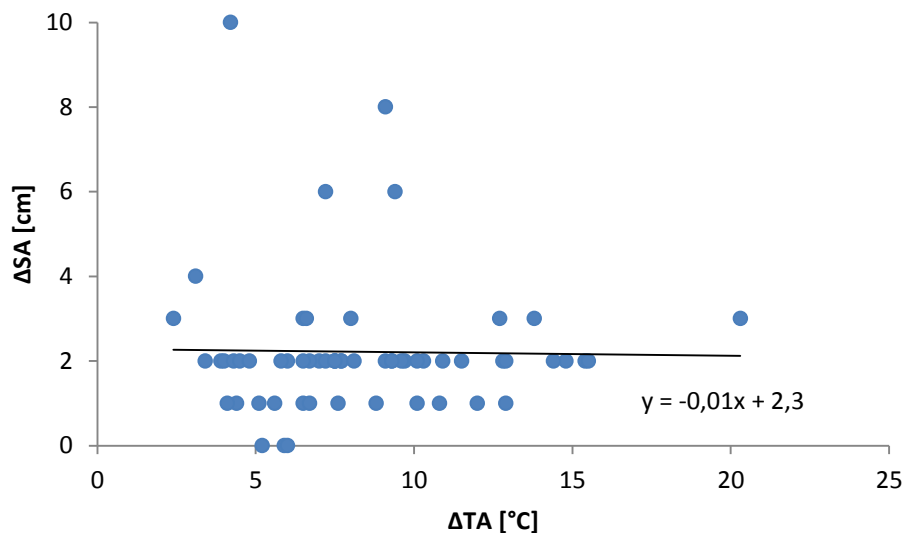
### Endring av nullnivå ved Hemsedal II

I Figur 4.21 vises registrert snødybde og lufttemperatur på Hemsedal II i oktober 2014 og i april 2015. Snødybdemålingne er utført med en SR50AH-sensor. Grafene viser at snødybden svinger noe gjennom døgnet og at bakken har sunket gjennom vinteren ettersom det er registrert større negative snødybder i mai enn i oktober. Dette skyldes telehiv og understreker viktigheten av at nytt nullnivå legges inn i sensorene før hver vintersesong, og gjerne også på våren når underlaget er snøfritt.

I Figur 4.22 er forskjellen mellom høyeste og laveste registrerte lufttemperatur (TA) og snødybde (SA) hver 12. time plottet mot hverandre. Fra trendlinjen fremgår det at endringen i snødybde ikke påvirkes av endringer i lufttemperatur. Dette står i sterk kontrast til Asker hvor store svingninger i lufttemperatur også gir store variasjoner i snødybde gjennom døgnet.



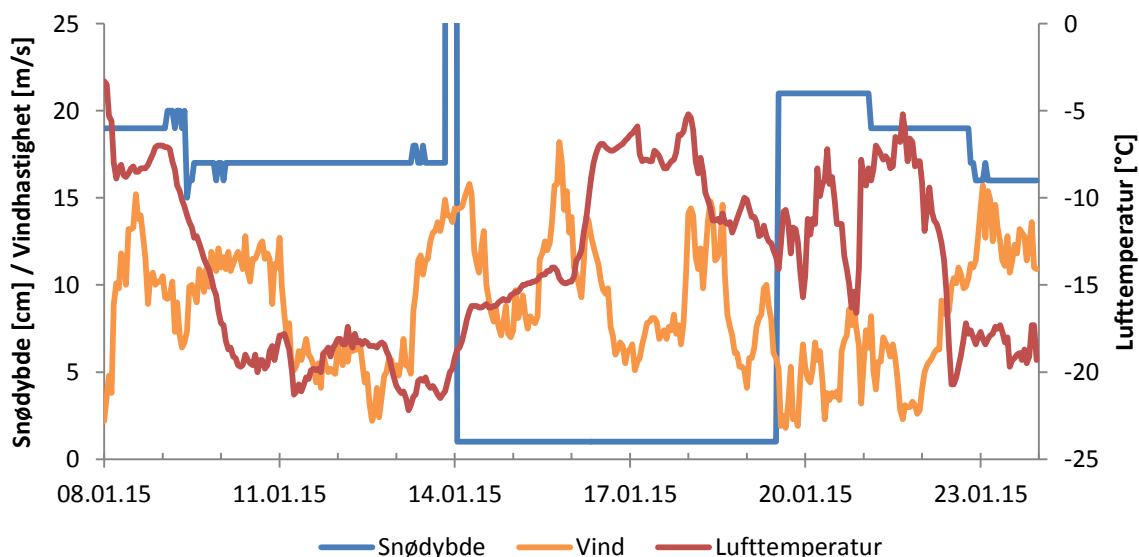
**Figur 4.21: Registrert snødybde med SR50AH og lufttemperatur ved Hemsedal II i Buskerud. Øverst er utviklingen i oktober 2014 vist og nederst er april 2015 vist. I oktober varierer snødybden mellom -7 cm og opptil 5 cm, mens i april varierer snødybden mindre, mellom -7 cm og -10 cm. Nullnivået for bar bakke har dermed endret seg gjennom vinteren.**



Figur 4.22: Forskjell mellom høyeste og laveste registrerte lufttemperatur (TA) og snødybde (SA) for hver 12. time i april 2015 på Hemsedal II. For noen temperaturendringer mellom 5 °C og 10 °C er det også store variasjoner i snødybde (6 cm-10 cm), men i hovedsak er endringer i snødybde kontant rundt 2 cm uavhengig av endringene i lufttemperatur.

### Sprang og frysverdier ved Iškoras II i januar 2015

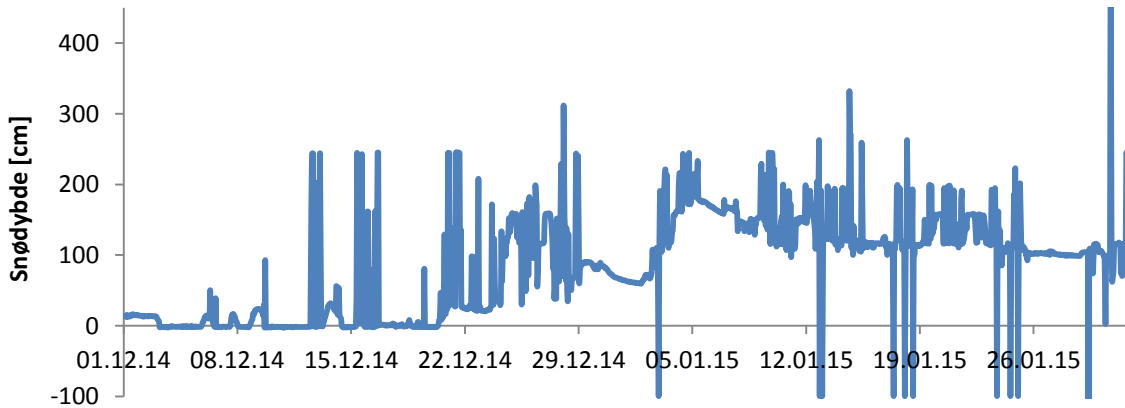
I Figur 4.23 er snødybde, lufttemperatur og vind ved Iškoras II i Finnmark vist. Fra 14. januar kl. 01 til 19. januar kl. 12 har lasersensoren registrert 1 cm snø på bakken, mens det antagelig er mellom 17 cm og 21 cm på stasjonen slik som timene før og etter. Gjennom fire timer natt til 14. januar har sensoren registrert 169 cm snø. I disse timene lå vindhastigheten rundt 14 m/s. Det er her tydelig at dersom man hadde hatt en sprang- og frysverdi så kunne de uriktige målingene disse ukene blitt fjernet fra dataserien.



Figur 4.23: Snødybde ved bruk av lasersensor, lufttemperatur og vindhastighet 10 meter over bakken ved Iškoras i Finnmark fra 8.-23. januar 2015. Snødybden har oppløsning på 1 cm slik at samme snødybde registreres mange påfølgende timer og krever en høy frysverdi. 14.-19. januar blir snødybden uriktig registrert til 1 cm.

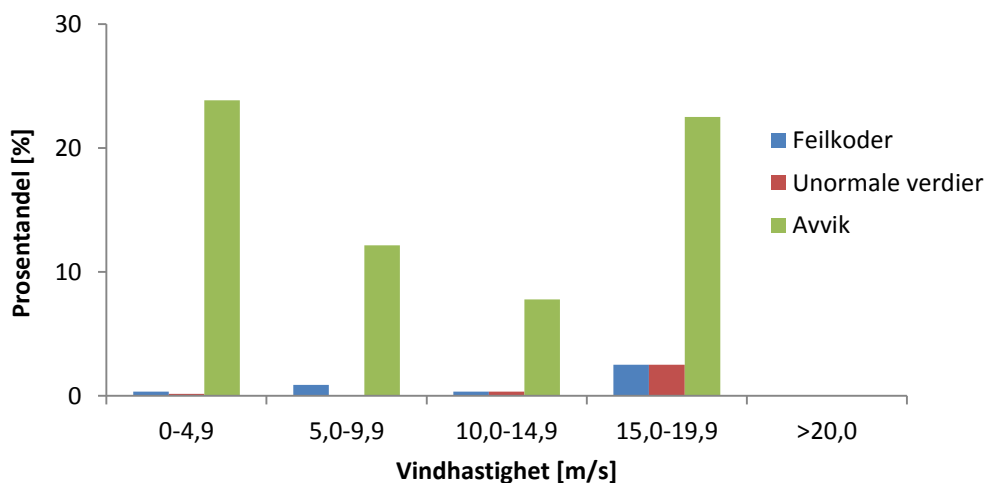
### Feilanalyse av Mannen i desember 2014 og januar 2015

I Figur 4.24 er snødybde vist for den meteorologiske målestasjonen på Mannen i Møre og Romsdal. Stasjonen benytter en SR50A-sensor til snødybdemåling og den valgte perioden er desember 2014 og januar 2015 som var preget av mye ukorrekte målinger. Det er store variasjoner i registrert snødybde og de to månedene er preget av mange for høye verdier, samt at januar har flere timer med feilkoder. Sensoren på Mannen er montert 5,7 m over bakken. Været på Mannen disse to månedene er preget av lufttemperaturer under 0 °C og kraftig vind på opptil 20 m/s. Enkelte timer var registrert nedbør over 3 mm per time.



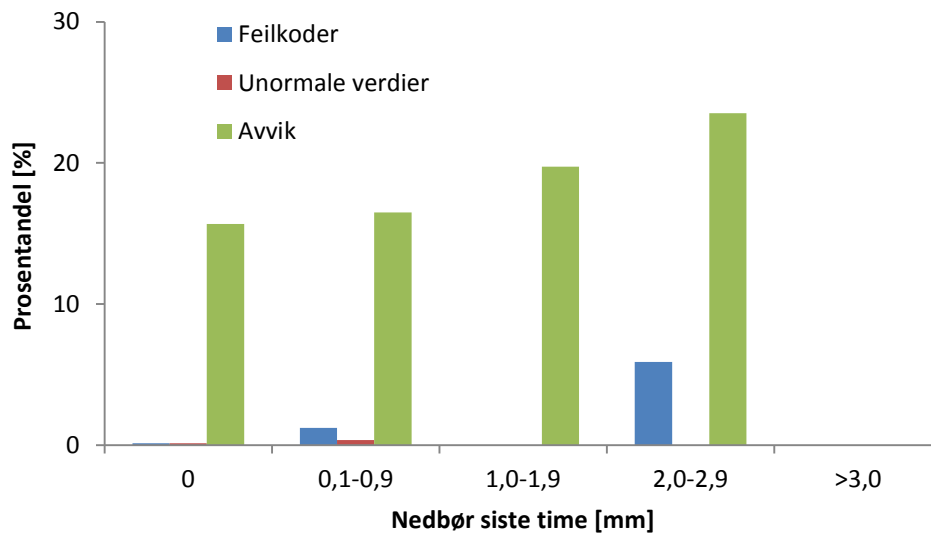
Figur 4.24: Registrert snødybde på Mannen i desember 2014 og januar 2015. Snødybdene er registrert med en ultralydsensor og perioden er preget av mye ukorrekte målinger.

Ved hvilke forhold snødybden ikke registreres riktig er nærmere analysert. I Figur 4.25 er andelen ukorrekte målinger vist for ulike vindhastigheter og viser at avvik inntreffer ved alle vindhastigheter (det ble ikke registrert over 20 m/s i desember eller januar). Vindhastigheten i desember og januar var i snitt 6,7 m/s. Unormale verdier og feilkoder inntreffer stort sett kun ved kraftig vind (15-20 m/s).

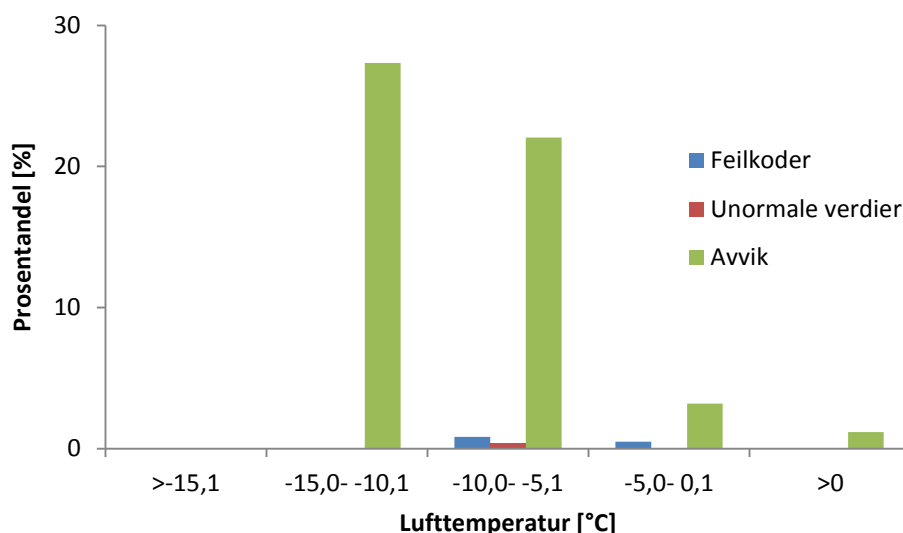


Figur 4.25: Fordeling av når de ukorrekte snødybdemålingene på Mannen i desember 2014 og januar 2015 inntreffer. Feilkoder og unormale verdier skjer for det meste ved vind mellom 15,0-19,9 m/s, mens avvik opptrer ved alle vindhastigheter. Likevel er den største andelen ved de laveste og høyeste vindhastigheten.

Avvik inntreffer ved alle nedbørsintensiteter, men er gradvis økende ved økende nedbørsintensitet, som vist i Figur 4.26. Feilkoder oppstår hyppigst ved nedbør i siste time mellom 2,0-2,9 mm. Ved nedbør over 3 mm er ingen ukorrekte snødybdemålinger registrert. Andelen avvik er økende ved avtagende lufttemperatur, som vist i Figur 4.27. I desember 2014 og januar 2015 ble lufttemperatur under  $-15,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  kun registrert ved en anledning og riktig snødybde ble da registrert. Flest feilkoder og unormale verdier inntreffer mellom  $-5,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  og  $-10,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



**Figur 4.26: Fordeling av når de ukorrekte snødybdemålingene på Mannen i desember 2014 og januar 2015 inntreffer fordelt på ulike nedbørsintensiteter. Feilkoder oppstår for det meste ved nedbør siste time mellom 2,0-2,9 mm. Avvik opptrer i alle intervallene opp til 2,9 m/s og er svakt økende.**

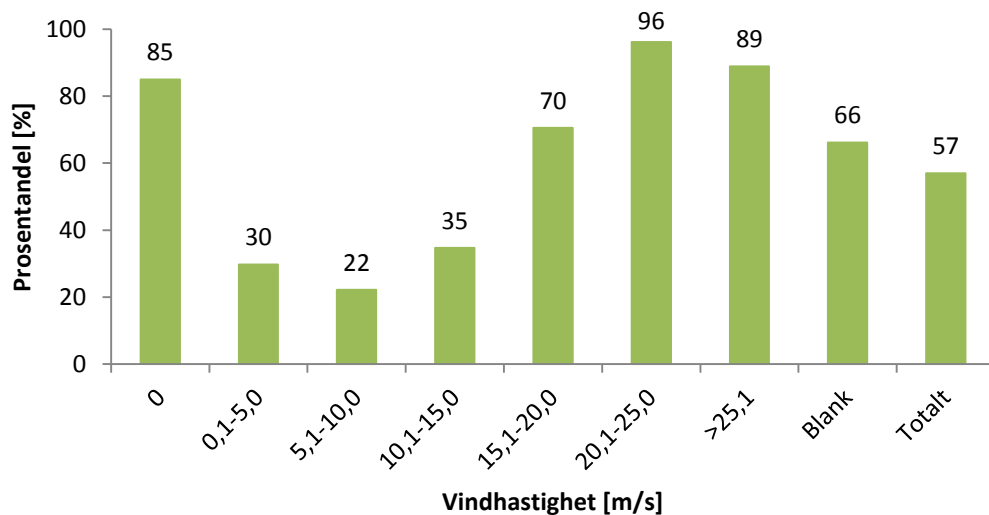


**Figur 4.27: Andelen ukorrekte målinger ved Mannen i desember 2014 og januar 2015 fordelt på type feil og lufttemperatur. Flest feilkoder og unormale verdier inntreffer ved lufttemperatur mellom  $-5,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  og  $-10,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Andelen avvik er sterkt økende ved avtagende lufttemperatur.**

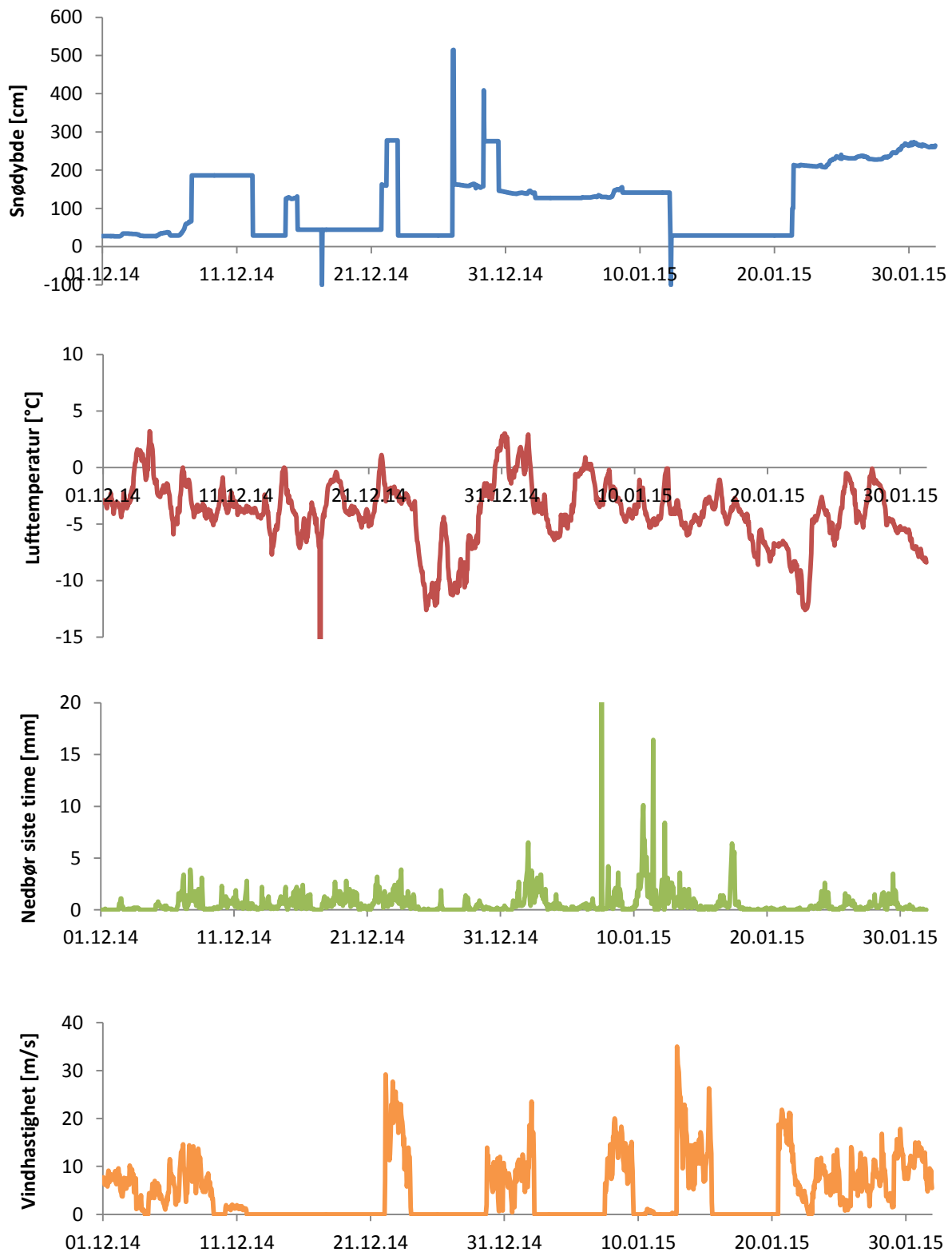
### Sprang og frysverdier på Røldalsfjellet i desember 2014 og januar 2015

Dataserien for desember 2014 og januar 2015 fra Røldalsfjellet i Hordaland er vist i Figur 4.29. Dette er en periode hvor de er mange sprang i snødybdemålingene, ofte til forskjellige verdier, og eksakt samme snødybde blir registrert over flere dager. Den lengste frysperioden varer i nesten to uker og viser tydelig behovet for en frystest for å fjerne de ukorrekte målingene. Snødybden er registrert med lasersensor, og lufttemperatur, nedbør og vindhastighet 10 meter over bakken vist i Figur 4.29, og som for Mannen er det også på Røldalsfjellet en del avvik. Stasjonen på Røldalsfjellet har ikke vindmåling, slik at vinddataene er hentet fra en nærliggende stasjon: Røldalsfjellet-Elvershei, som ligger 1,3 km vest for stasjonen på Røldalsfjellet.

For flere av tidspunktene for sprang og frysverdier ser det ut til at det er kraftig vind i området som kan påvirke målingene. Som vist i Figur 4.28 oppstår de fleste avvikene ved kraftig vind, over 15,1 m/s, og totalt er 57 % av målingene i desember 2014 og januar 2015 kategorisert som avvik. Vindmasten er preget av mye ising og sensoren registrerer da 0 m/s selv om dette ikke er reelt. Kategorien «blank» er timer hvor det ikke er utført en vindmåling.



**Figur 4.28: Prosentfordeling av når avvik i snødybdemålingene inntreffer ved Røldalsfjellet basert på vindmålinger 1,3 km mot vest. 57 % av målingene i desember 2014 og januar 2015 har blitt kategorisert som uriktige verdier. Avvikene oppstår hyppigst ved kraftig vind, over 15,1 m/s, og ved 0 m/s. Vindmasten er preget av mye ising og sensoren registrerer da 0 m/s selv om dette ikke er reelt. Kategorien «blank» er timer hvor det ikke er utført en vindmåling.**



Figur 4.29: Snødybde registrert med SHM 30, lufttemperatur, nedbør siste time og vindhastighet 10 meter over bakken ved Røldalsfjellet i desember 2014 og januar 2015. Snødybdegrafene er preget av flere perioder med uriktig snødybde og eksakt samme verdi til tross for oppløsning på 1 mm. Lufttemperaturen ligger stort sett under 0 °C og nedbør er målt til under 5 mm de fleste timene, men unntak av en periode i midten av januar. Stasjonene er preget av kraftige vinder, og gjennom fire perioder viser vindsensoren 0 m/s over flere døgn.





## 5. DISKUSJON

---

Resultatene fra kapittel 4 vil bli diskutert i dette kapittelet.

### 5.1 Måleunderlag

Fra bildene som ble tatt på Blindern ser det ut til at Litex-platen generelt er der snøen smelter først. Platen har svært lav termisk ledningsevne og ved sterk solinnstråling på platen kan dette føre til at snøen tar opp mer varme enn på de andre platene som kan lede mer varme gjennom. Litex-platen er også en del tykkere enn de andre platene og ligger høyere i terrenget. På grunn av dette kan den være mer utsatt for vindeffekter, samt at platen har lav overflateruhet.

Litex-Membranplaten har en veldig lys overflate og få millimeter snø på platen er vanskelig å se fra bildene. For en lasersensor vil dette også gi små forskjeller i signalstyrke slik at dette ikke kan benyttes til å påvise om det er snø på platen eller ikke.

Platen av glassfiberarmert plast (GRP) hadde god overflateruhet og en mørk grå farge. Fargen gjorde det lett å observere den første snøen på platen. Det er en plate av denne typen som ble testet med gode resultater i Tyskland av Lanzinger og Theel (2010a, 2010b). MET-stasjonene Bulken og Nord-Odal benytter i dag GRP-plate som underlag til snødybdemåling med lasersensoren SHM 30. For begge stasjonene er andelen unormale verdier og avvik 0,0 %.

Underlaget av kryssfiner begynner å smelte tidligere enn gresset omkring i flere smelteperioder, men innen hele underlaget er snøfritt er også gresset snøfritt. Kryssfiner ser derfor ut til å være et godt alternativ å benytte som underlag ved at det har tilsvarende termiske egenskaper som gress og jord. Overflaten har liten ruhet og på stasjoner som er vindutsatt vil dette kunne ha en negativ innvirkning på snødybdemålingene. I Tyskland har de også sett at platen har kort levetid som følge av at platen råtner (Lanzinger & Theel, 2010a).

Kunstgress samsvarer godt med naturlig gress når snøen smelter. Det tar lengre tid for kunstgressmatten å få hvit overflate enn for de andre underlagene. Dette er fordi snøen legger seg mellom gresstråene på tilsvarende måte som på naturlig gress. Overflaten gir også en god ruhet slik at vind ikke blåser bort lett snø. Fra forsøk gjort i Finland ga kunstgressunderlaget de beste resultatene sammenlignet med manuelle målinger på naturlig gress (Personlig kommunikasjon med FMI, 2015). Ulempen med underlaget er at det ikke er stivt og i kupert terreng vil ikke overflaten bli jevn. Ved bruk av signalstyrken til lasersensoren SHM 30 til å detektere den første snøen på underlaget er det mulig at kunstgress ikke er egnet som underlag fordi snøen legger seg mellom gresstråene. Dette er imidlertid ikke testet i denne oppgaven og må undersøkes nærmere.

Forsøket i Ås hadde begrenset med smelteperioder og i de fleste av disse var det ikke mulig å påvise forskjeller mellom underlagene på grunn av eksterne faktorer som vind og terreng. Blant periodene var 15.-16. januar 2015 hvor lokale forhold på testfeltet førte til at vann fra snøsmeltingen ble liggende på og rundt platene. I tillegg førte snøkast fra målemasten til at snøen smeltet her først. Også 17. februar 2015 skyldes ulik snøsmelting eksterne faktorer, denne gangen i hovedsak vind som har ført til ujevnt snødekke på testfeltet slik at området med minst snø naturlig smeltet først.

Utover våren begynte gress og planter å vokse opp gjennom sanden i Ås. Å legge sand direkte på en gresskledd overflate ser derfor ikke ut til å løse problemet med falske snødybder som følge av at gresset gror. I ulendt og steinete terreng, slik det er på en del skredstasjoner, kan det også være mulighet for at sanden renner bort ved kraftige regnskyll. Imidlertid ser det ut som snøfall på sand har likhetstrekk med snøfall på gress og bar bakke. Dette skyldes antagelig den naturlige ru overflaten til sand som gjør at snøen legger seg innimellom sandkornene slik den gjør på gress.

Underlagene som har blitt testet i denne oppgaven har kun ligget ut i en vintersesong. For å undersøke holdbarheten til de ulike underlagene må disse ligge ute over flere år. Dette var ikke mulig i denne oppgaven.

På bakgrunn av gjennomgangen av bildematerialet fra Blindern og Ås er det i Tabell 5.1 listet opp noen fordeler og ulemper ved de ulike underlagene.

**Tabell 5.1: Fordeler og ulemper ved de ulike underlagene som har vært testet på Blindern og i Ås.**

	<b>Fordeler</b>	<b>Ulemper</b>
<b>Kunstgress</b>	Ligner gress i farge og overflate	Ikke stiv, vil formes noe etter terrenger dersom det er ujevnt
<b>Glassfiberarmert plast (GRP)</b>	Ru overflate og holdbar	Høyere spesifikk varmekapasitet enn jord
<b>Litex-Membranplate</b>	Spesifikk varmekapasitet i nærheten av spesifikk varmekapasitet for jord	For hvit overflate for SHM 30 ved bruk av signalstyrke til påvisning av snø på underlaget. Glatt overflate
<b>Kryssfiner</b>	Mørk overflate, som jord	Lite holdbar, råtner. Glatt overflate
<b>Sand</b>	Ru og naturlig overflate	Planter og gress gror gjennom sanden. Krever vedlikehold

Fra analysene av snødybdemålingene ved de utvalgte MET-stasjonene har stasjonene med plate som underlag få timer med unormale verdier og avvik. Om dette skyldes beliggenheten og forholdene på disse stasjonene eller om platen har hatt en effekt er usikkert ettersom kun en vintersesong er analysert og man ikke har bilder eller manuelle målinger å kontrollere mot. Stasjonene med andel unormale verdier og avvik over 1 % har gress, fjell eller stein som underlag, men andre stasjoner med tilsvarende underlag har gode måleserier. Dette tyder på at

type underlag ikke er avgjørende for hvor riktige snødybdemålingene er, men at meteorologiske forhold på de ulike stasjonene er viktigere. Likevel anbefales det å benytte en plate som underlag for å ha en fast standard ved snødybdemåling ettersom naturlig underlag varierer fra gress til snaufjell og stein. For ultralydsensoren som måler over et areal på rundt  $1 \text{ m}^2$  vil det på stasjoner i ulendt terreng være viktig med en plate som underlag for å sikre jevn overflate, særlig siden forsøk viser at ultralydsensoren registrerer høyeste punkt i måleområdet. Kunstgress er ikke å anbefale i denne sammenhengen fordi dette underlaget ikke er stivt og vil i noe grad formes etter terrenget under.

## 5.2 Vinkelinstilling og høyde på SHM 30-sensor

Nøyaktig beregning av monteringsvinkel er vanskelig ettersom det er stor usikkerhet knyttet til de manuelle lengdemålingene. Likevel viser resultatene fra dette forsøket at vinkelen kan bestemmes med en nøyaktighet på  $\pm 1^\circ$ . For å få en nøyaktig måling av oppsatt vinkel anbefales en laseravstandsmåler som i dette forsøket samsvarte godt med vinkelberegningene ved bruk av loddrett prosedyre og referanseobjektmetoden. Bruk av vinkelinstilling på en laser avstandsmåler er den raskeste og enkleste målemetoden. Referanseobjekt metoden er lite praktisk å utføre i felt ettersom den krever bruk av et objekt med kjent høyde og flere parametre skal måles. Dersom man ikke har tilgang på en laseravstandsmåler vil enkleste metoden til å verifisere vinkelen være å benytte høyden sensoren er plassert i, og avstanden  $y$  fra punktet rett under sensoren til målepunktet.

Avstanden  $x_1$  og  $x_2$ , som er de skrå avstandene fra sensoråpningen og til målepunktet, som sensoren måler for å beregne snødybden kan ikke brukes til å beregne oppsatt vinkel ettersom disse parametrene ikke er med i telegramutskriften fra sensoren når den er i drift. Når sensoren er montert må disse avstandene bestemmes manuelt eller med en laseravstandsmåler. Som en kontroll til beregningene bør det i fremtiden være mulig å få ut avstanden som sensoren måler fra åpningen til målepunktet i telegramutskriften.

Fra de teoretiske beregningene vil et vinkelavvik på  $1^\circ$  gi et avvik i snødybde på 1 % dersom innstilt vinkel er  $30^\circ$ . Ved å montere SHM 30-sensoren i en høyde på 4 m og i  $20^\circ \pm 1^\circ$  vil avviket i registrert snødybde ligge innenfor et akseptabelt nivå på under 1 %. Prosentavviket i snødybde vil være konstant for konstant vinkelavvik slik at for eksempel en vinkelfeil på  $-5^\circ$  vil for inngangsverdi på  $20^\circ$  gi et konstant avvik på 2,7 % uavhengig av snødybden. Ved innlagt verdi på  $30^\circ$  vil avviket være noe større enn ved  $20^\circ$ . Dersom  $30^\circ$  er lagt inn, men sensoren er montert i  $25^\circ$  vil det gi et avvik i snødybde på 4,4 %. Uansett i hvilken høyde sensoren blir montert vil prosentavviket være det samme som er beregnet for monteringshøyde på 400 cm. Dette fordi differansen mellom  $x_1$  og  $x_2$  vil være uendret.

Ved å legge inn feil monteringshøyde vil SHM 30-sensoren beregne feil snødybde. Avviket vil ikke påvirkes av monteringsvinkel eller faktisk snødybde, men være et konstant avvik. Dersom høyden som legges inn i sensoren er for lav vil sensoren registrere en snødybde lik

avviket mellom faktisk høyde og innlagt høyde. Ved for stor høyde vil negative snødybder registreres. Disse er lettere å oppdage at er ukorrekte, og høyden som legges inn i sensoren bør derfor være større enn faktisk høyde. Avviket må imidlertid ikke være for stort slik at en reell snødybde ikke registreres. For å kontrollere registrerte snødybder rundt 0 cm bør signalstyrken til sensoren benyttes for å lettere avgjøre om det faktisk er snø på underlaget eller ikke. Bruk av signalstyrke til SHM 30-sensoren er nærmere diskutert i kapittel 5.3.

### 5.3 Signalstyrke til SHM 30-sensoren

Fra forsøket er det tydelig at signalstyrken avtar når fargen på underlaget blir mørkere. For de to lyseste fargene (A og B) ligger signalstyrken over 6 som er standardverdien som ligger inne i sensoren for snø/ikke snø. Basert på forsøket med fargeprøvene ser det ut til at 6 er en riktig verdi. Imidlertid hadde fargeprøvene en blank og glatt overflate som ikke kan sammenlignes direkte med snø. Ved lett snøfall med lav tetthet vil det være mulig at sensoren ser gjennom snøen og at signalstyrken ikke kommer over grenseverdien. Fargeprøve C kom aldri over 5 i signalstyrke og det bør derfor undersøkes om terskelverdien for påvisning av snø på underlaget bør settes til 5. Finjustering av grenseverdien for signalstyrke må skje ved bruk av ekte snø for riktig farge og tetthet, og helst med ulike snøtyper. Dette krever også en observatør eller et kamera for å undersøke om det er snø eller ikke på underlaget, og om det stemmer overens med det som registreres med SHM 30-sensorens signalstyrke. Dette var ikke mulig i denne oppgaven og må undersøkes nærmere.

For de lyseste fargene er signalstyrken sterkere når underlaget er nærmere sensoren, mens for de to mørkeste (E og F) ligger signalstyrken på samme nivå selv om underlaget ble hevet til 43,5 cm. Dette viser at avstanden fra sensoren til underlaget har effekt på signalstyrken. SHM 30-sensoren monteres i ulike høyder i felt avhengig av normal snødybde på stasjonen. Det må derfor undersøkes nærmere hvor store effekter dette har for signalstyrken og grensen for når sensoren registrerer snø på underlaget. Dette har ikke vært mulig i denne oppgaven.

### 5.4 Ujevnt snødekke og effekten på registrert snødybde med SR50A

Forsøket viser at sensoren kun registrerer avstanden til det høyeste punktet i måleområdet dersom 50 % eller 25 % av måleområdet er høyere enn resten. Om dette også er tilfelle dersom en mindre del av området er forhøyet er usikkert og bør testes nærmere. Registrert snødybde avviker noe fra målt høyde fra bakke til plate, men dette skyldes unøyaktige manuelle målinger av platehøyden og noe usikkerhet i nullnivå for målingene. Registrering av den største snødybden er ugunstlig, særlig for stasjoner som er utsatt for vind, ved at snøfonner kan dannes i måleområdet og gi et feilaktig bilde av forholdene på stasjonen.

Gjennom hele forsøket lå kvalitetstallet mellom 169 og 195 som er godt innenfor intervallet for gode målinger. Imidlertid økte kvalitetstallet med økende snødybde og ved platehøyde rundt 50 cm var kvalitetstallet høyere ved 25 % forhøyet område enn ved 50 % forhøyet området (kvalitetstall 169 ved høyde på 49 cm ved 50 %, og 195 ved 53 cm og 25 %). Dette tyder på at sensoren merker at snødekket er ujevnt, men området som er forhøyet er stort nok til at målingene regnes som god.

Kvalitetstallet til SR50A-sensoren bør inkluderes som en parameter i dataseriene som en kontroll til snødybdemålingene som blir utført. I tillegg gir dette muligheten til å automatisk fjerne alle målinger som kategoriseres av sensoren som dårlige (kvalitetstall over 300) fra dataserien. Ved å fjerne målinger hvor kvalitetstallet er over 300 vil antagelig en stor del av de ukorrekte målingene fjernes og kun korrekte målinger vil inkluderes i dataserien. Dette er imidlertid ikke undersøkt i denne oppgave og må undersøkes nærmere.

## 5.5 Valg av sensortype til automatisk snødybdemåling

På bakgrunn av forsøkene som er utført i denne oppgaven og tilgjengelig teori har både SR50A- og SHM 30-sensorene fordeler og ulemper. Ultralydsensoren er temperaturavhengig slik at lufttemperaturen må måles i nærheten av ultralydsensoren for at beregningene av snødybden skal bli korrekt. I tillegg er det en temperaturprofil fra bakken og opp til sensoren slik at snødybden ikke blir riktig kompensert i forhold til temperaturen. SHM 30 er ikke avhengig av temperatur for å beregne snødybde og lasersensoren kan plasseres uavhengig av hvor lufttemperaturen måles på en meteorologisk stasjon.

En fordelen med ultralydsensor er at snødybden kan måles over et større areal enn SHM 30 som kun måler i ett punkt. Dersom snødybden blir beregnet som et snitt av målingene i hele måleområdet vil et større måleområde være bedre enn et lite måleområde. Imidlertid viste forsøk at SR50A-sensoren registrerer høyeste snødybde i måleområdet og ikke beregner et snitt som antatt. Det fører til at et stort måleområde vil være mer utsatt for at snøfonner skal dannes i måleområdet og gi ukorrekte målinger. På grunn av dette er det en ulempe at SR50A-sensoren har et stort måleområde.

Dersom SR50A monteres i en høyde på 2 m vil den måle snødybden over et areal på 0,9 m<sup>2</sup>. Flere av MET-stasjonene som benytter denne sensoren er montert i 5 m og måleområdet blir da 1,3 m<sup>2</sup>. Dette krever betydelig større område som må vedlikeholdes enn ved bruk av SHM 30, eventuelt en stor plate til underlag. Så lenge SR50A- kun registrerer høyeste punkt i måleområdet vil det ikke være gunstig med et stort måleområde som følge av mer vedlikeholdsarbeid av underlaget.

SHM30 skal ha en monteringsvinkel på 10 °-30 ° dette gir mulighet for måling noen meter fra målemasten slike at målepunktet blir mindre utsatt for snø fra målemasten. Riktig monteringsvinkel må legges inn i sensoren for at den skal kunne beregne riktig snødybde.

Teoretiske beregninger viser at dersom det er en forskjell på  $\pm 1^\circ$  mellom monteringsvinkel og innlagt vinkel vil dette gi et avvik i snødybde på inntil  $\mp 1\%$ . Dersom  $30^\circ$  er lagt inn i sensoren, men den er montert i  $40^\circ$  vil det ved 150 cm registreres 20 cm for lite snø. Dette er et stort avvik, men sensoren bør kunne monteres med en vinkelfeil på inntil  $5^\circ$  slik at ikke avvikene i snødybde blir for store. Ved  $30^\circ$  lagt inn og SHM30 montert i  $35^\circ$  registreres det 8,6 cm mindre snø enn reelt ved en snødybde på 150 cm.

SHM 30 er ifølge tester i Tyskland mer nøyaktig til å registrere små snødybder enn SR50A og noen få centimeter snø oppdages tidligere med SHM 30 (Lanzinger & Theel, 2010b). I tillegg kan signalstyrken til SHM 30-sensoren benyttes til registrering av snø/ikke snø på underlaget. Dette er kun mulig med programvareversjon 9.09 eller nyere. De fleste av sensorer som MET har i felt i dag har imidlertid eldre programvareversjoner (de fleste har 9.08).

## 5.6 Sammenligning av to sesonger ved Asker

På den meteorologiske stasjonen i Asker benyttes ultralyd til automatisk snødybdemåling. I januar 2015 ble SR50A-sensoren byttet til en ny ultralydsensor med varmeelement, SR50AH. Analyser av målingene vinteren 2013-2014 og 2014-2015 viser at andelen feilkoder for begge sensorene var 0,3 % slik at begge sensorene er innenfor et akseptabelt nivå. Noen timer med feilkoder gjennom et halvt år med målinger er normalt og vil alltid være tilstede.

Både i mai 2014 og mai 2015 er det store svingninger i registrert snødybde. Også oktober 2013 og oktober 2014 har svingninger, men ikke like markerte som dataseriene fra mai. Det har ikke vært snø i disse periodene slik at sensorene registrerer snø uten at dette er tilstede. En årsak til dette kan være de store variasjonene i lufttemperatur gjennom døgnet, rundt  $10^\circ\text{C}$  i forskjell mellom døgnmaksimum og døgminimum for mai begge årene. En stor temperaturinversjon kan være grunnen til problemet, men på de andre stasjonene som er analysert har det ikke blitt påvist så store svingninger i snødybde som følge av tilsvarende lufttemperatursvingninger. Hakadal Jernbanestasjon hadde i slutten av april svingninger i lufttemperatur tilsvarende det som er registrert i Asker, men snødybden lå konstant på 0 cm. Ved store forskjeller i temperatur på bakkenivå og i sensorhøyde vil lydets hastighet variere, men dette blir ikke tatt hensyn til i beregningene av snødybde og kan være en årsak til svingningen i snødybde.

Snødybdesensoren i Asker er montert i en hellning hvor underlaget heller bort fra masten hvor sensoren er montert. Dette gir et underlag som ikke er jevnt og kan være en årsak til de ukorrekte snødybdene som registreres i høst- og vårmånedene. For å undersøke dette nærmere bør bruk av kvalitetstallet til ultralydsensoren legges inn som en del av parametrene i dataserien. Dersom det viser seg at hellningen har negativ effekt på snødybdemålingene vil en plate som underlag løse dette problemet.



Analysene av SR50AH-sensoren er kun basert på 4,5 måned hvor store deler var snøfritt. Data fra en hel vintersesong bør derfor analyseres før man med større sikkerhet kan påvise forskjeller mellom sensorene. Ettersom Asker er preget av store svingninger i snødybde høst og vår, antagelig som følge av variasjoner i lufttemperatur gjennom døgnet, og ureelle snødybder i perioder hvor snø er lite sannsynlig, bør det installeres et kamera som tar bilder samtidig med snødybdeavlesningene for å kunne sikre at det ikke er snø på stasjonen. På grunn av de store svingningene i ureelle snødybder bør det vurderes om Asker skal installere en SHM 30-sensor istedenfor dagens ultralydsensor.

## 5.7 Feilanalyse på utvalgte MET-stasjoner

Alle stasjonene har ukorrekte målinger av snødybden, men antallet og lengden på utfallene varierer stort mellom stasjonene. Det er ikke funnet tydelige forskjeller mellom ultralyd- og lasersensorene. I mange av periodene med unormale verdier og avvik er det ofte registrert kraftig vind og/eller mye nedbør. Det er imidlertid også mange perioder hvor det ikke er observert en sammenheng mellom ukorrekte målinger av snødybde og vind og/eller nedbør. For å lettere kunne bedømme kvaliteten til snødybemålingene bør kvalitetstall for SR50A og signalstyrken til SHM 30 inkluderes i dataseriene. For enkelte stasjoner har MET begynt med dette.

Det er ingen signifikante forskjeller mellom ved hvilke vindhastigheter og nedbørsintensiteter de ulike ukorrekte snødybdemålingene registreres. For enkelte stasjoner er andelen størst ved lite vind og/eller lite nedbør, mens det for andre stasjoner er motsatt. Flertallet av stasjonene har få målinger ved de høyeste vindhastighetene og største nedbørsintensitetene. Få målinger gjør at det kan være tilfeldig om en korrekt snødybdemåling utføres eller ikke, og prosentandelene her vil ikke ha nok målinger til å kunne fastslå effekten av disse forholdene på snødybdemålingene. Analyser over lengre tid må gjøres for å få et sikrere resultat enn det som var mulig i denne oppgaven.

Gjennom 18 timer i begynnelsen av desember 2014 var den meteorologiske stasjonen på Losistua i Nordland preget av kraftig vind (opptil 14 m/s) og nedbør. I denne perioden registrerte lasersensoren SHM 30 store variasjoner i snødybden. I timene før vindstyrken økte lå den registrerte snødybden rundt 35 cm, mens den etterpå var registrert til 40 cm. Dette tyder på at kombinasjonen av sterk vind og nedbør (antagelig i form av snø ettersom registrert lufttemperatur var under 0 °C) førte til ukorrekte snødybdemålinger. De ukorrekte målingene kan skyldes snøfonner som blåser gjennom måleområdet eller snøfokk som blåser gjennom luften, men ettersom man ikke har bilder eller observasjoner kan årsaken til de ukorrekte målingene ikke fastslås.

Dataserien fra Glomfjord-skihytta er gjennom hele perioden fra 26. november til 30. juni preget av mange ukorrekte målinger. Andelen unormale verdier for stasjonene er den høyeste av de analyserte stasjonene med lasersensoren SHM 30 og stasjonen har også en høy andel

feilkoder. Analysen av ved hvilke forhold de ulike feilene oppstår tyder på at det ikke er signifikante forskjeller på ved hvilke vindhastigheter og nedbørsintensiteter de ukorrekte målingene oppstår. Andelen feilkoder øker med vindhastighet, mens perioder uten nedbør har lavere andelen feilkoder og andel unormale verdier enn perioder med nedbør.

Hemsedal er en av flere stasjoner hvor registrert snødybde er mer negativ i vårmånedene enn på høsten. Grunnen til dette er telehiv som gjør at bakken beveger seg noen centimeter som følge av frost i bakken. Nullnivået som legges inn i sensorene må derfor kalibreres hver høst slik at sensoren registrerer riktig snødybde. Feil nullnivå vil gi avvik i snødybdemålingene gjennom hele vinteren som følge av et konstant avvik fra reell snødybde.

Desember 2014 og januar 2015 på Røldalsfjellet er preget av mange ukorrekte snødybdemålinger. SHM 30-sensoren registrerer eksakt lik snødybde over flere døgn og ofte går en periode med en fryst snødybde rett over i en annen snødybde som også er konstant over flere døgn. Det er ikke manuelle observasjoner eller bilder fra stasjonen slik at årsaken til avvikene og frysverdierene ikke er kjent. Vindmålingene som er utført 1,3 km vest for snødybdemålingene viser at det har vært kraftig vind i området i valgt periode og prosentandelen avvik er signifikant høyere ved vind over 15 m/s. Vindserien har flere perioder hvor 0 m/s registreres og her er andelen avvik høy (85 % av snødybdene som er registrert ved 0 m/s er kategorisert som avvik). 0 m/s over flere døgn er ikke korrekt, men skjer som følge av at målemasten er svært utsatt for ising som hindrer målingene. Snødybdemålingene skjer mer skjermet enn vindmålingene, men likevel kan ising være en faktor til at en stor andel av målingene i desember og januar ikke er korrekte.

Ørskog ser ut til å ha få unormale verdier og avvik, men dette skyldes at stasjonen kun har registrert 0 cm snø utenom perioder med feilkoder. Dette er antagelig ikke riktig, men årsaken er ikke kjent. Likevel viser dette viktigheten av jevnlig kontroll av sensorene og ved bruk av signalstyrken kunne man kontrollert om sensoren registrerte snø på underlaget eller ikke. Også stasjonen på Nordnesfjellet viser bedre resultater enn det som er reelt. Andelen avvik er høy (28 %), men ingen unormale verdier er registrert. Grunnen til at nesten hele dataserien er feil er at ultralydsensoren i hovedsak kun har registrert 0 cm snø eller 3,8 cm snø. Dersom kvalitetstallet til sensoren hadde vært benyttet kunne man kanskje oppdaget og rettet feilen tidlig slik at ikke hele vinteren med snødybdemålinger hadde vært unyttig.

En generell sprangverdi for alle stasjonene under ett vil ikke klare å luke bort alle avvikene, og settes grensen for høyt vil verdier som burde fjernes likevel bli med i dataserien. Fra analyserte MET-stasjoner tyder det på at en generell sprangverdi bør ligge på 10-15 cm. Sprangverdien bør settes noe over minste observerte sprang som er riktig slik at man er sikker på at riktige verdier ikke fjernes fra dataserien. Noen ukorrekte verdier vil det alltid være i slike dataserier. En rekke av sprangene går fra korrekte snødybde til verdier rundt målehøyde, negative verdier eller feilkoder. Disse sprangene er så store at de som oftest vil kunne fjernes.



Basert på dataseriene ser det ut til at en generell frysverdi er vanskelig å fastslå ettersom det varierer mellom 10 timer til godt over 100 timer sammenhengende med eksakt lik snødybdeverdi. Data fra de 27 utvalgte MET-stasjonene tyder på at SHM 30-sensoren er mer utsatt for lange perioder med lik snødybde enn det som er observert for SR50A-sensoren. Samtidig viser dataseriene at på stasjoner hvor snødybden registreres med oppløsning på 1 cm har vesentlig lengre perioder med lik snødybde enn stasjoner hvor snødybden oppgis med en oppløsning på 1 mm. For stasjoner som fremdeles har oppløsning på 1 mm bør derfor grensen være noe lavere enn ved oppløsning på 1 cm ettersom mindre oppløsning gir avrundede målinger som kan ligge på samme verdi over flere døgn. Samtidig anbefales det ikke å benytte oppløsning på 1 cm ettersom bruk av en høy frysverdi øker sannsynligheten for at flere ukorrekte målinger beholdes i dataserien.

Ved en høy frysverdi vil det bli vanskeligere å fjerne avvik som er like over flere timer ettersom periodene med ukorrekte verdier ofte er kortere enn de lengste periodene med korrekte målinger. Flertallet av stasjonene ser imidlertid ikke ut til å ha store problemer med frysede snødybder som ikke er korrekte. For flere dataserier registreres 0 cm i snøfri perioder, som er korrekt, gjerne langt over andre perioder med frysede snødybdeverdier. Null bør derfor ikke fjernes fra dataserien selv om det overstiger frysverdien. Avvikene vil sjeldent bli akkurat null slik at man antagelig ikke får med ukorrekte målinger dersom null alltid inkluderes i dataseriene.

For stasjoner hvor avvik opptrer ofte bør snødybdemålingene over flere år analyseres for å finne de mest optimale grensene for sprang- og frysverdi. Dette har ikke vært mulig i denne oppgaven.



## 6. KONKLUSJONER

---

Denne oppgaven har tatt for seg flere deler av automatisk snødybdemåling i Norge for å undersøke hva som er best egnet som standard målemetode.

Fire ulike underlag ble testet på Blindern i Oslo, mens fem underlag ble testet i Ås i Akershus. På bakgrunn av bildematerialet egner sand og Litex-Membranplate seg dårlig som underlag. Platen av glassfiberarmert plast (GRP) ser ut til å være det beste underlaget av de som er testet. Videre forsøk må gjøres for å undersøke underlagene nærmere ettersom få smelteperioder er undersøkt. Underlagene bør også testes ut med bruk av ultralyd- og lasersensor for å se om type underlag påvirker snødybdemålingene. Underlagene har kun ligget ute gjennom en vinter og for å undersøke holdbarheten til platene bør forsøk over flere år utføres.

Forsøkene viste at signalstyrken til Lufft SHM 30-sensoren kan benyttes til å påvise om det er snø på underlaget eller ikke. For de to hvite fargeprøvene som ble testet var signalstyrken over 6, mens for de grå fargeprøvene og den mørke grønne fargen var signalstyrken under 6. Grensen som er satt som standard for om sensoren registrerer snø eller ikke er satt til 6 og ser ut til å være en riktig grense. Flere tester og finjusteringer må imidlertid gjøres med ekte snø.

Deler av måleområdet til SR50A-sensoren ble forhøyet for å illustrere et ujevnt snødekke. Forsøket viste at sensoren registrerte det høyeste punktet i måleområdet når 25 % og 50 % av måleområdet var forhøyet. Kvalitetstallet økte når mindre område ble forhøyet, men var fremdeles innenfor en god måling. Det hadde vært interessant å teste hvor liten del av måleområdet som kan være forhøyet før målingen ikke registreres som god.

27 utvalgte MET-stasjoner som benyttet enten ultralyd- eller lasersensor til snødybdemåling ble valgt ut og dataseriene fra vinteren 2014-2015 ble analysert for å undersøke ved hvilke forhold sensorene ikke viste korrekt snødybde og om det var forskjell på sensorene. Det var store forskjeller mellom stasjonene i forhold til hvor mye feil de viste, men det var ingen signifikante forskjeller mellom de to sensortypene.

Flere analyser og forsøk må gjennomføres, men på bakgrunn av denne oppgaven bør standard snødybdemåling i Norge skje med lasersensoren SHM 30 med en GRP-plate som underlag. Vinkelen som legges inn i sensoren bør være  $\pm 1^\circ$  av monteringsvinkelen og bør måles med en laseravstandsmåler ettersom dette er en enkel og nøyaktig metode for å bestemme vinkelen.



## REFERANSER

---

- 5M, 2012. *Composite profiles (GRP, FRP)*. [Online]  
Available at: <http://www.5m.cz/en/composite-profiles-grp-frp/>  
[Accessed 12. november 2015].
- Aguardo, E. & Burt, J. E., 2013. *Understanding weather and climate*. 6. ed. USA: Pearson.
- Ahrens, C. D., 1998. *Essentials of meteorology: an invitation to the atmosphere*. 2. ed. USA: Wadsworth Publishing Company.
- Armstrong, R. L. & Brown, R., 2008. Introduction. In: R. L. Armstrong & E. Brun, eds. *Snow and climate: Physical processes, surface energy exchange and modeling*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 1-11.
- Brown, R. & Armstrong, R. L., 2008. Snow-cover data: Measurement, products, and sources. In: R. L. Armstrong & E. Brun, eds. *Snow and climate: Physical processes, surface energy exchange and modeling*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 181-216.
- Campbell Scientific, 2014. *SR50A Sonic Ranging Sensor*, Canada: Campbell Scientific.
- de Haij, M., 2012. *Pre-operational field test of a laser snow depth sensor*. Brussel, Poster på TECO 2012.
- Deems, J. S. & Painter, T. H., 2006. *Lidar measurement of snow depth: accuracy and error sources*. Telluride, Colorado, International Snow Science Workshop.
- Deems, J. S., Painter, T. H. & Finnegan, D. C., 2013. Lidar measurement of snow depth: a review. *Journal of Glaciology*, 59(215), pp. 467-479.
- Doesken, N. J. & Judson, A., 1997. *The snow booklet: A guide to science, climatology, and measurement of snow in the United States*. 2. ed. Colorado Climate Centre, Department of Atmospheric Science: Colorado State University.
- Engineering.com, 2006. *Thermal Conductivity*. [Online]  
Available at: <http://www.engineering.com/Library/ArticlesPage/tabid/85/ArticleID/152/Thermal-Conductivity.aspx>  
[Accessed 12. november 2015].
- Fiberline Composites, 2015. *Typical thermal properties for Fiberline GRP profiles*. [Online]  
Available at: <http://fiberline.com/typical-thermal-properties-fiberline-grp-profiles>  
[Accessed 17. september 2015].
- Fierz, C. et al., 2009. *The international classification for seasonal snow on the ground. IHP-VII Technical documents in hydrology No 83*, Paris: IACS Contribution No 1, UNESCO-IHP.
- Garrett, T. J., Fallgatter, C., Shkurko, K. & Howlett, D., 2012. Fall speed measurement and high-resolution multi-angle photography of hydrometeors in free fall. *Atmos. Meas. Tech*, 5(11), pp. 2625-2633.
- Hopkinson, C., Sitar, M., Chasmer, L. & Treitz, P., 2004. Mapping snowpack depth beneath forest canopies using airborne lidar. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(3), pp. 323-330.
- Integrated Environmental Solutions Limited, 2015. *Apache-tables user guide, IES Virtual Environment 6.4*. [Online]  
Available at: <http://www.iesve.com/downloads/help/ve2012/Thermal/ApacheTables.pdf>  
[Accessed 12. november 2015].
- Jenoptik, 2014. *SHM 30 Snow depth sensor*. Germany: Jenoptik.
- Jordan, R. E., Albert, M. R. & Brun, E., 2008. Physical processes within the snow cover and their parameterization. In: R. L. Armstrong & E. Brun, eds. *Snow and climate: physical processes, surface energy exchange and modeling*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 12-69.

Kartverket, 2015. *Norgeskart.no*. [Online]  
Available at: <http://www.norgeskart.no>  
[Accessed 26. oktober 2015].

Kikuchi, K., Kameda, T., Higuchi, K. & Yamashita, A., 2013. A global classification of snow crystals, ice crystals, and solid precipitation based on observations from middle latitudes to polar regions. *Atmospheric Research*, Volume 132-133, pp. 460-472.

Kim, B. M., Lee, C. W., Lee, C. J. & Choi, J., 2014. *A multipoint snow depth measurement system*, St. Petersburg: TECO 2014.

Langham, E. J., 1981. Physics and properties of snowcover. In: D. M. Gray & D. H. Male, eds. *Handbook of snow; principles, processes, management & use*. Canada: Pergamon Press, pp. 275-337.

Lanzinger, E. & Theel, M., 2010a. *Optimized snow plates and snow grids for automatic and manual snow depth measurements.*, Hamburg: Deutscher Wetterdienst.

Lanzinger, E. & Theel, M., 2010b. *Improving reliability and sensitivity of a laser snow depth gauge.*, Hamburg: Deutscher Wetterdienst.

Larson, K. M. et al., 2009. Can we measure snow depth with GPS receivers?. *Geophysical research letter*, 36(17).

Larson, K. M. & Nievinski, F. G., 2013. GPS snow sensing: results from the EarthScope Plate Boundary Observatory. *GPS Solutions*, 17(1), pp. 41-52.

Litex AS, 2013. *FDV-dokumentasjon*. [Online]  
Available at: <http://www.litex.no/getfile.php/Bilder/Brosjyre/FDV%20Litex%20Membranplate%2008.08.13.pdf>  
[Accessed 17. september 2015].

Lufft, 2015. *Snow depth sensor SHM 50*. [Online]  
Available at:  
[http://www.ukipme.com/emailers/partner\\_emailers/mtwe15\\_partner\\_emailers/Lufft/pure\\_index.html](http://www.ukipme.com/emailers/partner_emailers/mtwe15_partner_emailers/Lufft/pure_index.html)  
[Accessed 17. november 2015].

Luzi, G. et al., 2009. Using a ground-based SAR interferometer and a terrestrial laser scanner to monitor a snow-covered slope: Results from an experimental data collection in Tyrol (Austria). *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 47(2), pp. 382-393.

Mair, M. & Baumgartner, D. J., 2010. *Operational experience with automatic snow depth sensors - ultrasonic and laser principle*. Helsinki, Poster på TECO 2010.

McKay, G. A. & Gray, D. M., 1981. The distribution of snowcover. In: D. M. Gray & D. M. Male, eds. *Handbook of snow; principles, processes, management & use*. Canada: Pergamon Press, pp. 153-190.

Meteorologisk institutt, 2010. *Snødybdemålere*. [Online]  
Available at: <https://metlex.met.no/wiki/Sn%C3%B8dybdem%C3%A5lere>  
[Accessed 31. august 2015].

Meteorologisk institutt, 2015a. *Målinger i over 100 år*. [Internett]  
Available at: [http://met.no/Meteorologi/A\\_male\\_varet/Malinger\\_i\\_over\\_100\\_ar/](http://met.no/Meteorologi/A_male_varet/Malinger_i_over_100_ar/)  
[Funnet 31. august 2015].

Meteorologisk institutt, 2015b. *Å måle været*. [Online]  
Available at: [http://met.no/Meteorologi/A\\_male\\_varet/](http://met.no/Meteorologi/A_male_varet/)  
[Accessed 31. august 2015].

Meteorologisk institutt, 2015c. *Oversikt over automatiske snødybdemålere*, Oslo: Intern metadatabase stinfosys.

Meteorologisk institutt, 2015d. *eKlima*. [Online]  
Available at: [eklima.met.no](http://eklima.met.no)  
[Accessed 21. oktober 2015].

Morin, S. et al., 2014. *Air temperature correction for ultrasonic snow height measurements (under utarbeidelse)*, Grenoble: Météo-France.

Nitu, R. et al., 2012. *WMO intercomparison of instruments and methods for the measurement of solid precipitation and snow on the ground: organization of the experiment*, Brussel: World Meteorological Organization, IOM No. 109, TECO 2012.

Norges miljø- og biovitenskaplige universitet, 2014. *Om FAGKLIM*. [Online]  
Available at: <http://www.nmbu.no/om/fakulteter/miljotek/institutter/imt/laboratorier/fagklim/om-fagklim>  
[Accessed 1. september 2015].

Norges vassdrags- og energidirektorat, 2009a. *Snø*. [Online]  
Available at: <http://www.nve.no/no/Vann-og-vassdrag/Hydrologi/Sno/>  
[Accessed 19. september 2015].

Norges vassdrags- og energidirektorat, 2009b. *Snøputer*. [Online]  
Available at: <http://www.nve.no/no/Vann-og-vassdrag/Hydrologi/Sno/Snoputer1/>  
[Accessed 24. november 2015].

Ozeki, M. & Heki, K., 2012. GPS snow depth meter with geometry-free linear combinations of carrier phases. *Journal of Geodesy*, 86(3), pp. 209-219.

Personlig kommunikasjon med FMI, 2015. *Surface material comparison at Jokioinen*, Finland: FMI.

Ryan, W. A. & Doesken, N. J., 2008. Evaluation of ultrasonic snow depth sensors for U.S. snow measurements. *Journal of atmospheric and oceanic technology*, Volume 25, pp. 667-684.

Schemenauer, R. S., Berry, M. O. & Maxwell, J. B., 1981. Snowfall formation. In: D. M. Gray & D. H. Male, eds. *Handbook of snow; principles, processes, management & use*. Canada: Pergamon Press, pp. 129-152.

The Engineering ToolBox, 2015a. *Specific heat of common substances*. [Online]  
Available at: [http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-d\\_391.html](http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-d_391.html)  
[Accessed 12. november 2015].

The Engineering ToolBox, 2015b. *Thermal conductivity of some common materials and gases*. [Online]  
Available at: [http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d\\_429.html](http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html)  
[Accessed 17. september 2015].

World Meteorological Organization, 2008. *Guide to meteorological instruments and methods of observation*. 7 ed. Geneva: WMO No. 8.

Yaghoobian, N., Kleissl, J. & Krayenhoff, E. S., 2010. Modeling the Thermal Effects of Artificial Turf on the Urban Environment. *Journal of applied meteorology and climatology*, 49(3), pp. 332-345.





## VEDLEGG

---

Tabell A.1: Klassifisering av fast nedbør basert på (Kikuchi, et al., 2013). Hver av de åtte hovedkategoriene har 3-9 mellomkategorier og 3-41 underkategorier. Hver snøtype har sin spesifikke kode og er vist i Figur A.1.

Hovedtype	Kode	Mellomkategorier	Underkategorier
Søyler	C	4	15
Plane krystaller	P	8	29
Kombinasjon av søyler og plater	CP	9	41
Aggregasjon av snøkrystaller	A	3	3
Rimede snøkrystaller	R	4	14
Iskrystallspirer	G	4	10
Uregelmessige snøkrystaller	I	3	3
Annen fast nedbør	H	4	6

Tabell A.2: Klassifisering av snø på bakken som består av ni hovedkategorier med 2-9 underkategorier. Alle kategoriene har sin spesifikke kode. Fra (Fierz, et al., 2009).

Hovedtype	Kode	Undergrupper
Nedbørspartikler	PP	9
Kunstsno	MM	2
Fragmenterte nedbørspartikler og partikler under nedbrytning	DF	2
Avrundede korn	RG	4
Fasetterte krystaller	FC	3
Begerkrystaller	DH	5
Overflaterim	SH	3
Smelteformer	MF	4
Istyper	IF	5

C1a	C1b	C1c	C2a	C2b	C2c	C3a	C3b	C3c
C3d	C3e	C4a	C4b	C4c	C4d	P1a	P1b	P1c
P2a	P2b	P3a	P3b	P3c	P4a	P4b	P4c	P4d
P4e	P4f	P4g	P5a	P5b	P5c	P5d	P5e	P5f
P6a	P6b	P6c	P6d	P7a	P7b	P8a	P8b	CP1a
CP1b	CP1c	CP2a	CP2b	CP2c	CP2d	CP3a	CP3b	CP3c
CP3d	CP3e	CP3f	CP4a	CP4b	CP4c	CP5a	CP6a	CP6b
CP6c	CP6d	CP6e	CP6f	CP6g	CP6h	CP7a	CP7b	CP7c
CP7d	CP7e	CP7f	CP7g	CP8a	CP8b	CP8c	CP8d	CP9a
CP9b	CP9c	CP9d	CP9e	A1a	A2a	A3a	R1a	R1b
R1c	R1d	R2a	R2b	R2c	R2d	R3a	R3b	R3c
R4a	R4b	R4c	G1a	G1b	G2a	G2b	G2c	G3a
G3b	G4a	G4b	G4c	I1a	I2a	I3a	H1a	H1b
H1c	H2a	H3a	H4a					

Figur A.1: Skisse av de 121 snøtypene med tilhørende kode klassifisert av (Kikuchi, et al., 2013). De store bokstaverne først i koden forteller hvilken hovedkategori snøtypen tilhører som vist i Tabell A.1. Tallet tilsvarer mellomkategorien og siste bokstav er underkategorien.



Figur A.2: MET-stasjonene med ultralydsensor som har vært analysert i oppgaven. 1) Asker, 2) Bjarli, 3) Bjørnholt, 4) Hakadal jernbanestasjon, 5) Hemsedal II, 6) Mannen, 7) Konnerud, 8) Lyngen-Gjerdvassbu, 9) Lønsdal stasjon, 10) Juvvasshøe, 11) Sjuvfjellet, 12) Sandhaug, 13) Nordnesfjellet





**Figur A.3: De utvalgte MET-stasjonene med lasersensor. 1) Bulken, 2) Dovre-Lannem, 3) Glomfjord-skihytta, 4) Høvringen II, 5) Innerdalen, 6) Losistua, 7) Nord-Odal, 8) Işkoras II, 9) Ørskog, 10) Tamokdalen, 11) Røldalsfjellet, 12) Ørsta-Eitrefjell, 13) Ånestadblåheia, 14) Myrkdalen-Vetlebotn.**





Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
67 23 00 00  
[www.nmbu.no](http://www.nmbu.no)