

Detektering av snø- og vindfordelingen over grønne tak

Tore Mjønes

Master i Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2016

Hovedveileder: Tone Merete Muthanna, IVM

Medveileder: Birgitte Gisvold Johannessen, IVM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for vann- og miljøteknikk

Forord

Denne rapporten er skrevet av Tore Bjørge Mjønes. Masteroppgaven markerer avslutningen på en 2-årlig mastergrad innen Vannforsynings og avløpsteknikk ved NTNU. Rapporten utgjør 30 studiepoeng og utgjør 100% av karakteren i faget.

Hensikten med rapporten er å finne ut om vinden påvirker hvordan snø og regn fordeler seg over grønne tak. Rapporten vil også gi en bredere forståelse av diverse feilkilder som påvirker nedbørsmålingene.

Det er foretatt feltnmålinger på to tak, der det ene taket ligger på Risvollan i Trondheim Kommune og det andre taket ligger ved Nygårdstangen i Bergen Kommune.

Nedbørmåleren som er installert på Risvollan tar bare for seg 1 punkt (punktnedbør). Den vil ikke klare å registrere dersom hypotesen om at det regner ujevnt over det grønne taket stemmer. Teori sier vinden den vil fordele seg ulikt, dette skal jeg finne ut ved å utføre feltnmålinger på to grønne tak.

Jeg vil se på om en rute som vi tror er best til å holde på vannet kan vise seg å være den ruta som er den dårligste til å holde på vannet.

Jeg skal også kvantifisere eventuelle feil ved selve nedbørmåleren.

Rapporten inneholder en gjennomgang av feilkilder med nedbørmålere, og hvordan vind påvirker nedbørsmålinger på tak. Det er utført ulike korrigeringer for å prøve å finne virkelig nedbør.

Oppgaveteksten ble utarbeidet av PhD - kandidat Birgitte Gisvold Johannesen.

Grunnen til jeg valgte denne oppgaven var at jeg synes overvannshåndtering er veldig spennende og aktuelt tema. Nå ble dette en oppgave som ikke går direkte på hvor effektivt overvannshåndteringen fungerer, men mer på meteorologiske parameter rundt temaet.

Takk til alle som har bidratt praktisk og økonomisk:

- Ivar Kalleland fra Bergen kommune for hjelp og gode innspill
- Tone Merete Munthana fra NTNU som er 1 av 2 av mine hovedveiledere.

- IVM NTNU for økonomisk støtte av Bergenstur og av 140L Whurth kasse.
- Arne på labben som lagde prototype til alle de 24 nedbørmålerene.
- Knut Alfredsen for lån av snømålingsutstyr.
- Sist men ikke minst en ekstra stor takk til veilederen min og PhD kandidat Birgitte Gisvold Johannesen. Hun har vært til stor hjelp for meg og gitt meg ulik informasjon og råd underveis.

Jeg tror denne oppgaven vil være nyttig som et bidrag i framtidig forskning og utvikling av grønne tak.

Trondheim 10. juni 2016

Tore Bjørge Mjønes

Sammendrag

Hensikten med oppgaven var ved hjelp av feltmålinger å kunne si noe om feilkilder det kan forventes å komme på vindutsatte tak. Rapporten sier også noe om hvordan snø og regn fordeler seg over grønne tak.

Det ble i oppgaven sett både på feilkilder knyttet til selve nedbørmåleren, og utført undersøkelser på hvordan nedbør fordeler seg over takflaten på grønne tak.

Det ble utført 3 typer feltarbeid på de grønne takene i Bergen (ved Nygårdstangen) og i Trondheim (på Risvollan):

- Statisk kalibrering av nedbørmåler (Bergen og Trondheim)
- Nedbørmåling fra manuelle nedbørmålere over takets tverrsnitt (Bergen og Trondheim)
- Snømåling med snøprøvetaket over takets tverrsnitt (Trondheim)

Vanlig måling av nedbør skjer ved punktnedbørmåling som består av en veldig enkel prosedyre. Nedbøren samles opp i en trakt, som drenerer vannet ned i to vippende skåler. Det sendes ut et elektrisk signal for hvert vipp og en nedbørmengden blir registrert. Til tross for en enkel prosedyre er det tilknyttet flere feilkilder til måleren.

Den største feilkilden for vippe nedbørmålerne i Bergen og Trondheim er knyttet til at det ikke ble utført en statisk kalibrering ved installasjon av nedbørmåleren. Fra utført statisk kalibrering viste det seg at begge målerne måler hyppigere nedbør enn de skal. Nedbøren må derfor kalibreres med en faktor på 0,84 for nedbør som hentes fra nedbørmåleren i Trondheim og 0,85 for nedbør som hentes fra nedbørmåleren i Bergen.

De mest vesentlige feilkildene knyttet til nedbørmåleren korrigeres i ligningen under, her er feilkilder som vind som påvirker kastelinjen til nedbørpartiklene, fukt og fordamping tatt hensyn til:

$$P_c = k(P_m + \Delta P_E + \Delta P_W)$$

- P_c er virkelige nedbøren
- k er korreksjonsfaktor for aerodynamisk effekt
- P_m er nedbørmengdene målt (og kalibrert etter statiske kalibreringsfaktoren) for nedbørmåleren
- ΔP_E er korrigeringsfaktor på grunn av fordamping

- ΔP_w er korrigering på grunn av fukt

Observasjon av det grønne taket i Bergen viser at vinden ikke påvirker nedbørfordelingen mellom de forskjellige rutene i vesentlig grad. Dette fordi de grønne rutene ligger inne på ett allerede eksisterende tak og vindopphøyning langs kantene vil ikke påvirke fordelingen av nedbøren.

Observasjon av det grønne taket i Trondheim viser det seg at vinden vil påvirke nedbørfordelingen over taket. Snø blir påvirket i større grad enn regn. Dette medfører forskjellige mengder nedbør i de forskjellige rutene. Dette er viktig og ta hensyn når rutene sammenlignes mot hverandre. Dersom det ikke blir tatt hensyn til kan det medføre at ett materiale i en rute med lav nedbørmengde blir sett på som bedre enn ett materiale i en rute med høy nedbørmengde.

Målingene over taket i Trondheim viser tydelig at nedbøren overestimerte i rute nr. 2, spesielt for snømålingene. Denne ruten er den tykkeste av rutene på det grønne taket på Risvollan, det har tidligere blitt påvist at den ruten holder dårligst på nedbøren. Dette var før informasjon om ruten har en større nedbørmengde enn de andre rutene. Den nye informasjonen kan potensielt snu om på tidligere resultat av den grunn.

Abstract

The purpose of this task is by field measurements be able to say something about the sources of error that can be expected to be found on windy roof. But also say something about how snow and rain distribute over green roofs.

In the task looking into both sources of error associated with the rain gauge, and done research on how rainfall is distributed over the roof surface on green roofs..

It was performed three types of field work on the green roofs in Bergen (at Nygårdstangen) and Trondheim (on Risvollan):

- Static calibration of precipitation gauge (Bergen and Trondheim)
- Precipitation measurements from manual rain gauges over the cross section of the roof (Bergen and Trondheim)
- Snow measurements using snowtube over the cross section of the roof (Trondheim)

Regular measurement of precipitation occurs at point precipitation measurement consisting of a very simple procedure. Precipitation is collected in a funnel, which drains water down into two tilting boxes. Every tilt sends out an electrical signal and rainfall amount is recorded.

Despite a simple procedure, it is associated with multiple sources of error of the meter.

The greatest source of error for the precipitation gauges in Bergen and Trondheim is that it has not been done a static calibration on the gauges. The precipitation must be calibrated by a factor of 0.84 for the rain gauge in Trondheim and 0.85 for the rain gauge in Bergen due to the result from the static calibration.

The most significant sources of error associated with the rain gauge is corrected in the equation below, here is the error sources such as wind affecting throw line until precipitation particles, wetting and evaporation taken into consideration:

$$P_c = k(P_m + \Delta P_E + \Delta P_W)$$

- P_c is the rel amount of precipitation
- k is correction due to aerodynamic effect
- P_m is the measured amount of precipitation by the precipitation gauge
- ΔP_E is correction due to evaporation
- ΔP_W is correction due to wetting

Observation of the green roof of Bergen shows that the wind does not affect the precipitation between the different routes significantly. This is because the green squares is located inside one already existing roof and the wind will not have any affect on this roof because of that.

Observation of the green roof in Trondheim shows that the wind will affect rainfall distribution over the roof. Snow will be affected to a greater extent than rain. This results in different amounts of rainfall in the different routes. It is important to take into account when the routes are compared against each other. If this is not taken into consideration it may result in one material in a route with low rainfall is seen as better than one material in a route with high rainfall.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	III
Abstract	V
Figurliste	IX
Tabelliste:	XI
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn og motivasjon	1
1.2 Spørsmål og objektiver	2
1.3 Mål med oppgaven	2
2 Litteratur	3
2.1 Klimaendring	3
2.2 Måling av nedbør med vippenedbørmåler:	3
2.3 Vippenedbørmåleren:	4
2.3.1 Punktmåling for arealanalyser:.....	4
2.3.2 Vippenedbørmålerens feilkilder:	5
2.3.3 Vind påvirket feil	5
2.3.4 Fordamping	6
2.3.5 Høy intensitet	6
2.3.6 Feil knyttet til fukt fester seg i nedbørmålerens vegger:.....	7
2.3.7 Vannsprut:	7
2.3.8 Uheldige lokalisering av nedbørmåleren:	8
2.3.9 Instrumentfeil	8
2.3.10 Lesefeil og tilfeldige feil:.....	8
2.3.11 2.3.12 Optimal plassering.....	9
2.4 Skjold rundt nedbørmåleren	9
2.5 Korrigering av nedbør	9
2.5.1 Kalibrering for ulike målingshøyde	11
2.6 Omforming av snø-prøvene til mm vann:	11
2.7 Vindens oppførsel over tak:	12
3 Områdebeskrivelse og tilgjengelige data:	15
3.1 Grønt tak på Risvollan:	15
3.1.1 Meteorologiske data:	16
3.1.2 Vindretning forklaring:	18
3.2 Grønt tak ved Nygårdstangen:	20
3.2.1 Meteorologiske data.....	21
3.2.2 Florida hydrologiske stasjon:	21
3.2.3 Vindretning forklaring:	22
4 Metode:	23
4.1 Statisk kalibrering av nedbørmåler	24
4.1.1 Prosedyre og utførsel	24
4.1.2 Fra statisk kalibrering til kalibreringsfaktor:	25
4.2 Korrigering av nedbør	26
4.2.1 Korrigering av nedbørdata	26
4.2.2 Plotting av korrigert nedbør	27
4.3 Manuelle nedbørmålinger:	27

4.3.1	Plassering og utførsel av de manuelle nedbørsmålingene.....	28
4.3.2	Presenter de manuelle nedbørsmålinger og sammenligning med virkelig nedbør:	29
4.4	Manuelle snømålinger.....	32
4.4.1	Utførsel av snømålingene.....	32
4.4.2	Presentasjon av snø-målingene og sammenligning med virkelig nedbør:.....	33
5	Egne undersøkelser, observasjoner:	36
5.1	Sammenligninger av det grønne taket, Risvollan og Voll stasjon:	37
5.1.1	Vinddata Bergen:	41
5.2	Metodekontroll:	41
5.2.1	Vindhastighetene i Trondheim i måleperioden:	41
5.2.2	Vindhastighetene i Bergen i måleperioden:	42
5.2.3	Korrelasjonen internt for nedbør og snømålingene	43
5.3	Hvordan vinden vil fordele seg på taket:.....	45
6	Resultat av statistisk kalibrering og korrigeringer i måletidspunktene:	47
6.1	Statisk kalibrering:.....	48
6.1.1	Statisk kalibrering Trondheim.....	48
6.1.2	Statisk kalibrering Bergen:	48
6.2	Nedbørsmålinger:	48
6.2.1	Nedbørsmålinger Trondheim:.....	49
6.2.2	nedbørsmålinger Bergen:	51
6.3	Snømåling Trondheim:.....	52
7	Resultat feltmålinger og diskusjon.....	55
7.1	Statisk kalibrering	55
7.2	Nedbørsmåling	56
7.2.1	Trondheim	57
7.2.2	Bergen.....	68
7.3	Snømålinger	71
7.4	Avrenning i perioden det var snø på taket:	80
8	Usikkerhet:	82
9	Konklusjon	84
10	Kilder.....	86

Figurliste

Figur 1: Det grønne taket i Trondheim (venstre) og i Bergen (høyre).....	1
Figur 2: Nedbørmåler.....	4
Figur 3: Årlig justering for fukt i målerens areal for målinger i Alaska (Yang., Goodison. et al. 1998).	7
Figur 4: Formfaktorer over taket.....	13
Figur 6: Grønt tak på Risvollan.....	15
Figur 7: Det grønne taket sett ovenfra.....	16
Figur 8: Plasseringen av taket i forhold til vindretningene.....	19
Figur 12: Plasseringen av taket i forhold til vindretningene.....	22
Figur 13: Statisk kalibrering av nedbørmåler.....	24
Figur 14: Prosedyren med manuelle nedbørmålere.....	28
Figur 15: Snøprosedyren: Ta prøve, mål høyden (cm) og vei prøven (g).	32
Figur 16: Gjennomsnittlig døgn vindhastighets verdiene plottet i perioden 17. februar - 13. april.	38
Figur 17: Gjennomsnittlig vindhastighet i perioden 17. februar - 13. april.....	38
Figur 18: Gjennomsnittlig vindretningsverdiene plottet i perioden 17. februar - 13. april.....	39
Figur 19: Gjennomsnittlig vindretning for perioden 17. februar - 13. april.....	40
Figur 20: Vindhastighetene Risvollan 15. januar - 24. april.....	42
Figur 21: Vindhastighet hver time plottet i Bergen.	42
Figur 22: Plotter høyde (cm) langs x-aksen mot masse (g) langs y-aksen.....	43
Figur 23: Plotter høyden (cm) mot massen (g).....	43
Figur 24: Plotter høyden (cm) mot massen (g).....	44
Figur 25: Gjennomsnittlig vindretning for de ulike nedbørmålingene i Trondheim.....	50
Figur 26: Gjennomsnittlig vindretning for de ulike nedbørmålingsperiodene i Bergen.....	52
Figur 27: Gjennomsnittlig vindretning for de ulike snømålingene i Trondheim.	54
Figur 28: Statisk kalibrering Trondheim.....	55
Figur 29: Statisk kalibrering Bergen.....	56
Figur 30: Avviket de manuelle målerne har til den virkelige nedbøren.	58
Figur 31: Avviket de manuelle målerne har til den virkelige nedbøren.	59
Figur 32: Avviket de manuelle målerne har til den virkelige nedbøren.	60
Figur 33: Avviket de manuelle målerne har til den virkelige nedbøren.	61
Figur 34: Avviket de manuelle målerne har til den virkelige nedbøren.	62
Figur 35: Avviket de manuelle målerne har til den virkelige nedbøren.	63
Figur 36: Avviket de manuelle målerne har til den virkelige nedbøren.	64
Figur 37: Avviket de manuelle målerne har til den virkelige nedbøren.	65
Figur 38: Avviket de manuelle målerne har til den virkelige nedbøren.	66
Figur 39: Avviket de manuelle målerne har til den virkelige nedbøren.	67
Figur 40: Bildet til venstre er tatt før snøen faller den 14. januar. Bildet til høyre er tatt rett etter snømåling den 21. Januar.....	72
Figur 41: Oppe til venstre: 28. Januar etter snøfall. Oppe til høyre: 27. Januar kl 11. Nede til venstre: 30. Januar etter mye avrenning. Nede til høyre: 2. Februar etter snøfall før snøprøven ble tatt.	73
Figur 42: Bildet til venstre tatt 4. februar kl. 15. Bildet til høyre tatt 5. februar kl. 11.....	75
Figur 43: Snøsmelting fram til 9. Februar (bildet til venstre). Snøfall til 15. Februar (midre bilde). Snøsmelting fram til prøve tas (høyre bilde).....	76

Figur 44: Bildet til venstre (22. februar), bildet i midten (24 februar) og bildet til høyre (26. februar).....	77
Figur 45: Bildet til venstre er tatt etter forige måling den 26. februar og bildet til høyre er tatt rett før målingen den 1. mars.....	78

Tabelliste:

Tabell 1: Bestemmelse av a(T) faktoren etter type nedbør.....	10
Tabell 2: Korrigering for fukt i nedbørmålerens areal.	11
Tabell 3: Utvendige formfaktorer	12
Tabell 4: Mal for plotting av korrigert nedbør.....	27
Tabell 5: Plasseringene av de manuelle målerne på taket i Trondheim.	29
Tabell 6: Plassering av de manuelle målerne på taket i Bergen.....	29
Tabell 7: Plott resultat av manuelle målinger i Trondheim.....	30
Tabell 8: Plott resultatet av de manuelle målingene i Bergen.	31
Tabell 9: Resultatet av snømålingene plottes i lignende tabell.	34
Tabell 10: Korreleringene mellom Voll hydrologiske stasjon og vindmåleren ved det grønne taket.	40
Tabell 11: korrigeringsfaktor for vindhastigheter og vindretning mellom Voll hydrologiske stasjon og det grønne taket.	40
Tabell 12: Statisk kalibrering av nedbørmåler Trondheim. 25. april 2016.	48
Tabell 13: Statisk kalibrering av nedbørmåler i Bergen. 4. april 2016.....	48
Tabell 14: Hvilken type nedbør og mengdene nedbør som falt under måleperioden (Data er kalibrerte).....	49
Tabell 15: De forskjellige korrigeringsene innenfor hver målingsperiode (se punkt 4.2.2).....	49
Tabell 16: De forskjellige korrigeringsene innenfor hver måleperiode.	51
Tabell 17: HVilken type nedbør og mengdene som falt under måleperiodene (Data er kalibrerte)	53
Tabell 18: De forskjellige korrigeringsene innenfor hver måleperiode.	53
Tabell 19: Akkumulert avrenning fra det grønne taket i de forskjellige snømålingsperiodene.	53
Tabell 20: 1. nedbørmåling Trondheim.	57
Tabell 21: 2. nedbørmåling, Trondheim.	58
Tabell 22: 3. nedbørmåling, Trondheim.....	59
Tabell 23: 4. nedbørmåling, Trondheim.	60
Tabell 24: 5. nedbørmåling, Trondheim.	61
Tabell 25: 6. nedbørmåling, Trondheim.	62
Tabell 26: 7. nedbørmåling, Trondheim.	63
Tabell 27: 8. nedbørmåling Trondheim.	64
Tabell 28: 9. nedbørmåling, Trondheim.	65
Tabell 29: 10. nedbørmåling, Trondheim.	66
Tabell 30: 1. nedbørmåling, Bergen.....	68
Tabell 31: 2. nedbørmåling, Bergen.....	69
Tabell 32: 3. nedbørmåling, Bergen.....	69
Tabell 33: 4. nedbørmåling, Bergen.....	70
Tabell 34: Snømåling, Trondheim.	72
Tabell 35: 2. snømåling, Trondheim.	73
Tabell 36: 3. snømåling, Trondheim.	75
Tabell 37: 4. snømåling Trondheim.	76
Tabell 38: 5. snømåling, Trondheim.	77
Tabell 39: 6. snømåling, Trondheim.	78
Tabell 40: Total avrenning i hver rute fra 14. januar - 18. mars.....	80

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og motivasjon

Det er installert grønne tak i en del byer i Norge, herunder både i Bergen og Trondheim. Noen av takene er forsknings- og demonstrasjonsanlegg som skal øke kunnskapen om hvordan grønne tak fungerer i forskjellige omgivelser. Både takene i Bergen og Trondheim er oppbygd og delt inn i forskjellige grønne ruter. I Bergen er taket delt inn i 5- og Trondheim er delt inn i 4 ruter, bestående av forskjellige materialer. Langs taklengdene er det montert en takrenne inndelt og avpasset til hver takrute for videreføring av avrent overvann. Det avrente overvannet renner gjennom nedløpsrør som føres til et oppsamlingskar. I dette karet er det montert trykksensorer og pumper for måling av vannstand og utpumping. Hver takrute kan analyseres for seg selv. .



Figur 1: Det grønne taket i Trondheim (venstre) og i Bergen (høyre)

Dagens situasjon viser at rutene internt har store forskjeller med tanke på å holde på vannet. Rute nr. 1 som består av det tynneste materiale (10 mm) holder best på vannet, mens rute nr. 2 består av det tykkeste materiale holder dårligst på vannet. Dette virker rart og det er derfor en mistanke om at nedbøren fordeler seg ulikt over taket og at rute nr. 2. Bilder av taket viser også at snø fordeler seg ujevnt over taket.

Det kan tyde på at ulike areodynamiske forhold over takflaten påvirker nedbør- og snøfordelingen på tak. Dette kvantifiseres gjennom feltmålinger for snø, blandingsnedbør og regn. Målet med feltmålingene er å dokumentere om det er systematiske forskjeller i nedbørsmønstret over på takene.

Dersom nedbøren fra regn og snø fordeler seg ujevnt over taket, vil dette ha innvirkning på avrenningsresultatet, da det kan komme forskjellig mengde nedbør på de forskjellige rutene. Dette er ett sentralt avvik som ikke har blitt tatt hensyn til i vesentlig grad i de fleste tidligere rapporter om grønne tak.

Det vil også bli sett på feilkilder knyttet til selve vippenedbørmålerne som er installert ved forsøktakene i Bergen og Trondheim. Avvik på grunn av systematiske vind deformasjon over nedbørmåleroverflaten tilsvarer typisk 2-10% for nedbør i form av regn og 10-50% for snø (Førland Allerup med fl., 1996).

Nedbørmålerne i Bergen og Trondheim er heller ikke kalibrerte. Det innebærer at dersom du heller en viss mengde vann i nedbørmåleren, er det ikke sikkert den viser den korrekte mengde. I rapporten er metodene fra den Nordiske Manualen av Førland, Allerup med fl. (1996) svært sentrale for korrigerings av meteorologiske feilkilder knyttet til nedbørmåleren.

Nedbørmåleren vil først korrigeres for kalibreringsfeil og deretter korrigeres for systematiske feil (Vind, fordamping og fukt). Dersom vinddata hentes fra et annet sted vil høyde også korrigeres inn eller en sammenligning mellom flere vindstasjoner utføres.

Resultatet fra alle korrigeringsene skal tilsvare ”virkelig” mengde nedbør. Denne nedbøren vil da sammenlignes med snøprøver/nedbørsmålinger tatt over takets tverrsnitt. Målet er å kunne si noe om i hvor stor grad vindhastigheten og vindretningen påvirker hvor nedbøren faller på taket.

1.2 Spørsmål og objektiver

- Mål 1: Enkel kalibrering av nedbørmåler.
- Mål 2: Kalibrering av nedbørsmålinger på grunn av vind-eksponering av nedbørsmålere.
- Mål 3: Kvantifisere målefeil på grunn av vind distribuerer seg ujevnt på tvers av taket.
 - Delmål 3.1: Måle distribusjon av regn på tvers av taket.
 - Delmål 3.2: Måle distribusjon av snø på tvers av taket

1.3 Mål med oppgaven

- Finne ut om vinden påvirker hvordan snø og regn fordeler seg over grønne tak.
- Gi en bredere forståelse av diverse feilkilder som påvirker nedbørsmålingene.

2 Litteratur

2.1 Klimaendring

Det er ventet at nedbørsmengdene i Norge vil ha en gjennomsnittlig økning på 15% til 20% i fremtiden. Regnintensiteten til de korte regnskyllene med mindre utstrekning vil øke mer dramatisk (Lindholm, Nie med fl. 2007). Det nye nedbørsregimet medfører at det blir flere dager med nedbør i året, noe som igjen fører til en våtere grunn og en høyere avrenningskoeffisient. Det trengs derfor nye overvannsløsninger. Grønne tak kan gjøre et bidrag til å redusere overvannsflokker, primært i urbane strøk. I en moderne by kan tak stå for en stor prosentandel av de ugjennomtrengelige flater (Stovin, Vesuviano med fl. 2012). Ved å etablere grønne tak på husene vil takene kunne lagre og forsinke vannavrenning slik at den negative effekten av urbaniseringen reduseres (VanWoert, Rowe med fl. 2005).

2.2 Måling av nedbør med vippenedbørmåler:

Måling av nedbør er noe mennesker har drevet med i flere hundre år. Vippenedbørmåler er den mest vanlige metoden for å fange opp nedbør i dag. De står i dag for halvparten av verdens nedbørmålere (Upton og Rahimi, 2003). Selve oppfinnelsen var det Sir Christoffer Wren og Robert Hooke som stod for i 1662. Den har blitt stadig modifisert og forbedret med årene (Marsalek, 1980). Lambrech er den typen vippenedbørmåler som blir benyttet i denne rapporten. Norge startet på midten av 1800-tallet å måle nedbør. Det norske meteorologiske institutt har stått for målingene. Døgnedbøren blir registrert ved cirka 700 stasjoner gjennom året og danner grunnlag for år-nedbørsdata. På dette grunnlaget utarbeides det såkalte nedbørsnormaler for en 30-årsperiode (eks 1961-1990) (Ødegaard med fl., 2012).

Nedbørsmålinger spiller en stor rolle for mange klimatiske og hydrologiske applikasjoner i dag. Nedbørsmålingene er en av de viktigste parameterne en ser på når avrenningsmodeller utvikles (Habib, Krajewski med fl. 2001). I følge Schilling (1991) har usikkerhetene i målte nedbørsverdier hatt en signifikant effekt på designet og analysen av urbane avrenning systemer. Evnen til å forbedre avrenningsmodellene henger nøye sammen med evnen til å måle nedbør. Bedre nedbørsmålinger bidrar til å forbedre beregningen av nedbør og andre meteorologiske parameterer (Tapiador., Turk med fl. 2011).

2.3 Vippenedbørmåleren:



Figur 2: Nedbørmåler

Vippenedbørmåler består av en trakt som samler vann i ett område, som drenerer vannet ned i to vippende skåler. Skålene holdes på plass av en magnet til den er fylt med en kalibrert nedbørmengde. Normal størrelse på skålene er 0,1mm eller 0,2mm. Når skålen er fylt opp til det kalibrerte nivået vil magneten slippe grepet, slik at skålen tømmes, og den andre skålen kommer i posisjon for fylling (Førland., Mamen med fl. 2015). Hver gang en av skålene er fylt opp, vil skålen tippe og det sendes ut ett elektrisk signal (Tapiador., Turk med fl. 2011). Vippene utløser da en bryter og målingen blir registrert lokalt eller overført digitalt til operatøren av stasjonen. Vippetidspunktet registreres, og signalene blir fjernoverført i samtid. De nyeste nedbørmålerene opererer hele året (Førland., Mamen. med fl. 2015).

Hovedgrunnen til at vippemåleren er så mye brukt er fordi den er billig og enkel å installere, den kan installeres i vanskelige områder og kan kobles sammen med en rekke forskjellige måleutstyr (Humphrey. og Istok. 1996). Det er i tillegg enkelt å utføre kalibreringer på vippemålerne (Tapiador., Turk med fl. 2011).

Nedbørmålerens trakt må sjekkes og renses periodevis for å opprettholde god bruk, siden rot og rusk kan føre til feilmålinger. Hvor ofte rensing bør utføres bestemmes av lokale tilstander (Lambrecht, 2014).

2.3.1 Punktmåling for arealanalyser:

Punktmålinger av nedbør er i dag en hovedkilde til data for arealanalyser. De beste målingene av nedbør er imidlertid bare representative på ett punkt, som igjen bare er representativ for et begrenset område. Endring i observasjonsteknikk for nedbør, i hovedsak bruk av forskjellig type nedbørmålere og endring av nedbørmåleren eller høyden den plasseres, kan medføre midlertidige uhomogeniteter i korte nedbørsserier (WMO, 2008). Akkumulasjon av nedbør på ett

punkt er helt avhengig av summen av dråpe volumet som akkumuleres i oppsamleren (Michaelides., Levizzani med fl. 2009).

2.3.2 Vippenedbørmålerens feilkilder:

Ifølge Upton og Rahimi (2003) er den største feilkilden hos nedbørmålere å tro at målerne representerer den korrekte nedbøren på stedet.

Nedbørmåleren består av enkle mekanismer, hvor nedbøren blir samlet i en bøtte og ført ned i en vippeskål. Nedbøren blir der logget ved hvert vipp og deretter går nedbøren gjennom måleren og ut på undersiden. Til tross for enkle rutiner er målingene knyttet opp mot en rekke feilkilder tilknyttet denne prosedyren (Yang., Goodison med fl. 1998). Punktmålere har både systematiske og tilfeldige feil knyttet til seg.

I det neste avsnittene presenteres de forskjellige feilkildene knyttet opp mot vippenedbørmåleren.

2.3.3 Vind påvirket feil

Den største og mest vanlige systematiske feilkilden er på grunn av vinden som endrer retning på kastelinjen til nedbørspartiklene og skaper vinddeformasjoner rundt nedbørmåleren. Energien til den turbulente vinden avbøyer kastelinjen til nedbørspartiklene. Denne effekten medfører at partikler som ville ha truffet oppfangst området til nedbørmåleren, vil gå inn på utsiden av toppen av måleren, og medføre substansielt underskudd i oppfanget. Tapet av nedbør kan bli stort, spesielt under snø og vind med høy hastighet (Førland., Allerup. med fl. 1996).

Vindhastigheten rett over nedbørmåleren er cirka 35% høyere enn vinden som strømmer fritt ved siden av (Nespor. og Sevruc. 1998). Graden av underestimering varierer med type nedbør, tung nedbør underestimerer minst, mens snø eller lett regn sammen med vind underestimerer mest (Mekonnen, Matula med fl. 2015). Grunnen til dette er fordi snø har større overflateareal per masse enn regn og vil derfor i større grad følge luftstrømmen og falle utenfor måleåpningen (Tapiador., Turk med fl. 2011). Store partikler deformeres på langt nær i samme grad (Mekonnen, Matula med fl. 2015). Det er derfor en nødvendighet å klassifisere hvilke type nedbør det er snakk om (Yang., Goodison. med fl. 1998).

Omfanget av reduksjonen bestemmes av hastigheten til partikkelen, hastigheten til vinden og aerodynamiske egenskaper nedbørsmåleren har (Goodison, Louie med fl. 1998).

Ifølge den Nordiske manualen for korrigerings av nedbør av Førland, Allerup med fl. (1996) er feil på grunn av systematiske vind deformasjoner over nedbørsmåleroverflaten tilsvarende typisk 2-10% for regne/blandingsnedbør og 10-50% for snø. Ifølge Goodison, Louie med fl. (1998) kan vindpåvirket tap fra snø komme til å bli opp til 80%.

Det er gjort forsøk som viser at to målere satt opp på samme sted, men med forskjellig høyde har ulik mengde nedbør akkumulert, den høyeste nedbørsmåleren blir mest vindutsatt og oppsamler også minst nedbør (Michaelides., Levizzani. med fl. 2009). Nedbørsmålere som måles i forskjellige høyder måler konsekvent forskjellige nedbørsmengder skriver Sevruc (1996) i sin rapport.

2.3.4 Fordamping

Fordamping skjer når det blir liggende vann igjen i vippeskålen. Dette vannet kan fordampe mellom nedbørperioder. Generelt er målerne laget slik at de reduserer fordamping (Upton og Rahimi 2003), ved å tilsette olje vil vannet ikke klare å trenge gjennom oljen, og en unngår dermed fordamping på den måten (Førland., Allerup. med fl. 1996).

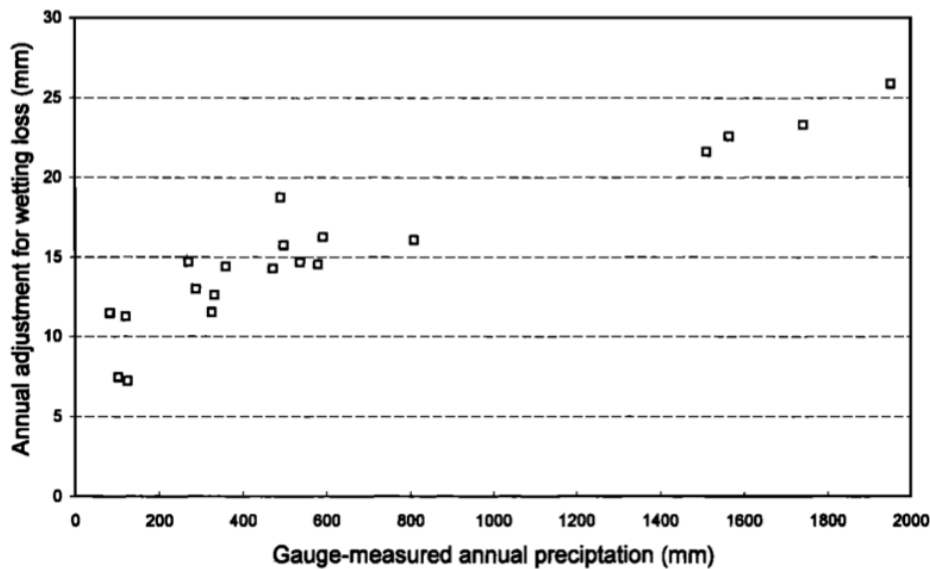
Mengden fordamping er sterkt avhengig av været, den daglige variasjonen og sesongendring. Det er derfor vanskelig å anslå mengden fordamping, og den vil variere fra sted til sted (Nespor og Sevruc. (1998)). Mange forskjellige verdier blir brukt til å anslå fordampingen. I denne rapporten brukes 25% av vippeskålens kapasitet, noe som blant andre Strangeways (2003) og Førland med fl. (1996) opererer med i sine rapporter.

2.3.5 Høy intensitet

Under høy nedbørsintensitet vil vippeskålen fylles raskt med vann. Senteret av gravitasjon vil da flyttes slik at det overbalanseres. Selve tippet kan ta opp til ett halvt sekund mens nedbøren fortsetter å falle. Dette fører til at vann faller utenfor vippeskålene og nedbøren underestimeres (Upton og Rahimi 2003). Ifølge Humphrey og Istok (1996) kan intensiteter over 25mm/time underestimere opp til 10-30% av nedbøren.

2.3.6 Feil knyttet til fukt fester seg i nedbørsmålerens vegger:

Denne type feil oppstår på grunn av adhesjon av vann eller snø som festes i veggarealet på måleren (Mekonnen, Matula med fl. 2015). Det skjer fordi måleinstrumentets areal er tørt før en nedbørshendelse og blir fuktet når nedbøren klistrer seg til veggene (Yang., Goodison. med fl. 1998). Vannet blir da igjen i målerens oppfangst område. Denne nedbøren renner ikke ned i nederste delen av måleren, og vil som konsekvens av dette ikke bli målt når måleren tømmes. Mellom nedbørshendelser vil nedbøren kunne fordampe bort (Førland., Allerup. med fl. 1996).



Figur 3: Årlig justering for fukt i målerens areal for målinger i Alaska (Yang., Goodison. et al. 1998).

Metcalf og Goodison (1993) hevder denne feilkilden kan stå for 15-20% underestimering i vinternebbør. Av figur 2 sees det at feilkilden øker med økt årlig nedbør.

I denne rapporten opereres det med de verdiene som ble brukt i den Nordiske manualen av Førland, Allerup med fl. (1996) som setter verdien til 0,1-0,3 mm/nedbørsfall, avhengig av hvilke type nedbør som kommer.

2.3.7 Vannsprut:

Dersom oppfangstarealet er for flatt, kan store dråper treffe kanten på måleren og splitte seg, slik at deler av dråpene spretter utenfor måleren og medfører underskudd. Denne type feil kan unngås ved skikkelig konstruksjon av nedbørsmåler. Ved vinterforhold kan drifting av snø medføre betydelige feil (Førland., Allerup. med fl. 1996).

2.3.8 Uheldige lokalisering av nedbørmåleren:

Objekter nær måleren kan påvirke mengden nedbør som er oppfanget av måleren. Dersom en stor konstruksjon er plassert ved siden av måleren, kan nedbør som skulle havnet i nedbørmåleren bli hindret av konstruksjonen og heller treffe denne..

Blad, fugler, insekter osv. kan komme opp i måleren og blokkere nedfallet slik at vippeskålene slutter å vippe under en nedbørhendelse (Tapiador., Turk med fl. 2011). Dersom det oppstår en full blokkering av nedbøren vil dette oppdages raskt da ingen nedbør trenger igjennom. Halvveis blokkeringer er nødvendigvis ikke så lett å oppdage. Slike feil knytter usikkerhet til lengden på nedbøren. Når dette oppstår vil nedbøren mest sannsynlig vare i ett kortere tidsrom enn det som blir registrert (Upton og Rahimi, 2003). For å unngå dette er det viktig med jevnlig vedlikehold (Tapiador., Turk med fl. 2011).

2.3.9 Instrumentfeil

Nedbørmåler kan ha mekaniske og elektriske problemer (Habib, Krajewski med fl. 2001).

Nedbørmåleren gir ikke informasjon om når nedbøren starter nøyaktig, men når første vipp skjer. Det er knyttet usikkerhet til starten og slutten av en nedbørshendelse. Det er knyttet stor usikkerhet til dataene for 1 minuts oppløsning, spesielt for lave intensiteter (Habib, Krajewski med fl. (2001)).

De nedbørmålerene som ikke har varmeelement i seg vil under snøforhold ikke tippe ettersom snøen da kan holdes fast på vippeskålen (Michaelides med fl. (2009)).

En av de største instrumentelle feilene er skader på bunn av måleren som fører til lekkasjer og systematiske underestimering av målt mengde nedbør (Førland., Allerup med fl. 1996). De fleste vippenedbørmålerne er kalibrerte av produsenten når de skal installeres. Etter 2-3 år i tjeneste bør den kalibreres igjen. Det er lett å glemme dette. En nøyaktig kalibrering bør gjøres med jevnlig mellomrom som en del av vedlikeholdsrutinen. (WMO, 2008)

2.3.10 Lesefeil og tilfeldige feil:

En typisk feil er dersom den innebygde klokken som registrerer vippene stopper opp eller hopper over målinger. Dette kan ødelegge tidspunktene for målingene og vi får ikke målinger i samtid

(Tapiador., Turk med fl. 2011). Andre typiske feil er knyttet til unøyaktige observasjoner, for eksempel lesefeil, sabotasje, uforventet påvirkning (spraying av snø fra snøplog f.eks) (Førland., Allerup. med fl. 1996).

2.3.11 2.3.12 Optimal plassering

Generelt bør måleren plasseres på en avstand fra bygningene som tilsvarer minst 1 til 4 ganger høyden på bygningen. Samtidig kan stor distanse fra bygninger eller annet skjulested medføre store vindhastigheter (Førland., Allerup. med fl. 1996). Den beste plasseringen er ofte i skjulte steder med skog på litt avstand. Samtidig er det optimalt å plassere busker og skjold rundt måleren opp til nedbøråpningens høyde (WMO, 2008).

2.4 Skjold rundt nedbørmåleren

Skjold rundt måleren benyttes for å dempe vindeffekten ved nedbørsåpningens topp. Skjoldet vil transformere virvle med horisontale aksler om til virvler med vertikale aksler. Vinden vil derfor ikke ha den turbulensen rundt måleråpningen som nedbørmålere uten skjold har (Goodison, Louie med fl. 1998). Målere med skjold vil derfor minimere effekten av vindpåførte underestimeringer (Michaelides., Levizzani. med fl. 2009).

Effekten av skjold har varierende resultat for forskjellige målinger, men trenden er at nedbørmålere med skjold samler opp mer nedbør enn nedbørmålere uten skjold.

Det er vanlig å bruke nedbørmålere med skjold som referanse når det gjøres felt sammenligninger (Goodison, Louie med fl. 1998). Korreksjonsformlene i denne rapporten har blitt laget med dobbeltskjold rundt referansenedbørmåleren

2.5 Korrigering av nedbør

De systematiske feilene har negativ effekt på nedbørsmålingene.

Førland, Allerup med fl. (1996) har i den Nordisk Manualen for korrigering av nedbør utarbeidet ett formelverk der alle feilkildene knyttet til nedbørsmålinger i Nordisk klima blir tatt hensyn til. Det vil i denne rapporten bli brukt formler basert på denne manualen. De utviklet ett formelverk som skal tilsvare den virkelige mengden nedbør:

$$2.1 \quad P_c = f(P_m, \Delta P_E, \Delta P_W, \Delta P_a, \Delta P_g, \Delta P_s, \Delta P_d, \Delta P_h)$$

P_c	-	Virkelig mengde nedbør
f	-	Korreksjonsfaktor
P_m	-	Korreksjonsfaktor
ΔP_E	-	Feil fra fordamping
ΔP_W	-	Feil på grunn av fukt
ΔP_a	-	Aerodynamisk effekt rundt måleren
ΔP_g	-	Feil på grunn av målerens lokalisering
ΔP_s	-	Feil på grunn v splasjing
ΔP_d	-	Instrumentfeil
ΔP_h	-	Lese og andre omstendigheter feil.

Med ordentlig planlegging og kvalitetskontroll av observasjonsmateriale kan mange av disse feilkildene tas bort. De mest sentrale feilkildene som ikke kan tas bort i nordiske land er feil knyttet til aerodynamisk effekt (ΔP_a), feil knyttet til fukt (ΔP_W) og feil knyttet til fordamping (ΔP_E). Korreksjon av nedbøren kan da forenkles til:

$$2.2 \quad P_c = k(P_m + \Delta P_E + \Delta P_W)$$

P_c	-	Virkelig mengde nedbør
k	-	Korrigeringsfaktor på grunn av aerodynamisk effekt

Korreksjonsfaktoren k: Flere metoder å regne ut korreksjonsfaktoren på, men det vil i denne rapporten være mest naturlig å bruke den norske modellen:

$$2.3 \quad k = \exp[a(T) * v]$$

v = vindhastighet (m/s) på toppen av nedbørmåler åpningen.

Tabell 1: Bestemmelse av a(T) faktoren etter type nedbør.

Temperatur	Type nedbør	a(T)
$T > 1,7^{\circ}\text{C}$	Regn	0,0134
$0 < T \leq 1,7^{\circ}\text{C}$	Blandingsnedbør	0,0271
$-5 < T \leq 0^{\circ}\text{C}$	Snø	0,0486

-10<T<=-5 °C	Snø	0,0820
--------------	-----	--------

Fordamping, ΔP_E : Fordampingen tilsvarer 25% av vippekålens kapasitet per nedbørfall.

Fukt ΔP_W :

Tabell 2: Korrigering for fukt i nedbørmålerens areal.

Fukt på nedbørmålerens areal (mm/hendelse)			
Nedbørmåler	Regn	Blandingsnedbør	Snø
Vippenedbørmåler	0,15	0,10	0,15

Korrigeringsformlene er gyldige for vindhastigheter opp til 6 m/s. Vind med høyere hastigheter vil medføre en større usikkerhet.

2.5.1 Kalibrering for ulik målingshøyde

Vindhastigheten bør måles i nedbørmålerens åpning. Dersom vinden måles et annet sted skal den korrigeres ned til nedbørmålerens åpning etter følgende formel fra Førland, Allerup med fleres (1996) rapport:

$$2.9 \quad U_h = \left[\log(h/z_0) / \left(\log\left(\frac{H}{z_0}\right) \right) \right] * U_H$$

U_h - Vindhastighet på målerhøyde.

H - Høyde (m) på målertopp

z_0 - Ruhet lengde: 0,01 m for vinter, og 0,03 m for sommer.

H - Høyde (m) på vindmålingsinstrumentet.

U_H - Vindhastighetsmålinger på høyde H over bakken.

2.6 Omforming av snø-prøvene til mm vann:

Snø-densiteten av Dixon og Boon (2011):

$$2.10: \quad \rho_s = \frac{m_{Sample}}{V_{Sample}} = \frac{m_{sample}}{\pi * (R_{Cutter})^2 * d_s}$$

ρ_s - densitet snøprøve (g/cm³)

V_{Sample} - volum av densiteten (cm³)

R_{Cutter} - insideradius på snømåleren (cm)

d_s - snødybde målt fra snø-opsamleren (cm)

m_{sample} - massen av snøprøven (g)

Snø-prøvene blir omregnet til mm gjennom følgende formel (Dixon og Boon 2011):

$$2.11: \quad SVE = d_s \frac{\rho_s}{\rho_w}$$

d_s - målt snødybde (cm)

ρ_s - Densitet av snøprøve (g/cm^3)

ρ_w - Densitet av vann ($1 \text{ g}/\text{cm}^3$)

2.7 Vindens oppførsel over tak:

For å kunne si noe om hvordan vinden oppfører seg over taket er det viktig med lokale kunnskaper om byggestedet:

- Hvor i landet er bygningen plassert.
- Topografien rundt byggestedet.
- Takutformingen på bygget.
- Bygningens plassering i forhold til andre bygninger.

Følgende informasjon under er hentet fra Byggforskserien 471.043 Vindlaster på bygninger.

Topografi og uregelmessigheter kan gi stor lokal variasjon i vindhastigheten. Høy ruhet gir mye bremsing av vind, lav ruhet reduserer bremsing av vinden.

Vindhastigheten varierer avhengig av utformingen av bygningene. Effekten av bygningens utforming har på vindhastigheten blir uttrykt ved hjelp av formfaktorer.

De utvendige formfaktorene, c_{pe} , for bygninger og deler av bygninger avhenger blant annet av størrelsen på det belastede arealet, A. Man bruker $c_{pe,10}$ for $A=10\text{m}^2$ og $c_{pe,1}$ for $A=1\text{m}^2$. For $1\text{m}^2 < A < 10\text{m}^2$ bruker man: $2.10 \ c_{pe} = c_{pe,10} + (c_{pe,10} - c_{pe,1}) * \log_{10} A$.

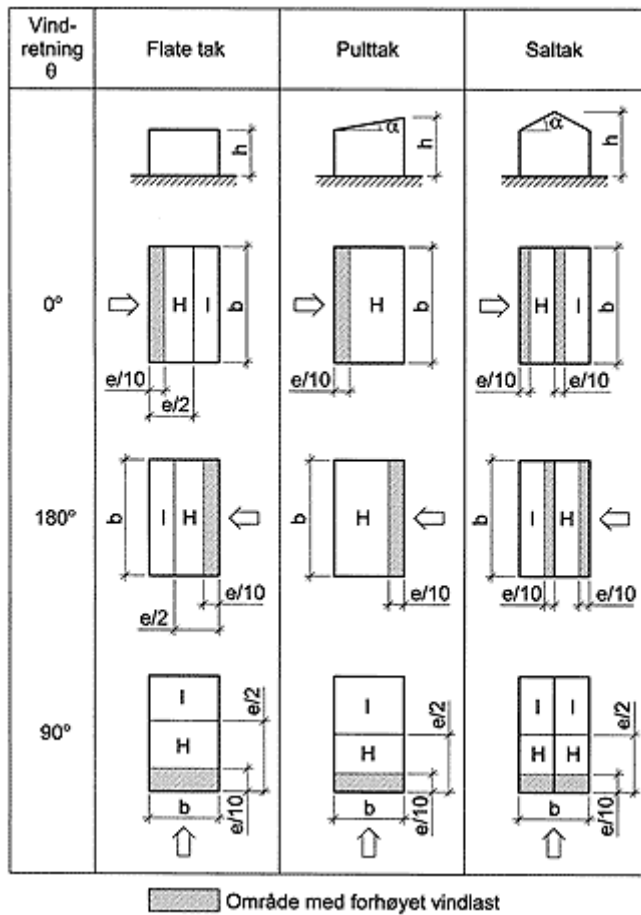
Tabell 3: Utvendige formfaktorer

Taktype	Sone	Takvinkel	
		5°	15°
Pulttak			
$q=0^0$	H	$-0,6^{(1)}$	$-0,3$
		0	$0,2$

$q=180^0$	H	$-0,8^{1)}$	$-0,9^{1)}$
$q=90^0$	H	$-0,6^{1)}$	$-0,8^{1)}$
	I	$-0,5$	$-0,7^{1)}$

¹⁾ $C_{pe,1}=-1,2$

Utvendig formfaktorer for tak, viser hvordan vinden fordeler seg utover taket. Figur 4 og tabell over viser formfaktorer for utvendig vindlast, c_{pe} , for flate tak, pulttak og saltak etter NS 3491-4 for ulike takvinkler, α , og vindretninger, q . For mellomliggende takvinkler kan lineær interpolasjon benyttes. De utvendige formfaktorene avhenger av størrelsen på det belastede arealet, A.



Figur 4: Formfaktorer over taket.

H og I er områder med forskjellige formfaktorer. Verdien til parameteren e bestemmes ved å velge den minste av b og $2 \cdot h$.

Tabellen viser utvendig formfaktorer dersom det belastede arealet er minst 10 m^2 ($c_{pe,10}$), og anger ved hjelp av fotnote verdier for belastet areal mindre enn 1 m^2 ($c_{pe,1}$) der $c_{pe,1}$ avviker fra $c_{pe,10}$. For mellomliggende arealer bruker man omregningsformelen over (nr på formel). Positive verdier angir trykk normalt inn mot takflaten, og negative verdier angir sug normalt ut fra takflaten.

Områder med forhøyet vindlast må man regne med det kan blåse fra alle sider av en bygning og man må ta hensyn til den vindretningen som gir størst belastning. Formfaktorene i de sonene kan være opp mot 2,9 (sug).

3 Områdebeskrivelse og tilgjengelige data:

Dette kapittelet presenterer studieområdene og hvilke meteorologiske parameter som finnes på stedene hvor feltarbeidet til denne rapporten ble utført.

De to grønne takene:

- Grønt tak på Risvollan (Trondheim, Norge), delt inn i 4 ruter.
- Grønt tak ved Nygårdstangen (Bergen, Norge), delt inn i 5 ruter.

Takene i Bergen og Trondheim har forskjellige klima. I Bergen er det typisk kystklima med mye nedbør, men med lite variasjon i temperatur gjennom året. I Trondheim er det mer innlandsklima og det regner vesentlig mindre enn i Bergen.

3.1 Grønt tak på Risvollan:

Til feltarbeidet i Trondheim ble det grønne taket på Risvollan brukt som studieområdet. Risvollan ligger nært NTNU. Taket har plassering cirka 4 kilometer sørøst for Trondheim sentrum.



Figur 6: Grønt tak på Risvollan

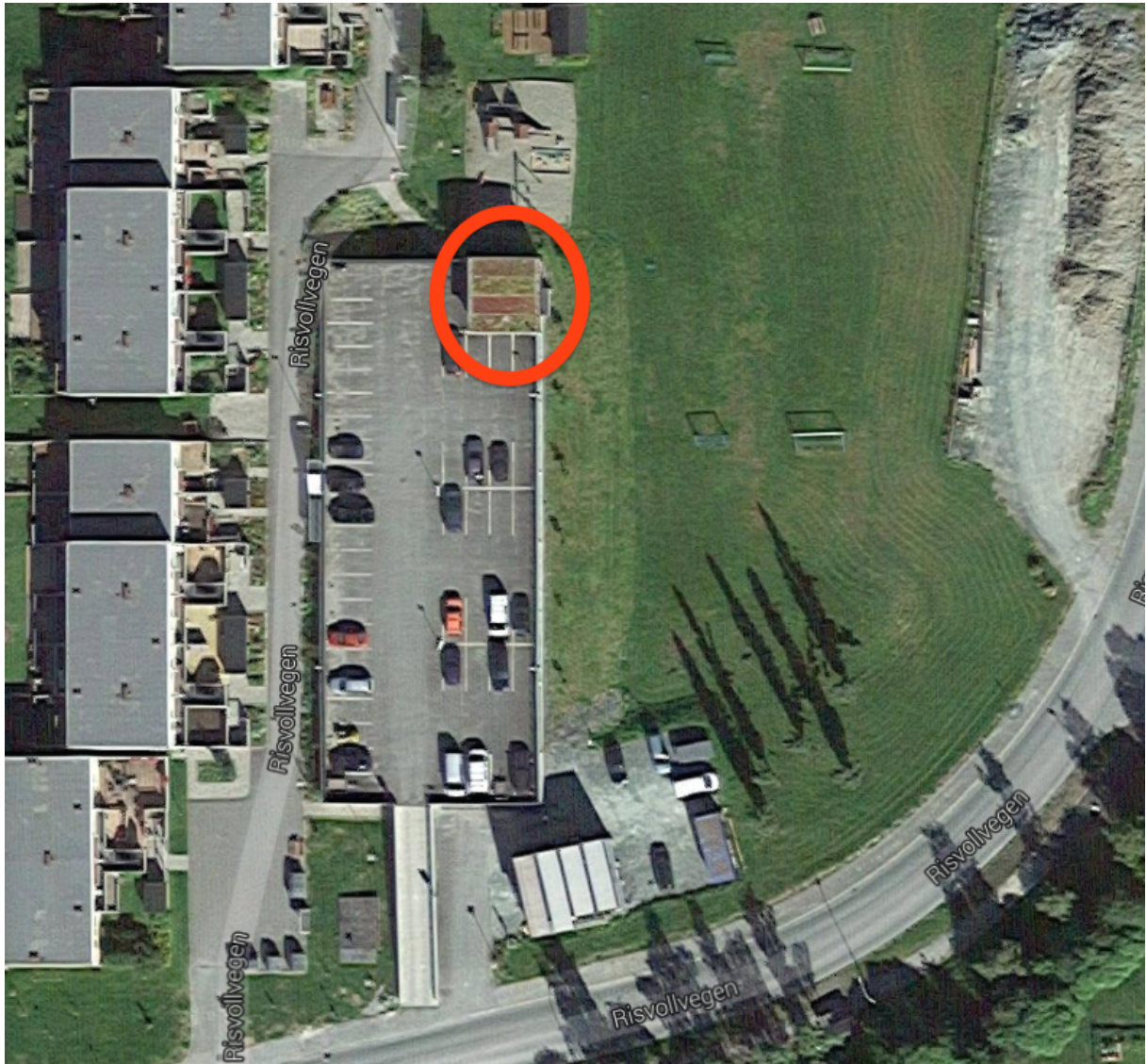
Taket ble bygd våren 2014 på en MC-bod ved Risvollan borettslag i Trondheim. Bodene står på et hjørne av et garasjeanlegg. Anlegget er etablert i samarbeid med leverandører av grønne tak, Risvollan borettslag, NVE, Trondheim kommune, NTNU og Fremtidens byer.

Taket består av fire ulike grønne takruter som en ser av figur 6. Takrutene er adskilt fra hverandre med en 5 cm høy og 2,5 cm tykk vegg med et flatt beslag på toppen. Takets totale areal er



Figur 5: Topografisk kart over hvor taket i Trondheim befinner seg.

59,52m². Der hver av rutene har ett areal på cirka 14,9 m². Takvinkelen er 9 grader (16%) og heller mot øst. Beliggenheten er fri for tilstøtende konstruksjoner og trær som kan påvirke/hindre vind. Taket kan betraktes som opphøyet, vindutsatt og godt eksponert for sol.



Figur 7: Det grønne taket sett ovenfra.

3.1.1 Meteorologiske data:

På forsøksanlegget registreres data daglig fra følgende relevante måleapparat som er installert på det grønne taket:

- Nedbørmåler
- Vindmåler
- Temperatur måler

- Logging av avrenning
- Kamera

Nedbør måling: Nedbørmåleren ble installert i 2014, det er en korttidsmåler av typen Lambrecht. Måleren er installert på 3,5m høyde over parkeringsplassen. Den er designet til å samle opp høykvalitets meteorologisk og hydrologiske data. Den er plassert helt åpent på siden av taket og har derfor potensial for å underestimere nedbøren som kommer når vindhastigheten er stor. Måleren har en oppsamlingsoverflate på 200 cm² som er standard for WMO godkjente målere, og hvert vipp har en målenøyaktighet på 0,1 mm pr. vipp. Registreringen av måledata blir gjort med 1 minutt intervaller og data kan hentes ut fra Sildre: <http://sildre.nve.no> med en forsinkelse på 1 time. I Lambrecht (2014) manualen er det beskrevet at måleren er oppvarmet og unngår derfor ising og oppstuvning av snø. Måleren fungerer derfor hele året rundt.

Temperatur måling: Temperaturmålingene er lite påvirket av feil og leverer gode resultater året rundt. Alle målingene registreres med 15 minutt mellomrom og oppdateres i samtid i dataloggeren. Data kan hentes ut fra Sildre: <http://sildre.nve.no> med en forsinkelse på 1 time.

Vind måling: Det ble installert vindmåler på siden av det grønne taket i januar 2016 og måleren startet å logge fra 17. februar 2016. Vindmåleren er installert på samme høyde som nedbørmåleren. Fra vindmåleren kan det hentes ut både hastigheten på vinden og retningen vinden har. Vindmålingene måler gjennomsnittet av de siste 10 minuttene, data logger hvert kvarter. Vinddata kan hentes ut fra Sildre: <http://sildre.nve.no> med en forsinkelse på 1 time. Det er verdt å merke seg at hastigheten er midlet uavhengig av retningen. Dersom vinden blåser 1m/s i retning nord den ene dagen og 1m/s i retning sør den andre dagen så vil måleren registrere 1m/s i begge tilfellene, selv om vindretningene er motsatt. For vinddata før 17. februar 2016 må vinddata hentes fra Voll hydrologiske stasjon eller Risvollan urbanhydrologiske stasjon.

Logging av avrenning: Data fra avrenningsperioden er utregnet og lagres hvert minutt. Dataene inneholder både akkumulerte verdier (i mm) for rutene, men også momentan avrennings verdier (i mm).

3.1.1.1 Risvollan urbanhydrologiske stasjon

Risvollan urbanhydrologiske stasjon ligger cirka 330 m nordvest for det grønne taket. Stasjonen ble bygd i 1986 med formål om å innhente høy kvalitet urban meteorologisk og hydrologisk data til forsknings formål. Stasjonen er plassert slik at omgivelsene kan påvirke hvilken retning og hastighet vinden får.

Vindretning/hastigheter måles hvert sekund med R.M. Young 85004 (SDI-12) kombinert propellanemometer/vindretningsføler (Risvollan manualen, oppdatert 2016).

3.1.1.2 Voll hydrologiske stasjon

Voll hydrologiske stasjon ligger cirka 2,5 km nord-øst for det grønne taket. Stasjonen er hovedstasjonen i Trondheim og data fra denne stasjonen blir brukt til å utforme nedbørnormaler for Trondheim (30 års perioder f.eks.). Stasjonen er plassert på ett stort åpent område og er derfor utsatt for vind.

Vindretning/hastigheter måles på 10m høyde med Vaisala, WAA15A. Met.no logger vindhastighet med 10 min middel hver time.

3.1.2 Vindretning forklaring:

Den blå firkanten på figuren 8 representerer det grønne taket på Risvollan. Toppen av taket går mot Nord (0°). Helningen på taket går mot øst (90°).

Enklere forklaring av vindretningene:

Vind fra nord (0-grader) vil treffe rett inn mot rute nr. 4.

Vind som kommer mellom 0-90 grader vil treffe taket skrått inn på nedre del av rute nr. 4.

Vind fra øst (90-grader) vil treffe rett inn mot bunnen av taket.

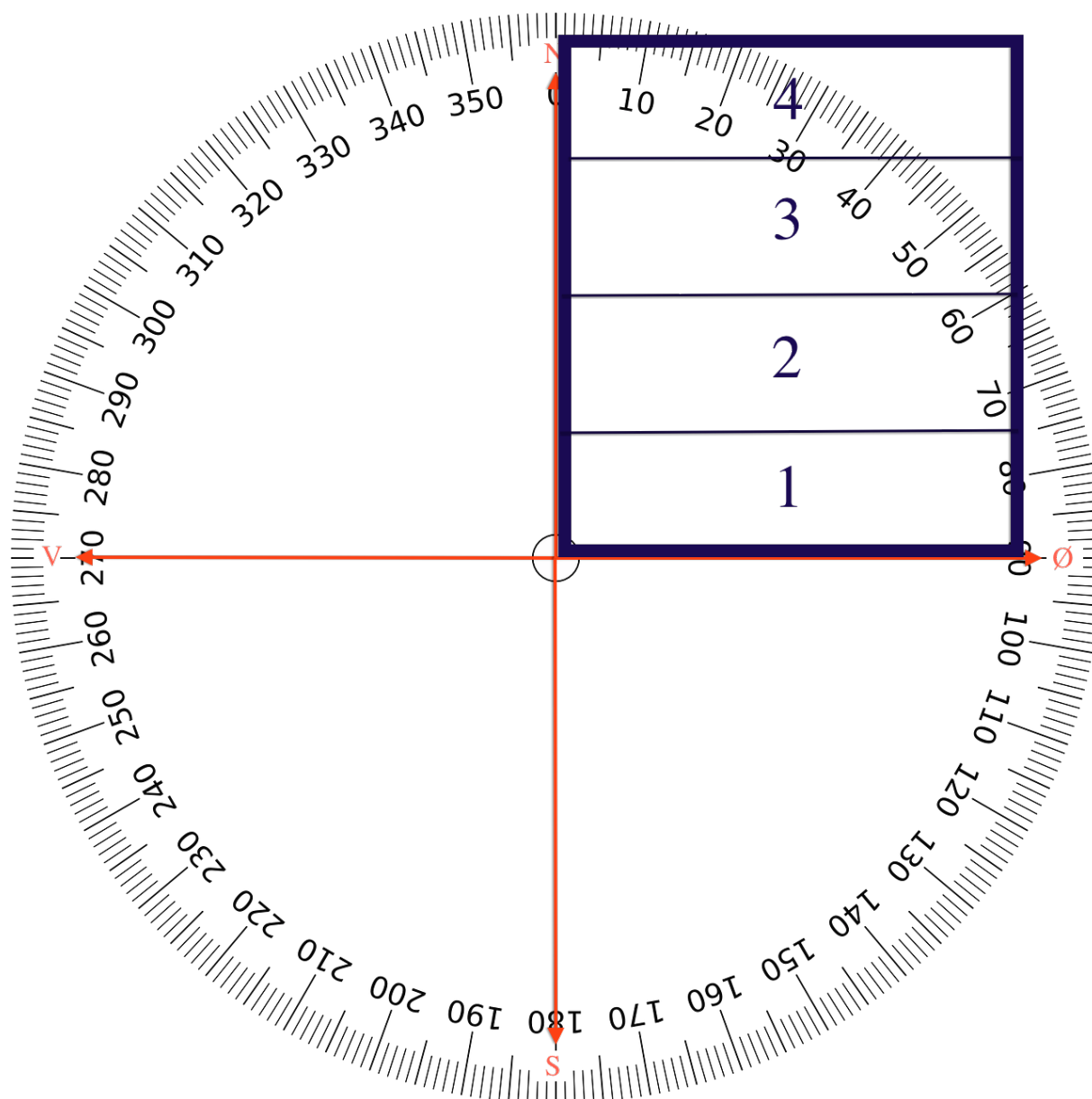
Vind som kommer mellom 90-180 grader vil treffe taket skrått inn på nedre del av rute nr. 1.

Vind fra sør (180-grader) vil treffe rett inn mot rute nr. 1.

Vind som kommer mellom 180-270 grader vil treffe taket skrått inn på øvre del av rute nr. 1.

Vind fra vest (270-grader) vil treffe inn mot toppen av taket.

Vind som kommer mellom 270-0 grader vil treffe taket skrått inn på øvre del av rute nr. 4.



Figur 8: Plasseringen av taket i forhold til vindretningene

3.2 Grønt tak ved Nygårdstangen:

Til feltarbeidet i Bergen ble det grønne taket på pumpestasjonen ved Nygårdstangen brukt. Taket er plassert 250 m sør for Bybanens holdeplass ved Bygarasjen i Bergen sentrum.



Figur 9: Det grønne taket i Bergen.



Figur 10: Taket sett ovenfra.

Det grønne taket ble installert våren 2014 på en allerede eksisterende avløpspumpestasjon.

Anlegget er etablert i samarbeid med leverandører av grønne tak, NVE, Bergen kommune, NTNU, fremtidens byer med flere.

Som en kan se av bildene ligger det grønne taket godt inne på ett eksisterende tak. Dette er med å påvirke vindeffekten på taket.

Den grønne delen av taket består av fem ulike ruter med forskjellige grønne materialer.

Takrutene er adskilt fra hverandre med opphøyede vegger.

Disse veggene forhindrer også eventuelle sterke vindkast å rive opp taket. De grønne rutenes totale areal er på 36,46

m². Hver av rutene har ett areal på 7,29 m² (1,58m i bredden og 4,85m i lengden). Takvinkelen er 15 grader (26,8%) og heller mot vest.

Taket er plassert med konstruksjoner rundt på flere kanter (cirka 50m vestover er ett kjøpesenter, 50 meter sørøst er en brukonstruksjon og 120 meter nord er by-garasjen).

Disse konstruksjonene kan påvirke vinden på taket.

3.2.1 Meteorologiske data

På forsøksanlegget registreres data daglig fra ulike måleapparater. Følgende relevante måleapparat er installert ved det grønne taket:

- Nedbørmåler
- Temperaturmåler

Nedbør måling: Er av samme type nedbørmåler som den som er installert ved det grønne taket på Risvollan (se punkt 3.1.1). De to målerne ble installert på samme tidspunkt.

Måleren er plassert åpent på cirka 4 meters høyde.

Temperatur måling: Temperaturmålingene registreres, logges og uthentes på samme måte som ved det grønne taket i Trondheim (se punkt 3.1.1).

Vind måling: Det er ikke installert noen vindmåler ved det grønne taket i Bergen. Vinddata hentes derfor fra nærmeste stasjon som er Florida stasjonen.

3.2.2 Florida hydrologiske stasjon:

Florida hydrologiske stasjonen ligger cirka 320 meter sørvest for det grønne taket (fig. 11).

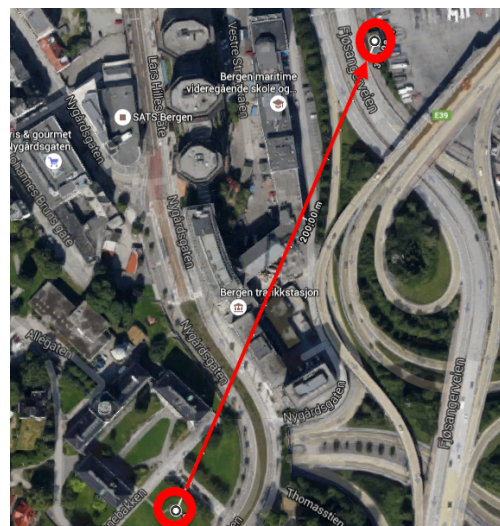
Stasjonen kan spore kortids- nedbørdata tilbake til 1989.

Vinden måles på 10 meters høyde og er vindutsatt.

Det vil trolig være overestimering av vindhastigheten, fordi taket i Bergen ligger mer i le for vinden fra flere retninger.

Vinddata i timesdata hentes ut fra eKlima:

<http://eklima.no>.



Figur 11: Avstanden til Floridastasjonen.

3.2.3 Vindretning forklaring:

Den blå firkanten på figuren (fig. 12) representerer det grønne taket ved Nygårdstangen. Toppen av taket går fra origo mot 340 grader. Helningen på taket går fra origo mot 70 grader.

Forklaring på de forskjellige vindretningene:

Vind fra 340 grader vil treffe rett inn mot rute 5.

Vind som kommer mellom 340 - 70 grader vil treffe taket skrått inn på nedre del av rute nr. 5.

Vind fra 70 grader vil treffe rett inn mot bunnen av taket.

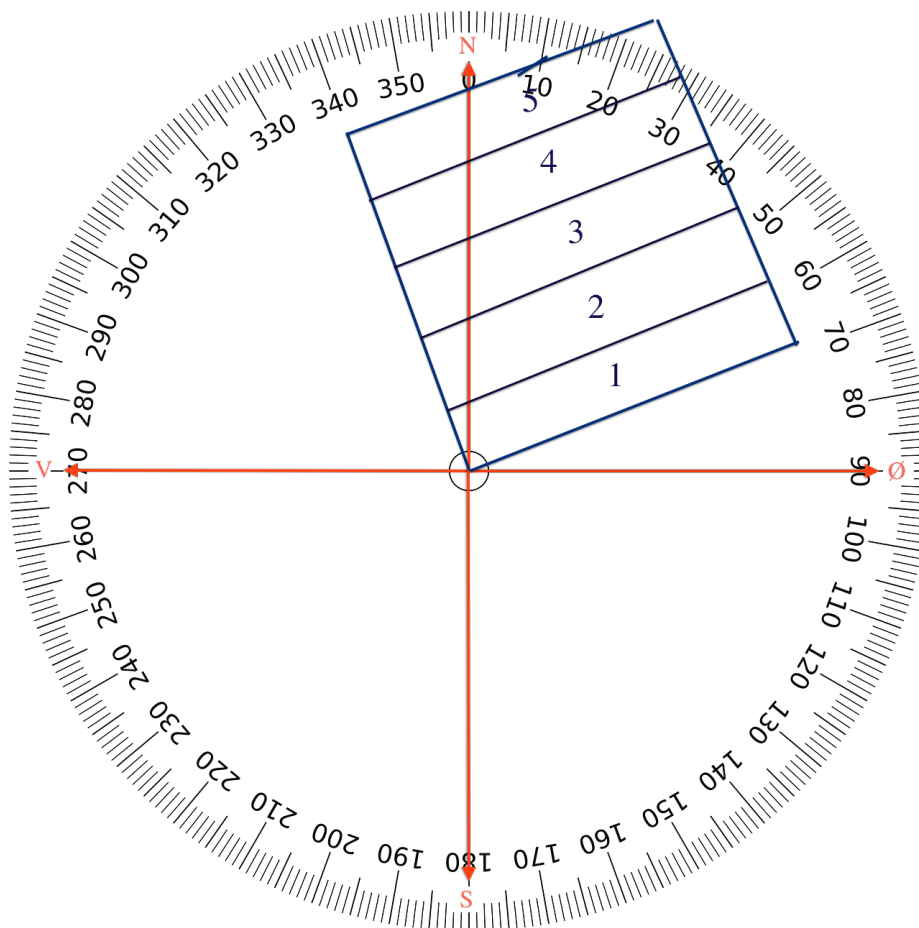
Vind som kommer mellom 70 - 160 grader vil treffe taket skrått inn på nedre del av rute nr. 1.

Vind fra 160 grader vil treffe rett inn mot rute nr. 1.

Vind som kommer mellom 160 - 250 grader vil treffe taket skrått inn på øvre del av rute nr. 1.

Vind fra 250 grader vil treffe inn mot toppen av taket.

Vind som kommer mellom 250 - 340 grader vil treffe taket skrått inn på øvre del av rute nr. 4.



Figur 12: Plasseringen av taket i forhold til vindretningene.

4 Metode:

Metodene i denne rapporten ble designet med følgende formål:

Statisk kalibrering:

Nedbørmåleren er ikke kalibrert. Dette er en enkel prosedyre som må gjøres.

Metodebeskrivelse for:

- Prosedyren for statistisk kalibrering av nedbørmåleren.
- Hvordan omforme dataene fra den statiske kalibreringen til en kalibreringsfaktor.

Korrigerer nedbør:

Målet med korrigeringen er å finne den virkelige nedbøren.

Metodebeskrivelse for:

- Korrigerer nedbøren etter den Nordiske Manualen for korrigering av nedbør.

Manuelle nedbørmålere:

Manuelle nedbørsmålinger blir utført for å finne ut om vinden påvirker hvor på taket nedbøren faller. Målet er å finne en klar trend for hvor nedbøren fordeler seg over taket.

- Prosedyren for de manuelle målerne.
- Omforming av de manuelle nedbørsmålingene.

Snømålinger:

For å finne ut hvordan vinden påvirker hvor på taket snøen faller. Målet er å finne en klar trend for hvordan snøen fordeler seg.

Metodebeskrivelse for:

- Prosedyre for hvordan snøprøver tas.

Omforminger av snøprøvene.

4.1 Statisk kalibrering av nedbørmåler

Nedbørmålerne både på det grønne taket på Risvollan og det grønne taket ved Nygårdstangen er ikke kalibrert. Dette betyr at den mengden nedbør som faller ned i nedbørmåleren, ikke nødvendigvis er nøyaktig den samme mengden som blir registrert i dataene.

4.1.1 Prosedyre og utførelse

Kalibreringsrutine utføres fra opererende instruksjer:



Figur 13: Statisk kalibrering av nedbørmåler.

Utstyr:

1. 200 ml Erlendmeyer flaske
2. En 500 ml kjegleformet dryppende bøtte
3. Stativ og klemmer
4. Vann (cirka 1-2 liter med tappevann)
5. Pipette

Værforhold:

Kalibrering må gjøres når det er pent vær og helst plussgrader.

Prosedyre:

Mål opp 200 ml vann (målt med en Erlendmeyer flaske). Bruk en pipette for å få helt nøyaktig volum. Hell vannet i en 500 ml kjegleformet dryppende bøtte. Den bøtten er festet på et stativ over nedbørmåleren. Åpningen på dryppeflasken åpnes slik at dryppintensiteten varer i 10-20 min

(Optimalt 10 vipp i minuttet eller 1 vipp hver 6 sekund). Antall tippinger målt burde bli 100+- 2. Prosedyren burde utføres minst 3 ganger med et resultat innenfor +- 2 drypp. Om dette ikke stemmer, må forsøket gjentas. Antall målte drypp kan måles fra Sildre: <http://sildre.nve.no> med en forsinkelse på 1 time.

Kommentarer:

Bruk kaldt vann nærmest mulig 4⁰C, da har vannet størst massetetthet og er mest pålitelig.

Viktig å bruke vann hentet fra samme kilde, nedbørsvann og tappevann kan variere opp til 5% (Humphrey. og Istok. 1996).

4.1.2 Fra statisk kalibrering til kalibreringsfaktor:

Omforme antall vippinger:

Må vite:

- Tidspunktene for når målingene ble utført.

Prosedyre:

- Hent ut nedbørsmålinger fra Sildre for tidspunktene når kalibreringen/feltarbeidet blir utført.
- Skill de forskjellige målingene fra hverandre.
- Registrer starttidspunktet, varigheten og antall vipp.
- Dersom varigheten er for lang eller intensiteten for høy ugyldiggjøres målingen.
- Lag ett snitt av de gyldige målingene.
- Snittet deles på referansen som er 100 vipp når 200 mL helles opp i nedbørmåleren.

Resultat:

Resultatet blir en kalibreringsfaktor. Denne faktoren multipliseres med nedbørdata som hentes ut.

4.2 Korrigering av nedbør

4.2.1 Korrigering av nedbørdata

Formålet er å finne den virkelige nedbøren som falt i nedbørmåleren. Dette gjøres ved å korrigere for lokale feil rundt nedbørmåleren.

Må vite:

- Formlene fra den Nordiske Manual for korrigering av nedbør (se punkt 2.5).
- Nedbørdata.
- Vindmålinger.
- Temperaturmålinger.

Prosedyre:

Innhenting av data:

Hent inn nedbørdata for ønsket måleperiode inn til Excel. Filtrer all data slik at bare data hvor det faktisk ble registrert nedbør vises. Ta bort/slett resterende data (tidspunkt hvor det ikke ble registrert noe nedbør). Kalibrer uthentet nedbør etter kalibreringsfaktoren funnet i punkt 4.1 (se resultat punkt 7.1)

Finn vindhastighetene, vindretningene og temperaturene innenfor de tidspunktene det ble registrert nedbør. Har da all informasjonene som trengs til å korrigere nedbøren.

Korrigering av nedbørdata:

Korriger nedbøren etter den Nordiske manualen som Førland med fl. (1996) utbedret:

(Ligning 2.2, punkt 2.5) $P_c = k(P_m + \Delta P_E + \Delta P_W)$

Estimering av fukt i nedbørmåleren (ΔP_W) (se tabell 2 punkt 2.5).

Fordamping (ΔP_E) estimeres til 25% av vippekålenes kapasitet som er 0,1 mm. Korriger derfor med 0,025mm for hver nedbørhendelse.

Korrigeringsfaktoren k finnes fra formelen:

(se ligning 2.3, punkt 2.5) $k = \exp[a(T) * v]$

a(T) beregnes fra tabell 1 (se punkt 2.5)

Del dataene inn etter type nedbør (Regn, blandingsnedbør, snø) som falt (finner fra $a(T)$ verdien).

Noter mengden som falt og over hvor lang tid de forskjellige typene nedbør ble registrert.

Finner tilhørende vindhastighet, fordampningsmengde (ΔP_E) og fukt (ΔP_W) for de forskjellige nedbørinndelingene.

Har nå alle faktorene i ligning 2.2 til å finne den virkelige nedbøren P_c for hver nedbørhendelse.

Resultat:

Resultatet av den statiske kalibreringen og korrigering av nedbøren tilsvarer den virkelige mengden nedbør som skulle blitt registrert av nedbørmåleren.

4.2.2 Plotting av korrigert nedbør

Lager følgende tabell bestående av:

Nedbør: Dette er den nedbøren som registreres av nedbørmåleren.

Statisk Kalibrering: Nedbøren multiplisert med faktoren funnet fra den statiske kalibreringen.

Tar deretter denne verdien minus nedbøren som falt, finner da ut hvor mye nedbøren endrer seg på grunn av feil i kalibreringen.

Nedbørkorreksjon: Korrigerer nedbøren for vind, fordamping og fukt. Finner hvor mye vinden påvirker de forskjellige typene nedbør (regn, blandingsnedbør og snø) innenfor en måleperiode.

Virkelig nedbør: "Virkelig nedbør" = Nedbør + Statisk kalibrering + Korreksjon.

Vindhastighet: Gjennomsnittlig vindhastighet i måleperioden.

Vindretning: Gjennomsnittlig vindretning i måleperioden.

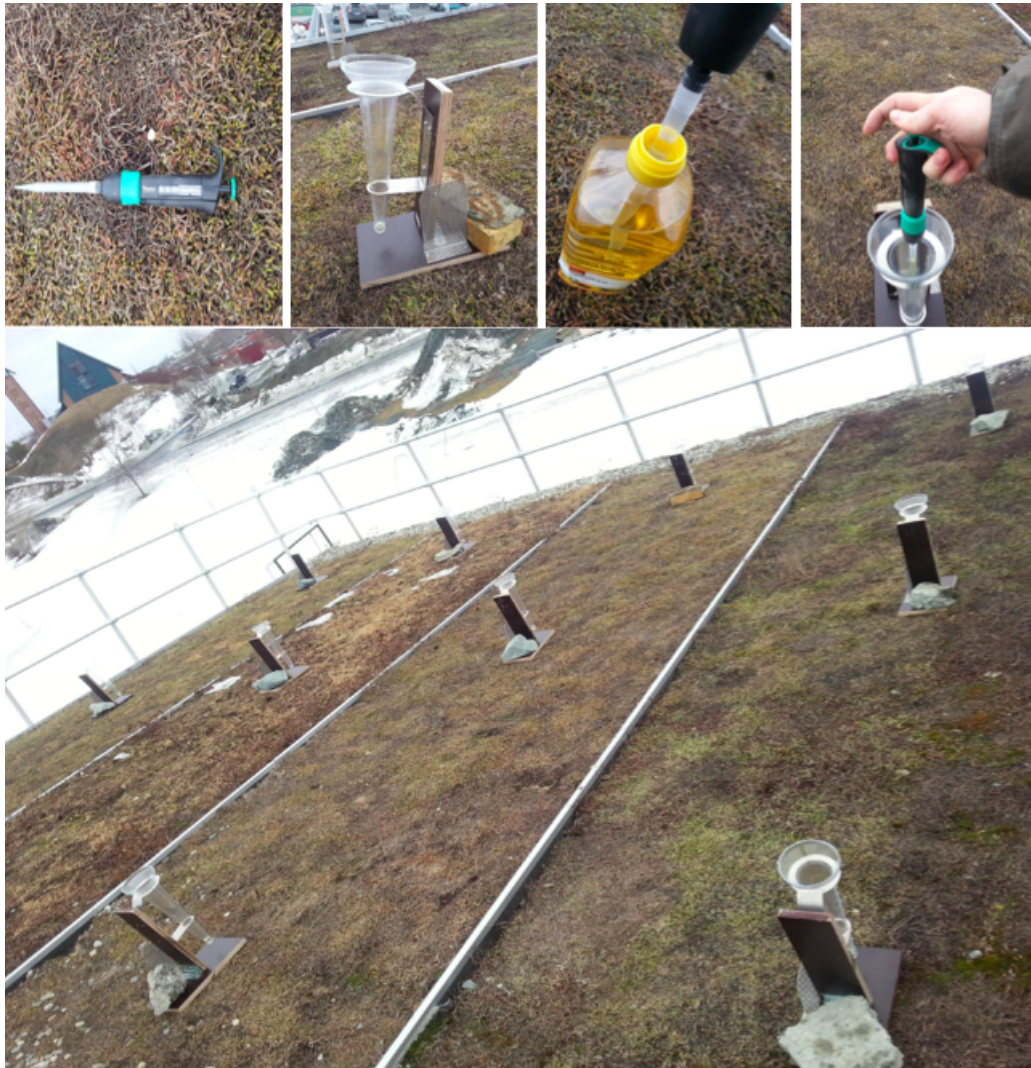
Tabell 4: Mal for plotting av korrigert nedbør.

Målings nr:	Nedbør (mm)	Statisk kalibrering (mm)	Nedbør-korreksjon (mm)	Virkelig nedbør (mm)	Vindhastighet (m/s)	Vindretning (Grader)
1	Rådata	-	+	VN	Gj. snitt	Gj. snitt

4.3 Manuelle nedbørmålinger:

Med informasjon fra mange manuelle nedbørmålere over taket, er dette en indikasjon på hvilket mønster det kan forventes å finne over taket.

4.3.1 Plassering og utførelse av de manuelle nedbørmålingene.



Figur 14: Prosedyren med manuelle nedbørmålere

Utstyr:

1. Manuelle nedbørmålere.
2. Stativ til nedbørmålerne.
3. Tungt lodd.

Værforhold:

Settes ut under nedbørplasshold når nedbør er meldt å komme i nær framtid. Nedbørhendelsen bør være minimum 3 mm, og maksimum 40mm (som er kapasiteten til de manuelle målerne).

Prosedyre:

Stiller inn vinkelen på stativet til de manuelle nedbørmålerne etter takets vinkel (9 grader i Trondheim og 16 grader i Bergen). Fordel stativene utover taket. For målingen i Trondheim legges det 3 nedbørmålere i hver av de 4 rutene (oppe, midten og nede), til sammen 12 nedbørmålere (tabell5).

Tabell 5: Plasseringene av de manuelle målerne på taket i Trondheim.

	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
Øvre	1	4	7	10
Midtre	2	5	8	11
Nedre	3	6	9	12

For målingene i Bergen legges det 2 nedbørmålere i hver av de 5 rutene (Oppe og nede), til sammen 10 nedbørmålere (tabell 6).

Tabell 6: Plassering av de manuelle målerne på taket i Bergen.

	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4	Rute 5
Øvre	1	3	5	7	9
Nedre	2	4	6	8	10

Hell 5ml soyaolje (for å unngå fordamping av vann) ned i hver nedbørmåler. Bruker en kalibrert pipette (kalibrert for 5ml) til å helle oljen. Legg ett tungt lodd (stein) bak på nedbørmåleren for å forhindre at den skal tippe over.

Registrer starttidspunktet målerne ble satt ut på. Vent til nedbørhendelsen er over. Les av høyden og vei nedbørprøven. Noter sluttidspunktet.

Repetér eksperimentet så mange ganger som mulig, helst med forskjellig vindretning.

4.3.2 Presenter de manuelle nedbørsmålinger og sammenligning med virkelig nedbør:

Må vite:

- Høyden (mm) og vekten (g) av de manuelle målerne.
- Nedbør data i perioden nedbørsmålinger ble utført (18. mars -23. april Trondheim, 1.-6. april Bergen).
- Tilhørende vindhastighet, vindretning og temperatur for nedbørperiodene.

Prosedyre:

Datainnsamling:

Korrigerer nedbøren etter punkt 4.2 (Korrigering av nedbør). Summer sammen de forskjellige korrigeringene innenfor en måleperiode. Summen blir den virkelige nedbøren for den aktuelle målingen.

Målerne:

Lager en tilsvarende tabell som tabellene under (Tabell 6 for Trondheim og tabell 7 for Bergen) for hver måling:

Plott nedbørsmålingene (høyden avlest i mm - høyden tilsatt olje): Plottes i de blå rutene i tabellen (måling 1-12 for målingene i Trondheim og 1-10 for målingene i Bergen). Inne i parentesene beregnes avviket målerne har til den virkelige nedbøren ($\frac{\text{Høyden avlest} - \text{Høyden Olje}}{\text{Virkelig Nedbør i måleperioden}}$).

Gjennomsnitt: Beregn gjennomsnittet av de forskjellige rutene (rød rute).

Raden under gjennomsnittet legges inn en rad bestående av den virkelige nedbøren, gjennomsnitts vindhastighet og gjennomsnittlig vindretning. Nederst i tabellen legges inn typen nedbør (gjelder bare for tabellen for de manuelle målingene i Trondheim).

Resterende målinger: Følg samme prosedyre

Tabell 7: Plott resultat av manuelle målinger i Trondheim.

1	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
Øvre	Måling 1 (Avvik til VN)	Måling 4 (Avvik til VN)	Måling 7 (Avvik til VN)	Måling 10 (Avvik til VN)
	Måling 2 (Avvik til VN)	Måling 5 (Avvik til VN)	Måling 8 (Avvik til VN)	Måling 11 (Avvik til VN)
Midtre	Måling 3 (Avvik til VN)	Måling 6 (Avvik til VN)	Måling 9 (Avvik til VN)	Måling 12 (Avvik til VN)
	Måling 1 (Avvik til VN)	Måling 4 (Avvik til VN)	Måling 7 (Avvik til VN)	Måling 10 (Avvik til VN)
Nedre	Måling 2 (Avvik til VN)	Måling 5 (Avvik til VN)	Måling 8 (Avvik til VN)	Måling 11 (Avvik til VN)
	Måling 3 (Avvik til VN)	Måling 6 (Avvik til VN)	Måling 9 (Avvik til VN)	Måling 12 (Avvik til VN)
Gjennom- snitt:	Snitt rute 1 (Gj. Avvik til VN)	Snitt rute 2 (Gj. Avvik til VN)	Snitt rute 3 (Gj. Avvik til VN)	Snitt rute 4 (Gj. Avvik til VN)
	Virkelig nedbør (mm)	Gj. Vindhastighet (m/s)	Gj. Vindretning (grader)	
	Sum korrigert nedbør		Plott	Plott
	Regn (mm)	Blandingsnedbør (mm)		Snø (mm)
	Mengde regn	Mengde blandingnedbør		Mengde snø

Tabell 8: Plott resultatet av de manuelle målingene i Bergen.

1	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4	Rute 5
Øvre	Måling 10 (Avvik til VN)	Måling 9 (Avvik til VN)	Måling 8 (Avvik til VN)	Måling 7 (Avvik til VN)	Måling 6 (Avvik til VN)
	Måling 1 (Avvik til VN)	Måling 2 (Avvik til VN)	Måling 3 (Avvik til VN)	Måling 4 (Avvik til VN)	Måling 5 (Avvik til VN)
Nedre					
Gjennom- snitt:	Snitt rute 1 (Gj. Avvik til VN)	Snitt rute 2 (Gj. Avvik til VN)	Snitt rute 3 (Gj. Avvik til VN)	Snitt rute 4 (Gj. Avvik til VN)	Snitt rute 5 (Gj. Avvik til VN)
	Virkelig nedbør (mm)		Gj. Vindhastighet (m/s)		Gj. Vindretning (grader)
	Sum korrigert nedbør		Plott		Plott

VN=Virkelig nedbør.

Resultat:

Finner nedbørfordelingen over taket, og avviket målingene har internt og avviket målerne har i forhold til den virkelige nedbøren.

Kan lage ett 2D konturdiagram av dataene.

4.4 Manuelle snømålinger

Manuelle snømålinger er en enkel metode for å finne ut hvordan snøen fordeler seg over taket.

4.4.1 Utførsel av snømålingene



Figur 15: Snøprosedyren: Ta prøve, mål høyden (cm) og vei prøven (g).

Utstyr:

- Snø oppsamler (D=3,8cm)
- Skrape (til å holde under så ikke snø-prøven faller ut.)
- Kasteskaft (til å presse snøen ut)
- Elektronisk vekt (0,1g nøyaktighet)
- Plate (Underlag for elektronisk vekt)
- Vater (Rette opp platen)
- Målebeger (Snø-prøven føres oppi)

Værmelding: Ta snømåling etter en nedbørshendelse. Ønsker optimalt å måle den største akkumulasjonen siden forrige observasjon, dette gjøres ved å gå ut så raskt som mulig etter nedbørsfall.

Prosedyre:

Gå i ett bestemt mønster og ta prøver i samme punkt som de manuelle nedbørmålerne (se tabell4).

Tar 3 prøver i hver av rutene (Øvre del, midtre del og nedre del), til sammen 12 prøver.

Rens først snø-oppsamleren for snø. Finn så punktet hvor snø-prøven skal tas. Press snø-oppsamleren ned i snøen. Vær sikker på at den treffer takflaten (ikke stopper i is). Noter ned høyden på snø-prøven. Hold snø-oppsamleren nede og bruk handa til å fjerne snøen rundt oppsamleren. Bruk noe du kan holde under snø-oppsamleren (For eksempel en is-skrape). Løft

opp snø-prøven, vei prøven på en manuell vekt, og noter vekten. Legg snø-prøven tilbake å prøv og dekk til hullet. Gjør samme prosedyren for alle 12 punktene.

Noter posisjonen hvor snø-prøven ble tatt (brukte gjerdet som referanse), og sørg for å endre litt på mønsteret (f.eks. ta prøve 20cm til høyre for det egentlige punktet) til neste gang slik at målingen ikke blir tatt på nøyaktig samme sted.

4.4.2 Presentasjon av snø-målingene og sammenligning med virkelig nedbør:

Må vite:

- Høyde (mm) og vekt (g) av snømålingene.
- Nedbørsdata i perioden 14. januar - 18. mars.
- Tilhørende vindhastighet, vindretning og temperatur for nedbørsperiodene.
- Avrenningsdata fra de forskjellige rutene i perioden 14. januar – 18. mars (Perioden det var registrert snø på taket).
- Snø-bilder. Registreres 2 ganger daglig fra taket (Enkel metode å se hvordan snøforholdene utvikler seg over tid (om det snør, snøsmelting, når det blir bart osv..)).

Prosedyre:

Datainnsamling:

Korrigerer nedbøren etter punkt 4.2 (Korrigering av nedbør). Summer sammen de forskjellige korrigeringene innenfor en måleperiode. Summen blir den virkelige nedbøren for den aktuelle målingen.

Snø-målingene:

Lager en tilsvarende tabell som tabell 9 for hver måling:

Første måling starter før første snø kommer (snøfritt på taket). Når dette er kan sees av de daglige bildene som blir tatt på taket.

Gjør om snømålingene/prøvene til mm vann etter ligning 2.10 og 2.11 (se punkt 2.6)

Plott snømålingene (i mm): Plottes i de blå rutene (måling 1 - 12).

Gjennomsnitt: Beregn gjennomsnittet av de forskjellige rutene (grønn rute).

Avrenning ruten: Måler den akkumulert avrennings mengden (måles i mm) for hver rute i måleperioden (rød rute).

Total mengde: Den totale mengden snø for måling 1 er gjennomsnittet av snø-prøvene omgjort til mm for de forskjellige turene + Akkumulert avrenning som har skjedd i perioden. Dette tilsvarer den totale mengden nedbør som har vært på de forskjellige rutene i måleperioden.

Resterende målinger: Følg samme prosedyre, men snøen som er lagret på taket fra forrige måling må nå trekkes ifra på den totale mengden.

Total mengde fra måling 2 og fremover: Gjennomsnittet av snøprøvene omgjort til mm – Gjennomsnittet av snø-prøvene fra forrige måling + Akkumulert avrenning som har skjedd i perioden mellom forrige måling og fram til snøprøven ble tatt.

Raden under gjennomsnitt legges inn en rad bestående av den virkelige nedbøren, gjennomsnitts vindhastighet og gjennomsnittlig vindretning. Nederst i tabellen legges inn typen nedbør (gjelder bare for tabellen for de manuelle målingene i Trondheim).

Tabell 9: Resultatet av snømålingene plottes i lignende tabell.

1	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
Øvre	Måling 1	Måling 4	Måling 7	Måling 10
Midtre	Måling 2	Måling 5	Måling 8	Måling 11
Nedre	Måling 3	Måling 6	Måling 9	Måling 12
Gjennomsnitt:	Snitt rute 1	Snitt rute 2	Snitt rute 3	Snitt rute 4
Avrenning ruten:	Avrenning Rute 1	Avrenning Rute 2	Avrenning Rute 3	Avrenning Rute 4
Total Mengde:	Avrenning rute 1 + snitt rute 1 – snitt forrige måling	Avrenning rute 2 + snitt rute 2 – snitt forrige måling	Avrenning rute 3 + snitt rute 3 – snitt forrige måling	Avrenning rute 4 + snitt rute 4 – snitt forrige måling
Avvik: Mengde/ Virkelig nedbør	Korrigert nedbør / Mengde rute 1	Korrigert nedbør / Mengde rute 2	Korrigert nedbør / Mengde rute 3	Korrigert nedbør / Mengde rute 4
Virkelig nedbør (mm)	Gj. Vindhastighet (m/s)		Gj. Vindretning (grader)	
Sum korrigert nedbør	Plott		Plott	
Regn (mm)	Blandingsnedbør (mm)		Snø (mm)	
Mengde regn	Mengde		Mengde snø	

	blandingsnedbør	
--	-----------------	--

Resultat:

- Snøfordelingen over taket.
- Finner avviket internt mellom rutene.

Finer avviket rutene har til den virkelige nedbøren.

5 Egne undersøkelser, observasjoner:

I dette kapittelet ble det gjort:

Sammenligning av det grønne taket, Risvollan og Voll stasjon i Trondheim:

- Vurdere hvilken stasjon som skal brukes som referanse for vinddata på det grønne taket for vinddata hentet før 17. februar.

Vinddata Bergen

- Korrigerer vinddata i Bergen for forskjellige målehøyde.

Metodekontroll (vindhastighetene, for målingene)

- Vindhastighetene er gyldige opp til 6 m/s
- Korrelasjon med målingene:
 - Er en enkel sjekk for å se om målingene korrelerer med hverandre. Dette gjøres både for nedbør- og regnmålingene.

Hvordan vinden vil fordele seg på taket.

- Finner ut hvor langt inn vindeffekten varer.

5.1 Sammenligninger av det grønne taket, Risvollan og Voll stasjon:

Hensikten med sammenligningen var å finne hvilken stasjon som egner seg best til å hente ut vinddata i perioden før vindmåleren på det grønne taket på Risvollan startet å logge. Vindmåleren ved det grønne taket på Risvollan startet og logge 17. februar, se punkt 3.1.1.

Gjør følgende sammenligninger:

Vinddata fra Risvollan urbanhydrologiske stasjon sammenlignes mot vindmåleren ved det grønne taket: Risvollan/Taket (forkortes heretter).

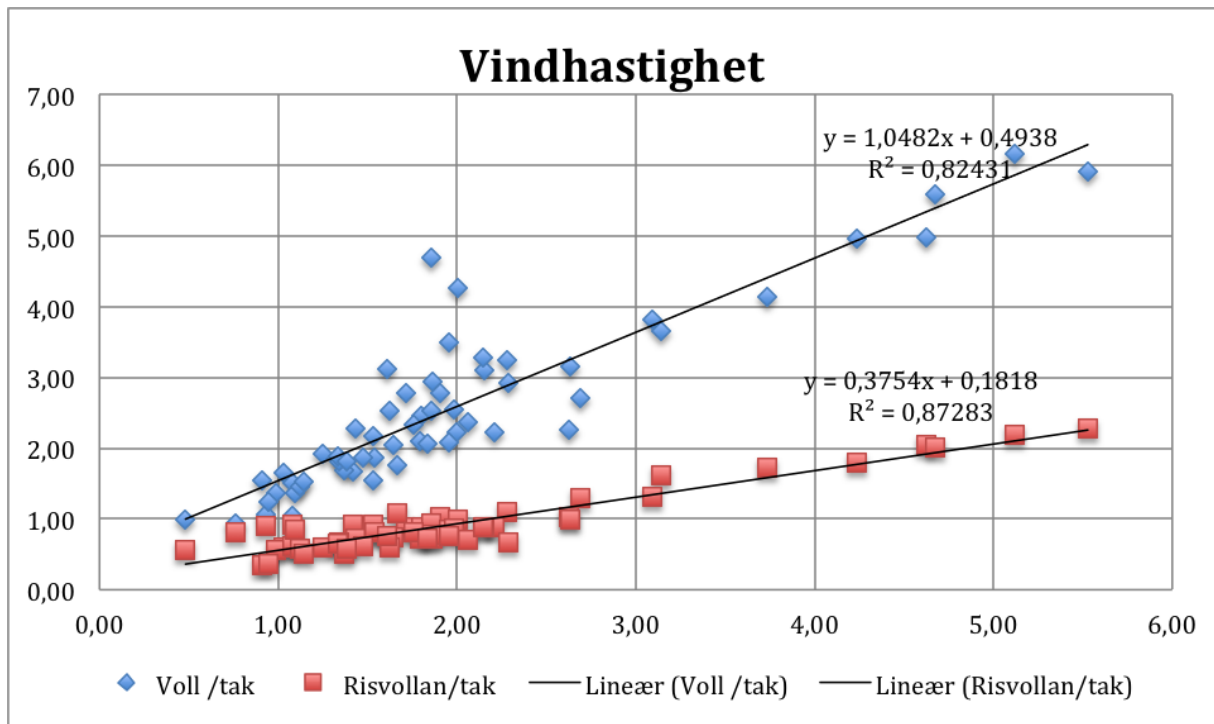
Vinddata fra Voll hydrologiske Stasjon sammenlignes mot vindmåleren ved det grønne taket: Voll/Taket (forkortes heretter).

Sammenligningsperioden er fra 17. Februar - 14. april.

Samler inn vinddata (vindretning og vindhastighet) fra de forskjellige vindmålerne (Det grønne taket på Risvollan henter vinddata fra <http://sildre.no> (logger 4 ganger per time), Risvollan urbanhydrologiske stasjon hente vinddata fra <http://met.no> (logger 1 gang per time) og Voll hydrologiske stasjon henter vinddata fra <http://eKlima.no> (logger 1 gang per time).

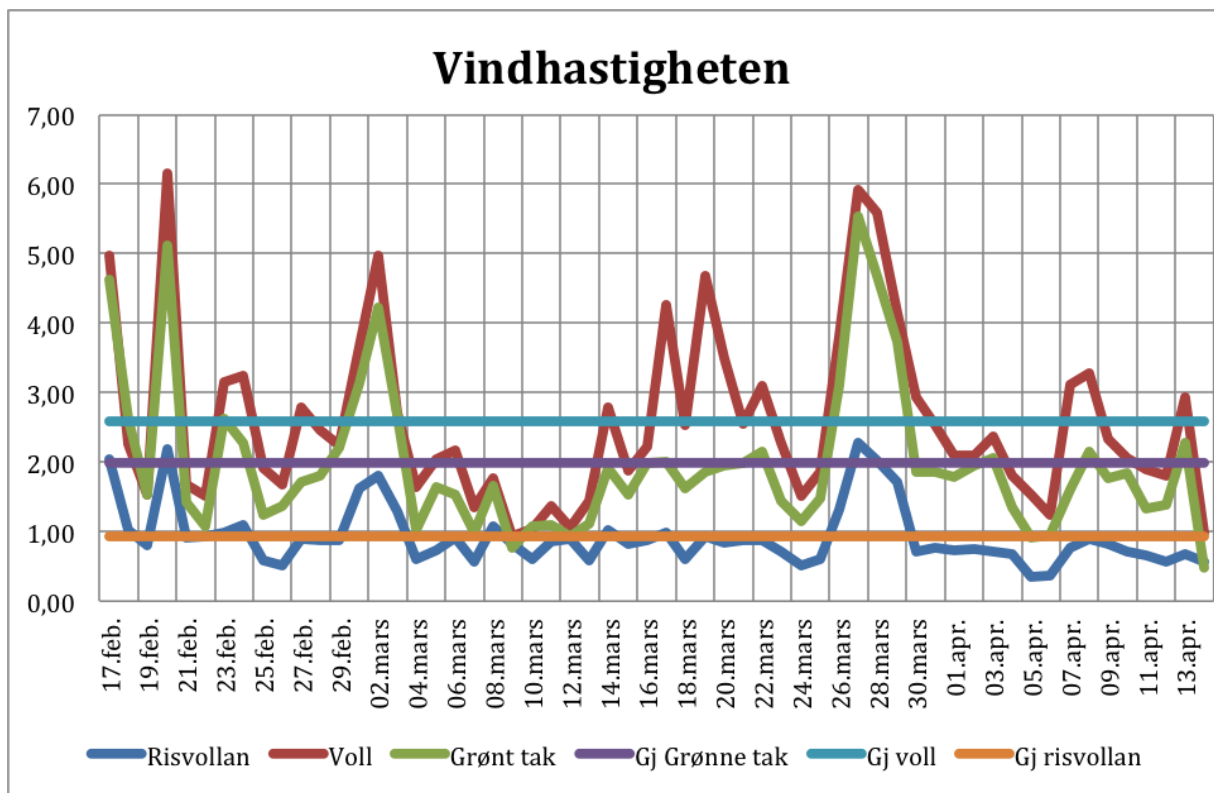
Deler dataene inn i gjennomsnitt per døgn. Videre kommer først en sammenligning av vindhastighetsdata og deretter en sammenligning av vindretningsdata:

Plotter alle døgngjennomsnittsverdiene for vindhastighetene i sammenlignings perioden (fig. 16). Der vindhastighetsdata for Voll/Taket (Blåe prikker) og Risvollan/Taket (Røde prikker) er plottet inn i figuren (Voll og Risvollan plottes langs Y-aksen, Taket plottes langs X-aksen). Begge linjene for vindhastighetene korrelerer bra med hverandre, men Voll/Taket ligner mest på hverandre.



Figur 16: Gjennomsnittlig døgn vindhastighets verdiene plottet i perioden 17. februar - 13. april.

I linjediagrammet under (fig. 17) under viser hvordan hastighetene fordeler seg i perioden.



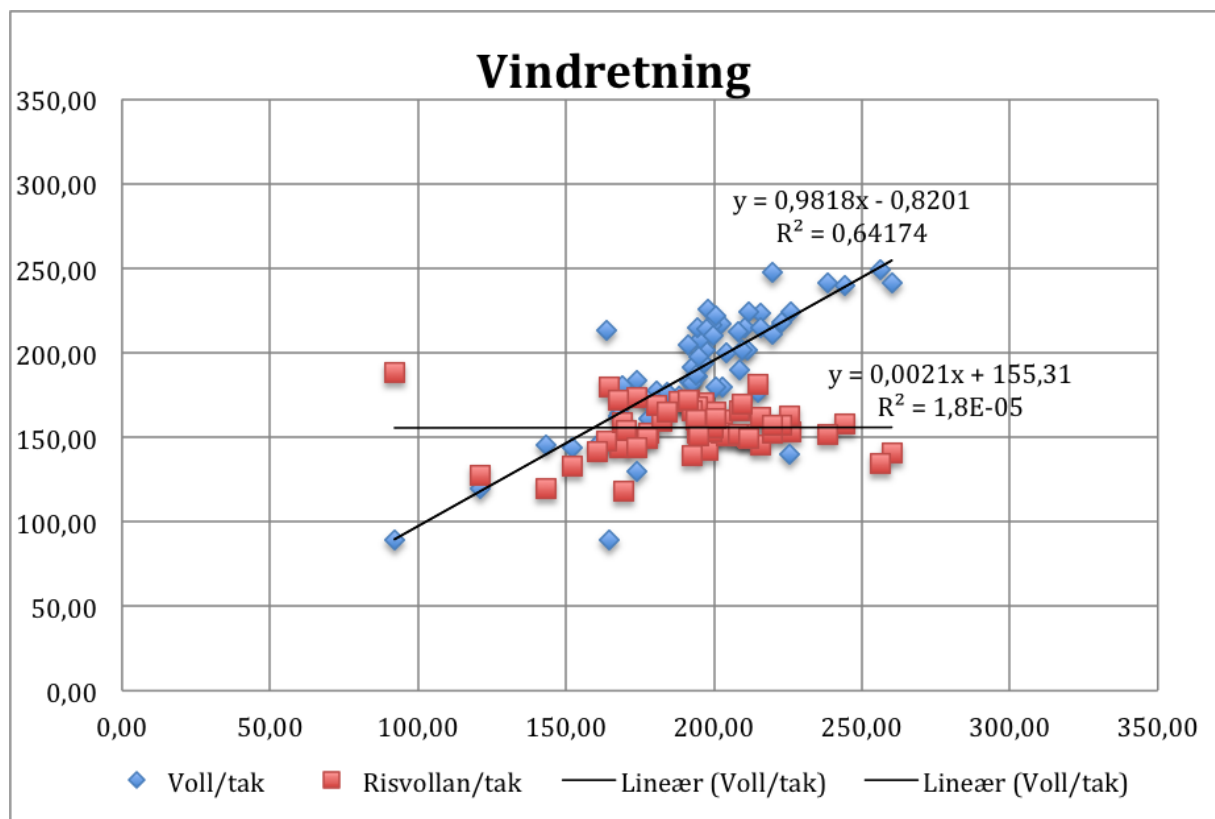
Figur 17: Gjennomsnittlig vindhastighet i perioden 17. februar - 13. april.

Analyse av begge figurene (figur 16 og 17) viser at vindhastighetene fra Voll hydrologiske stasjon generelt har litt høyere vindhastighet enn det vindmåleren ved det grønne taket måler. Årsaken kommer nok mest sannsynlig av at vinden måles høyere oppe på Voll hydrologiske stasjon. Voll måles på 10 meters høyde, mens vindmåleren ved det grønne taket måles på 3,5 meters høyde.

Risvollan urbanhydrologiske stasjon har betydelig lavere vindhastighet enn det vindmåleren ved det grønne taket måler. Dette kommer av at denne stasjonen er mer lukket og vindhastigheten senkes av den grunn. Ser likevel at målingene følger det samme hastighetsmønsteret som vindmåleren ved det grønne taket.

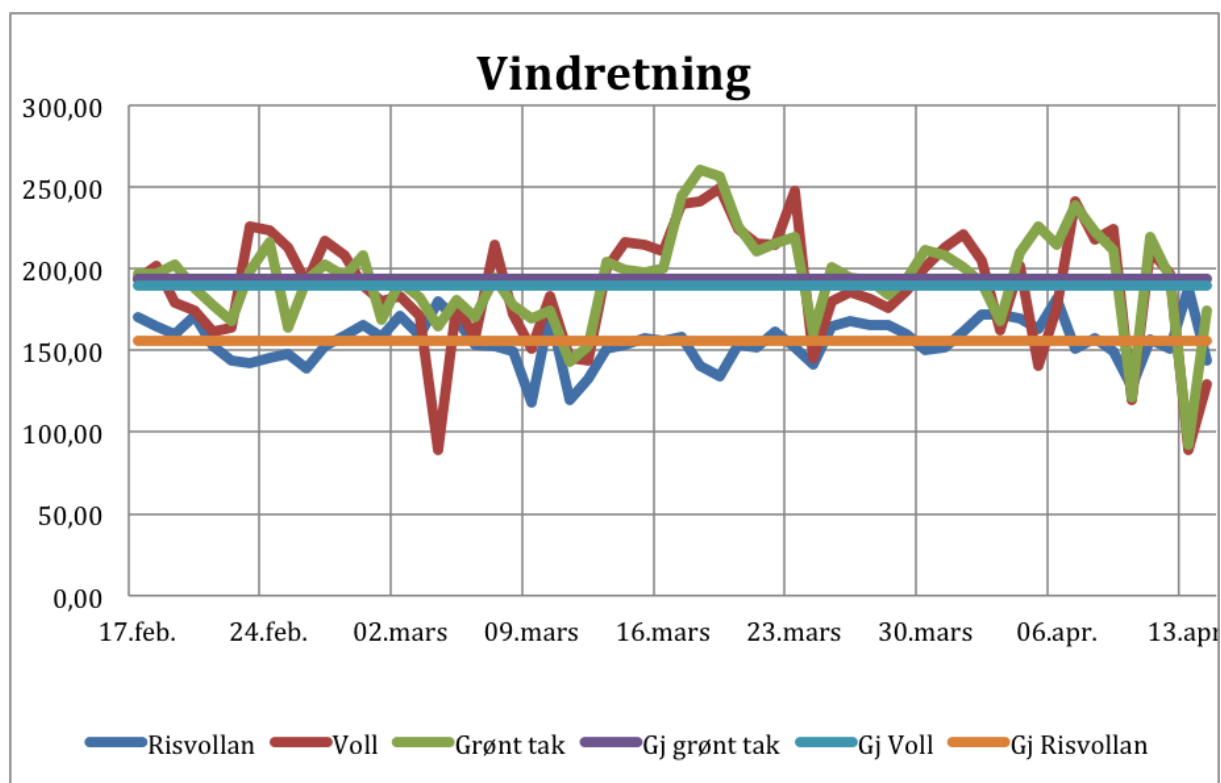
Plotter alle døgngjennomsnittsverdiene for vindretningene i sammenlignings perioden (fig. 18). Der Voll/Taket (Blåe prikker) og Risvollan/Taket (Røde prikker) er plottet mot hverandre (Voll hydrologiske stasjon og Risvollan urbanhydrologiske stasjon er plottet langs Y-aksen, det grønne taket er plottet langs X-aksen).

Voll/Taket korrelerer bra, men avviker på noen punkt. Risvollan/Taket korrelerer veldig dårlig.



Figur 18: Gjennomsnittlig vindretningsverdiene plottet i perioden 17. februar - 13. april.

Linjediagrammet under (fig 19) vises hvordan vindretningen fordeler seg over perioden.



Figur 19: Gjennomsnittlig vindretning for perioden 17. februar - 13. april.

Analyse av begge figurene (fig 18 og 19) viser at vindretningene fra Voll hydrologiske stasjon korrelerer best med det grønne taket (se punkt 3.1.2 for forklaring av vindretningene).

Siden Voll / Taket korrelerer best for vindhastighetene og vindretningene i sammenligningsperioden, brukes data for denne stasjonen som referansestasjon til vinddata i perioden før 17. februar. Finner da en ligning mellom Voll/Taket:

Tabell 10: Korreleringene mellom Voll hydrologiske stasjon og vindmåleren ved det grønne taket.

Voll/Taket	Ligningen	R-kvadrat
Vindretning	$y = 0,9818x - 0,8201$	$R^2 = 0,64174$
Vindhastighet	$y = 1,0482x + 0,4938$	$R^2 = 0,82431$

Dividerer gjennomsnittsverdiene for vinddata på det grønne taket med gjennomsnitts vinddata for Voll hydrologiske stasjon. Finner da forholdet mellom vindhastighet og vindretning:

Tabell 11: korrigeringsfaktor for vindhastigheter og vindretning mellom Voll hydrologiske stasjon og det grønne taket.

Periode	Tak/Voll for vindhastighet	Tak/Voll for vindretning
17. februar – 14. april	0,77	1,04

Bruker faktorene (tabell 11) til å regne ut vinddata i perioden 15. januar – 16. februar 2016.

5.1.1 Vinndata Bergen:

Taket ved Nygårdstangen (Bergen) må hente ut vinndata fra Florida stasjonen i Bergen, siden dette er den nærmeste vindmåleren for taket. Vinndata hentet fra Florida må korrigeres, siden vinden måles på 10 meters høyde og det grønne taket måler nedbørdata på 4 meters høyde.

Dette gjøres ved følgende formel:

$$\text{(Se ligning 2.9, punkt 2.5.1)} \quad U_h = [\log(h/z_0) / (\log(\frac{H}{z_0}))] * U_H$$

h - 4m,

z_0 - 0,02 , vinterstid

H - 10m

U_H - Vindhastigheten målt på Florida.

$$[\log(h/z_0) / (\log(\frac{H}{z_0}))] = 0,85$$

$$U_h - U_H 0,85U_H$$

U_h tilsvarer vindhastighet på målerhøyde.

Korrigerer alle vindhastighets data uthentet fra Florida stasjonen med faktoren $0,85U_H$.

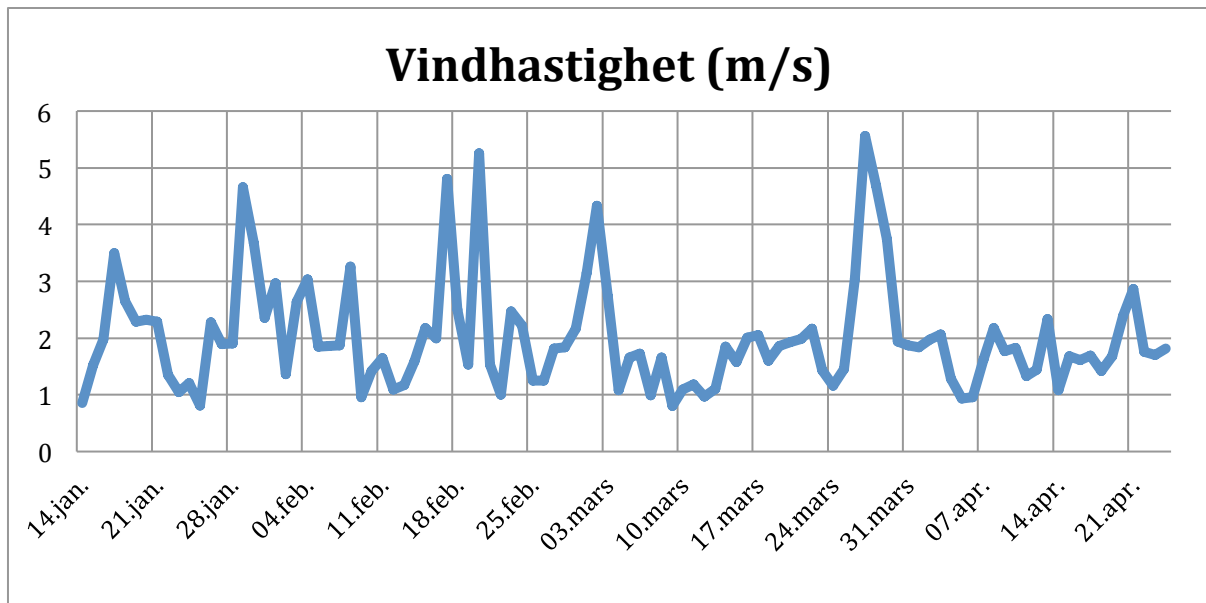
5.2 Metodekontroll:

Korrigeringsformlene brukt i denne rapporten (Nordiske Manualen for korrigerings av nedbør) er gyldige for vindhastigheter opp til 6 m/s. Henter derfor ut vindhastigheter for måleperiodene i Bergen og i Trondheim og ser hvilken vindhastighetsstyrke dataene har.

5.2.1 Vindhastighetene i Trondheim i måleperioden:

Vindhastighetene for hele måleperioden i Trondheim (15 januar – 23 april) er plottet i figur 20. Filtrerer bort data fra tiden det ikke ble registrert nedbør, da de ikke er relevante for denne rapporten.

Gjennomsnittlig døgnhastigheten ligger stort sett rundt 2m/s, men gjennomsnittsverdien kan øke opp til 5,5m/s. Dette er gjennomsnittsverdier, og vinden vil overstige 6m/s i noen tilfeller, dette vil rapporteres i de målingene dette skjer for. De målingene vil det da være knyttet ekstra usikkerhet mot.

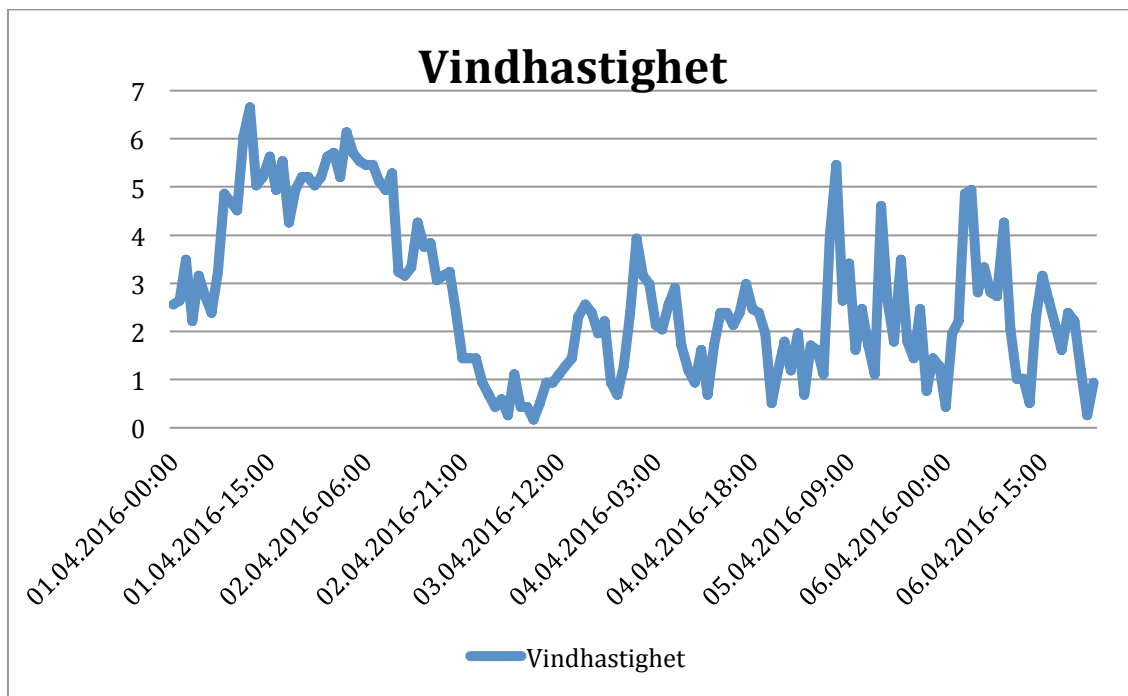


Figur 20: Vindhastighetene Risvollan 15. januar - 24. april.

5.2.2 Vindhastighetene i Bergen i måleperioden:

Vindhastighetene for hele måleperioden i Bergen (1. april – 6. april) er plottet i figur 21. Filtrerer bort data fra tiden det ikke ble registrert nedbør, da de ikke er relevante for denne rapporten.

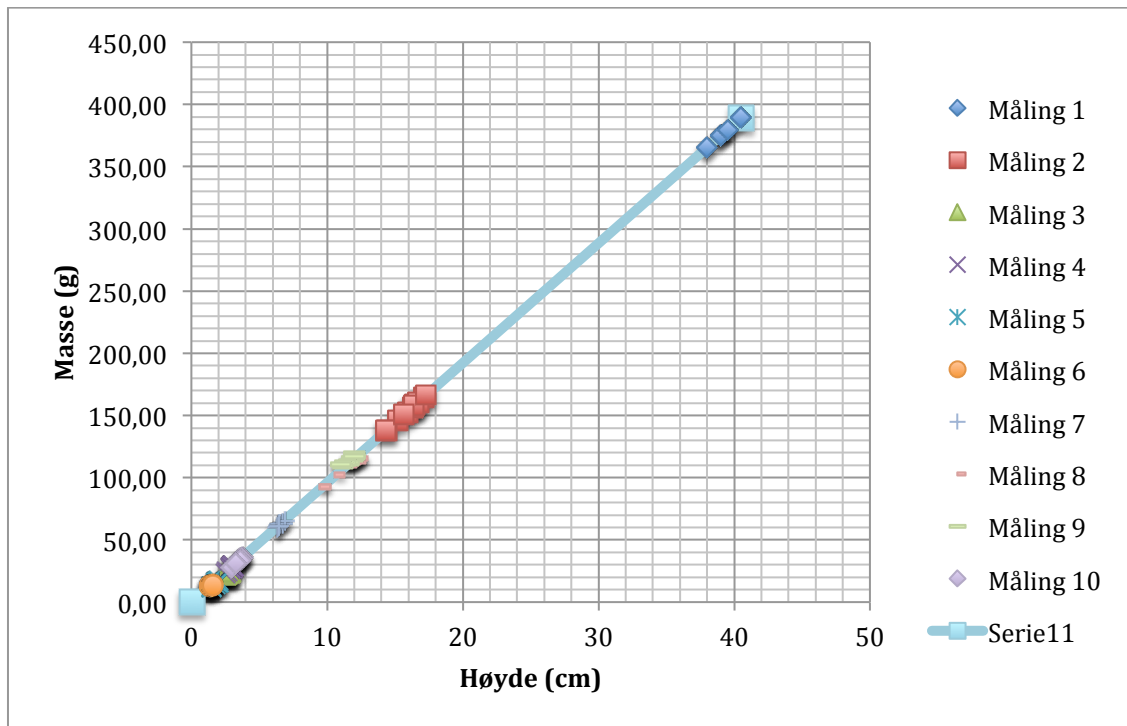
Ser av grafen at vindhastigheten stort sett er nokså lav, men den overstiger 6m/s ved to anledninger.



Figur 21: Vindhastighet hver time plottet i Bergen.

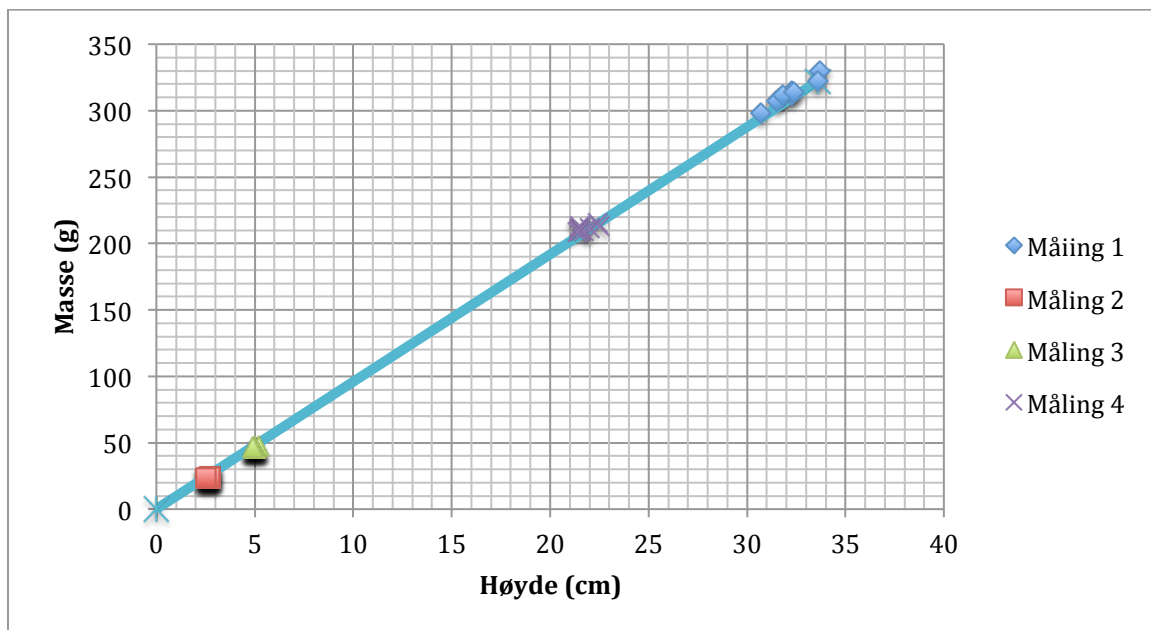
5.2.3 Korrelasjonen internt for nedbør og snømålingene

Korrelasjonene mellom høyde (cm) og masse (g) (fig. 22) er bra for de manuelle målingene i Trondheim.



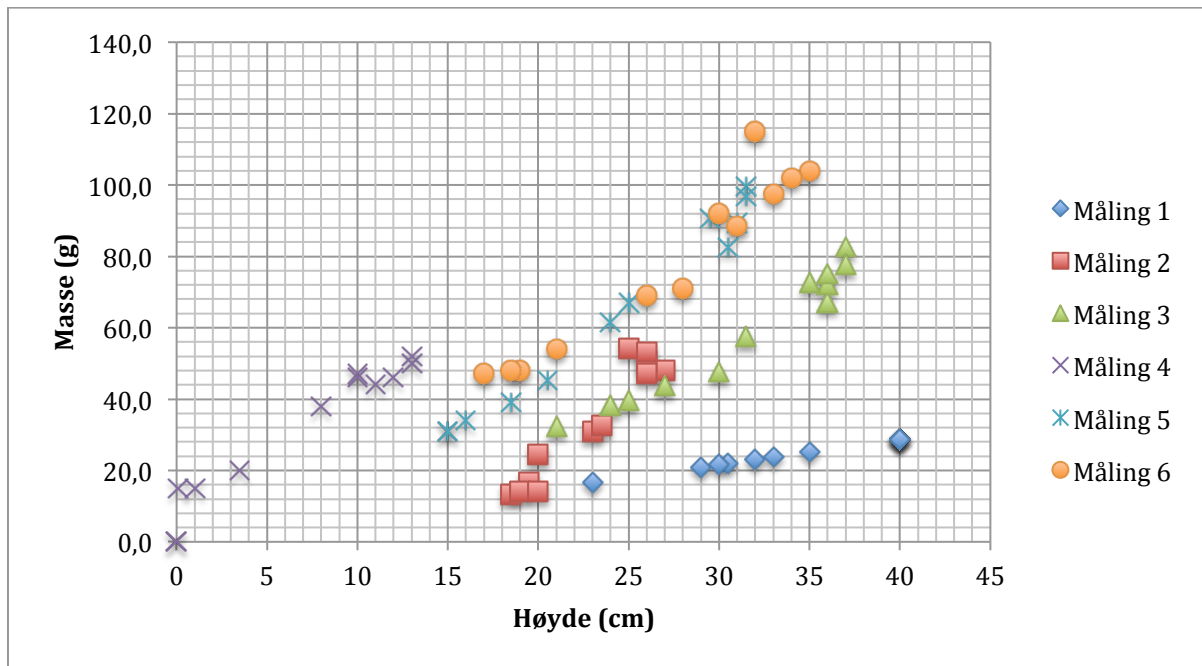
Figur 22: Plotter høyde (cm) langs x-aksen mot masse (g) langs y-aksen.

Korrelasjonene mellom høyde (cm) og masse (g) (fig 23) er bra for de manuelle målingene i Bergen.



Figur 23: Plotter høyden (cm) mot massen (g).

Snø-målingene i Trondheim korrelerer ikke like bra (fig. 24) som for nedbørsmålingene. Dette er nok fordi massetettheten til snøen som ligger på taket varierer over tid (Den kan bli tykkere, våtere, løsere, fastere).



Figur 24: Plotter høyden (cm) mot massen (g).

5.3 Hvordan vinden vil fordele seg på taket:

Formfaktor for taket i Trondheim:

Dersom vinden kommer mot rute nr. 1 eller rute nr. 4 på taket: $e = 7,4\text{m}$

Lengden på opphøyet vind vil være: $7,4/10 = 0,74\text{m} = 74\text{ cm}$.

Dersom vinden kommer mot øvre eller nedre side av taket: $e = 7,8\text{m}$

Lengden på opphøyet vind vil være: $7,8\text{m} / 10 = 0,78\text{m} = 78\text{ cm}$.

Ut ifra dette vil det mest sannsynlig nedbøren bli påvirket av vind uansett hvilken retning vinden kommer fra for det grønne taket i Trondheim. Dette er fordi alle siden de grønne rutene ligger helt inn til kanten på taket.

De fleste målingene i Trondheim kom vinden fra sørvestlig retning. Dette vil medføre underestimering på rute nr. 1 og de øvre punktene i alle rutene bortover. Hvor stor underestimering er avhengig av vindhastigheten.

Formfaktor for taket i Bergen:

Dersom vinden kommer fra øvre eller nedre side av taket: $e=19\text{m}$

Lengden på opphøyet vind vil være: $19/10 = 1,9\text{m}$.

Dersom vinden kommer mot rute nr. 1 eller mot rute nr. 5 på taket: $e=6$

Lengden på opphøyet vind vil være: $6/10 = 0,6\text{m}$

Det grønne taket i Bergen ligger inne på ett eksisterende tak. Vinden vil derfor ikke ha samme effekt som for taket i Trondheim.

Dersom vinden treffer rett inn mot rute nr. 1 (vind fra ca sørlig retning) vil vinden ikke påvirke nedbøren i noen grad.

Dersom vinden treffer øvre del av taket (vind fra vestlig retning) vil vinden ikke påvirke nedbøren i noen grad.

Dersom vinden treffer inn mot rute nr. 5 (vind fra nordlig retning) vil vinden ha lite effekt inne på taket ($0,6\text{m} - 0,5\text{m} = 0,1\text{m}$), men nedbørmåleren vil ha større vindeffekt med vind fra denne retningen.

Dersom vinden treffer inn mot nedre del av taket (vind fra østlig retning) vil vinden få en opphøyelse på $1,9\text{m} - 0,8\text{m} = 1,1\text{m}$ inne på taket.

Bare når vinden kommer inn mot den nederste delen av taket vil vi oppleve vind som kan påvirke nedbørfordelingen for taket i Bergen.

6 Resultat av statistisk kalibrering og korrigeringer i måletidspunktene:

I dette kapitlet beskrives de forskjellige kalibreringer og korrigeringer som ble gjort.

Det ble gjort følgende feltarbeid i denne rapporten:

- Det grønne taket på Risvollan (Trondheim):
 - o 1 Statisk kalibrering
 - o 6 Snømålinger
 - o 10 nedbørsmålinger
- Det grønne taket ved by-garasjen (Bergen):
 - o 1 Statisk kalibrering
 - o 4 nedbørsmålinger

Videre følger resultatet av den statistiske kalibreringen for nedbørmålerene i Trondheim og Bergen.

Beskrivelse av måleperioden for nedbørsmålingene i Bergen og Trondheim, hvilken type nedbør som falt under hver måleperiode og korrigering av nedbør og beskrivelse av vinddata for de forskjellige målingene.

Beskrivelse av måleperioden for snømålingene i Trondheim, hvilken type nedbør som falt under hver måleperiode og korrigering av nedbør, akkumulert avrennings data og beskrivelse av vinddata for de forskjellige målingene.

6.1 Statisk kalibrering:

Her presenteres resultatene fra den statiske kalibreringen (se punkt 4.1).

6.1.1 Statisk kalibrering Trondheim

Måleperiode: 25. april 2016.

Resultatet av målingene under (tabell 12):

Tabell 12: Statisk kalibrering av nedbørmåler Trondheim. 25. april 2016.

Start	Varighet(min)	Ant vipp			
25.04.16 12:27	13	117			
25.04.16 12:47	13	118			
25.04.16 13:03	13	119			
25.04.16 13:20	17	119	Snitt	Fasit	Korrigeringsfaktor
25.04.16 13:40	19	119	118,4	100	84%

6.1.2 Statisk kalibrering Bergen:

Måleperiode: 4. april 2016.

Resultatet av målingene under (tabell 13):

Tabell 13: Statisk kalibrering av nedbørmåler i Bergen. 4. april 2016.

Start	Varighet (min)	Ant vipp			
04.04.16 11:52	18	116			
04.04.16 12:14	15	117			
04.04.16 12:35	15	117			
04.04.16 12:55	14	117			
04.04.16 13:14	16	118	Snitt	Fasit	Korrigeringsfaktor
04.04.16 13:36	14	118	117,17	100	85%

6.2 Nedbørsmålinger:

Her presenteres de forskjellige måleperiodene, hvilke type nedbør som falt under de, og den korrigering av nedbør (se punkt 4.2, metode korrigering av nedbør) som falt under måleperioden.

6.2.1 Nedbørsmåliger Trondheim:

Måleperiodene for de manuelle målingene (Starttidspunktet = målerne ble plassert ut, Sluttidspunkt = målerne ble avlest og veid):

	Start		Slutt
1 måling:	18. mars kl. 12:00	–	20. mars kl. 20:32
2 måling:	20. mars kl. 20:33	–	23. mars kl. 02:00
3 måling:	25. mars kl. 05:30	–	29. mars kl. 20:00
4 måling:	8. april kl. 11:00	–	8. april kl. 21:00
5 måling:	14. april kl. 14:00	–	17. april kl. 14:00
6 måling:	17. april kl. 14:00	–	18. april kl. 12:20
7 måling:	18. april kl. 12:00	–	19. april kl. 14:30
8 måling:	19. april kl. 14:30	–	21. april kl. 12:16
9 måling:	21. april kl. 12:34	–	22. april kl. 11:45
10 måling:	22. april kl. 12:15	–	24. april kl. 12:15

Tabell 14: Hvilken type nedbør og mengdene nedbør som falt under måleperioden (Data er kalibrerte)

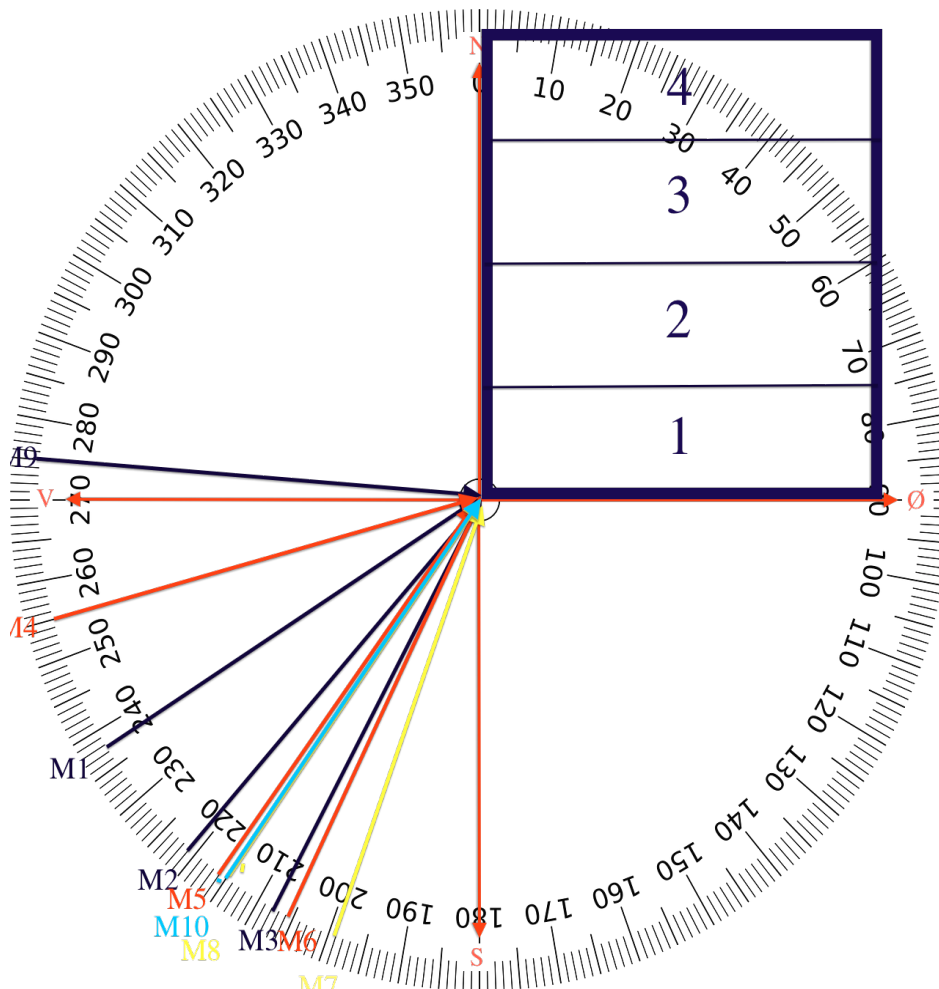
nedbørsmåliger Trondheim:	Type nedbør:			Total:
	Regn:	Mellomnedbør:	Snø:	
Måling 1	24,42	10,49	0	34,91
Måling 2	5,61	6,12	0	11,73
Måling 3	2,34	0,26	0	2,60
Måling 4	2,50	0	0	2,50
Måling 5	0,34	1,16	0	1,50
Måling 6	1,71	0	0	1,71
Måling 7	6,70	0	0	6,70
Måling 8	7,88	2,71	0	10,59
Måling 9	6,84	3,59	0	10,42
Måling 10	0,22	1,78	0,95	2,94

Tabell 15: De forskjellige korrigeringsene innenfor hver målingsperiode (se punkt 4.2.2)

Målings nr:	Nedbør (mm)	Statisk kalibrering (mm)	Nedbør-korreksjon (mm)	Virkelig nedbør (mm)	Vindhastighet (m/s)	Vindretning Grader
1	40,1	-6,416	+1,23	34,91	1,91	237,97

2	13,2	-2,112	+0,64	11,73	2,03	221,81
3	2,8	-0,448	+0,24	2,6	2,24	208,32
4	2,7	-0,432	+0,23	2,5	1,70	255,53
5	1,5	-0,24	+0,24	1,5	1,89	216,12
6	1,8	-0,288	+0,20	1,71	1,11	206,23
7	7,6	-1,216	+0,31	6,70	1,54	198,42
8	11,8	-1,888	+0,67	10,59	3,03	215,34
9	11,8	-1,888	+0,51	10,42	1,95	275,37
10	3,1	-0,496	+0,34	2,94	1,76	206,19

Figur 25 viser hvilke vindretning vinden gjennomsnittlig kommer fra og hvordan den treffer taket for de forskjellige målingene. Ser vinden har en klar tendens til å komme fra sør-vest (se punkt 3.1.2 for nærmere forklaring av vindretningen).



Figur 25: Gjennomsnittlig vindretning for de ulike nedbørmålingene i Trondheim.

6.2.2 nedbørsmålinger Bergen:

Måleperiodene for de manuelle målingene (Starttidspunktet = målerne ble plassert ut, Sluttidspunkt = målerne ble avlest og veid):

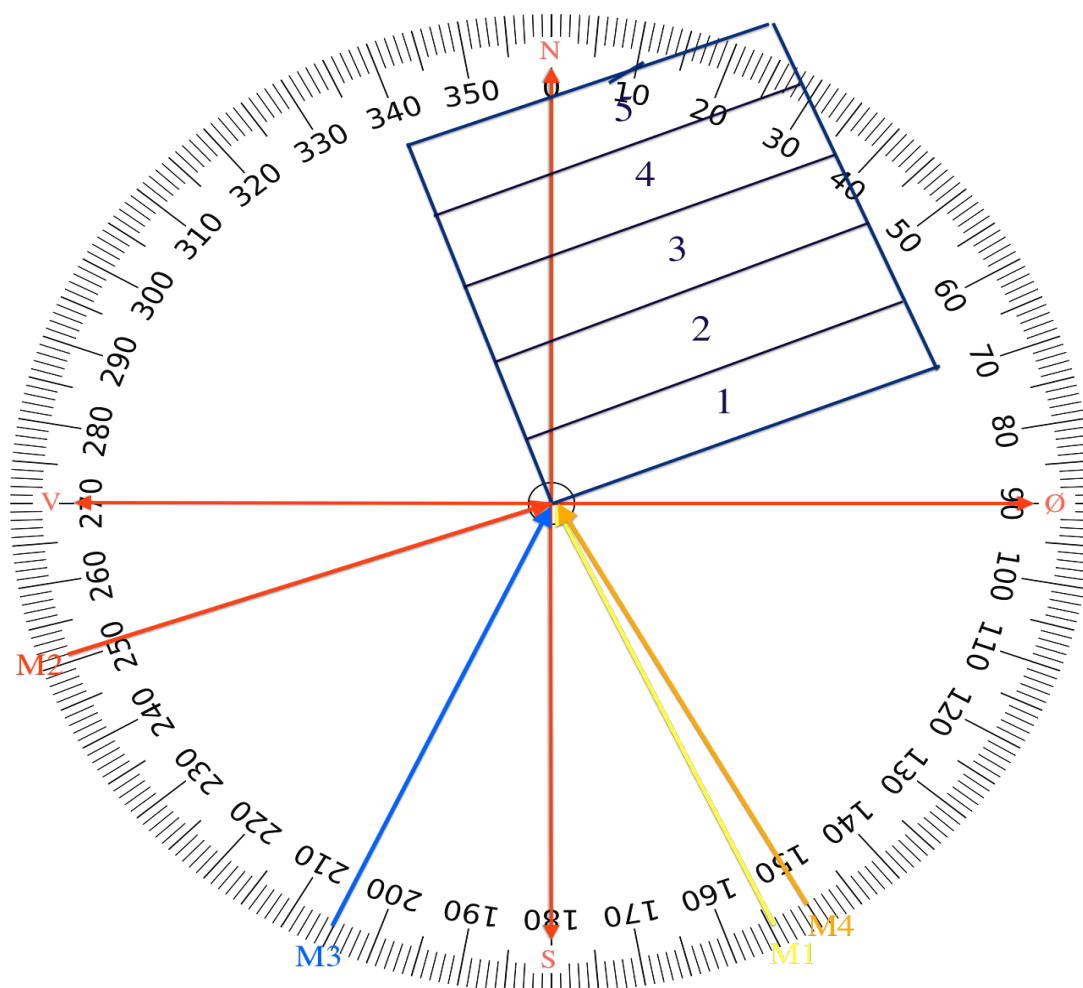
	Start		Slutt
1 måling:	1. april kl. 16:00	–	2. april kl. 16:00
2 måling:	3. april kl. 12:00	–	3. april kl. 20:00
3 måling:	4. april kl. 12:00	–	5. april kl. 16:00
4 måling:	5. april kl. 18:00	–	6. april kl. 20:30

I Bergen er temperaturen over $1,7^{\circ}\text{C}$ for hele måleperioden og all nedbør registreres da som regn.

Tabell 16: De forskjellige korrigeringene innenfor hver måleperiode.

Målings nr:	Nedbør (mm)	Statisk kalibrering (mm)	Nedbør-korreksjon (mm)	Virkelig nedbør (mm)	Vindhastighet (m/s)	Vindretning (Grader)
1	37,9	-5,685	+2,27	34,49	4,9	154,00
2	2,4	-0,36	+0,23	2,27	1,85	250,14
3	5,6	-0,84	+0,30	5,06	1,94	205,40
4	25,1	-3,765	+0,84	22,17	2,31	150,75

Figur 26 viser hvilken vindretning vinden gjennomsnittlig kommer fra og hvordan den treffer taket for de forskjellige målingene. Ser vinden har en tendens til å treffe taket i rute 1 eller på skrått inn mot øvre del av taket (se punkt 3.2.3 for nærmere forklaring av vindretningen).



Figur 26: Gjennomsnittlig vindretning for de ulike nedbørmålingsperiodene i Bergen.

6.3 Snømåling Trondheim:

Her presenteres de forskjellige måleperiodene, hvilke type nedbør som falt under de, og den korrigering av nedbør (se punkt 4.2 (korrigering av nedbør)) som falt under måleperioden og den akkumulerte avrenningen for hver rute i måleperiodene.

Måleperiode (snøprøvene ble tatt ved sluttidspunktet):

	Start	Slutt
Måling 1:	14. januar kl. 12:00	– 21 januar kl. 13:30

Måling 2:	21. januar kl. 13:30	–	2. februar kl. 13:00
Måling 3:	2. februar kl. 13:00	–	5. februar kl. 15:00
Måling 4:	5. februar kl. 15:00	–	18. februar kl. 14:00
Måling 5:	18. februar kl. 14:00	–	26. februar kl. 13:00
Måling 6:	26. februar kl. 13:00	–	1. mars kl. 13:00

Tabell 17: Hvilken type nedbør og mengdene som falt under måleperiodene (Data er kalibrerte)

Snømåling Trondheim:	Type nedbør:			Totalt:
	Regn	Blandingsnedbør	Snø	
Måling 1	0	0	25,74	25,74
Måling 2	5,76	12,01	19,97	37,73
Måling 3	0	1,04	11,77	12,81
Måling 4	1,96	2,56	5,14	9,66
Måling 5	1,94	31,03	0,42	33,40
Måling 6	0	8,04	3,36	11,41

Tabell 18: De forskjellige korrigeringsene innenfor hver måleperiode.

Målings nr:	Nedbør (mm)	Statisk kalibrering (mm)	Nedbør-korreksjon (mm)	Virkelig nedbør (mm)	Vindhastighet (m/s)	Vindretning (Grader)
1	26,2	-4,192	+3,73	25,74	2,7	223,12
2	41,2	-6,592	+3,12	37,73	2,3	170,3
3	13,1	-2,096	+1,81	12,81	2,8	232,4
4	10,6	-1,696	+0,76	9,66	1,8	159,4
5	38,1	-6,096	+1,40	33,40	1,5	203,0
6	12,7	-2,032	+0,74	11,41	1,5	208,6

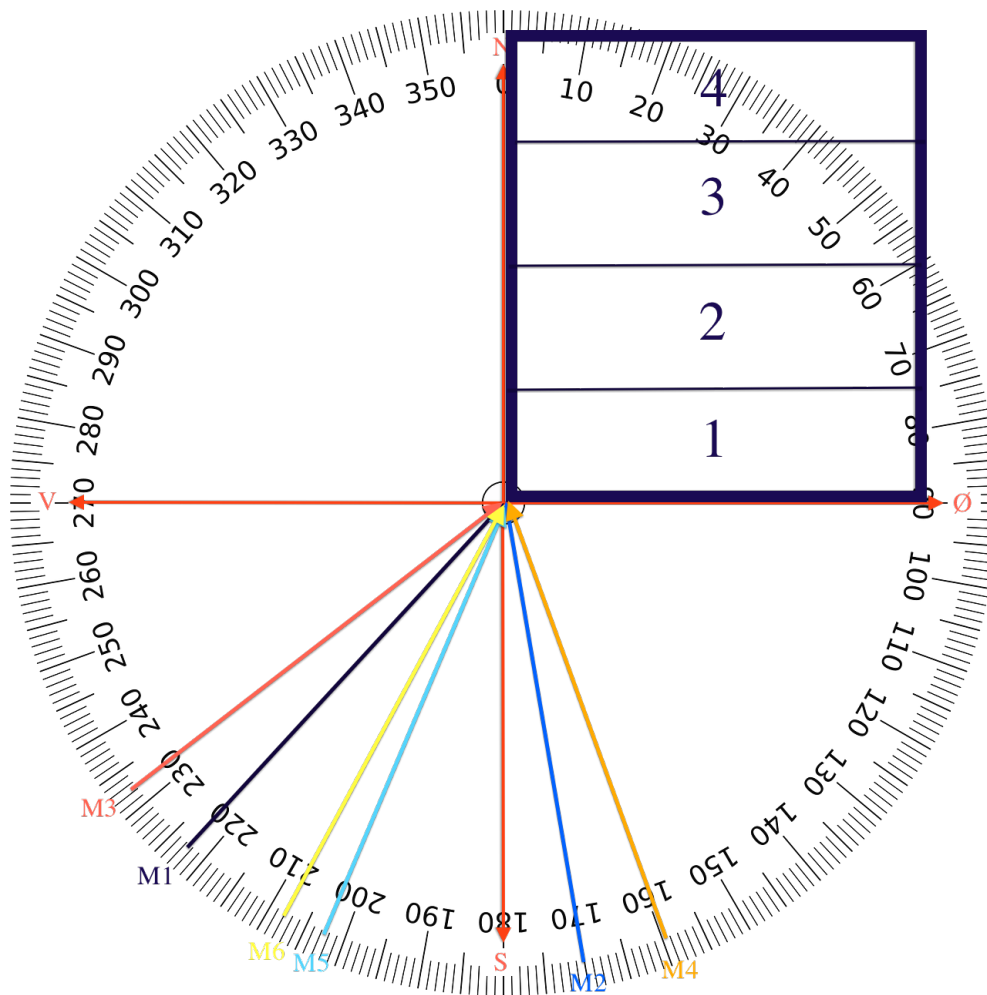
Tabell 19: Akkumulert avrenning fra det grønne taket i de forskjellige snømålingsperiodene.

Målings nr:	Rute 1 (mm)	Rute 2 (mm)	Rute 3 (mm)	Rute 4 (mm)
1	0	0,2	0	0
2	45,3	51,2	24,5	38,3
3	0,2	0,4	0,2	0,2
4	34,7	33,2	22,9	25,9

5	5,1	2,1	1,9	2,7
6	1,9	1,4	0,7	0,4

Figur 27 viser hvilke vindretning vinden gjennomsnittlig kommer fra og hvordan den treffer taket for de forskjellige målingene. Ser vinden har en klar tendens til å komme fra sør.

(se punkt 3.1.2 for nærmere forklaring av vindretning)



Figur 27: Gjennomsnittlig vindretning for de ulike snømålingene i Trondheim.

7 Resultat feltmålinger og diskusjon

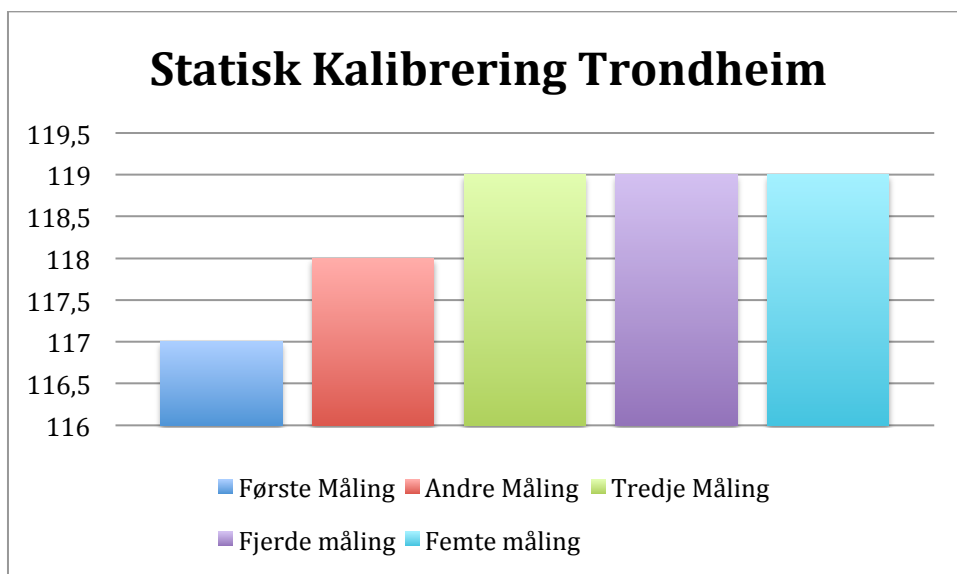
7.1 Statisk kalibrering

Setter sammen resultatet fra den statiske kalibreringen (se punkt 6.1) i Trondheim (fi. 28) og Bergen (fig. 29) om til ett kolonnediagram:

Trondheim:

Det statiske kalibreringen ble utført den 25. april på det grønne taket. Været var lett overskyet med glimt av sol. Temperaturen var mellom 2-5 grader, noe som er tilfredsstillende.

Det ble registrert 5 korrekte målinger, som er mer en bra nok for kravet til en gyldig kalibrering.

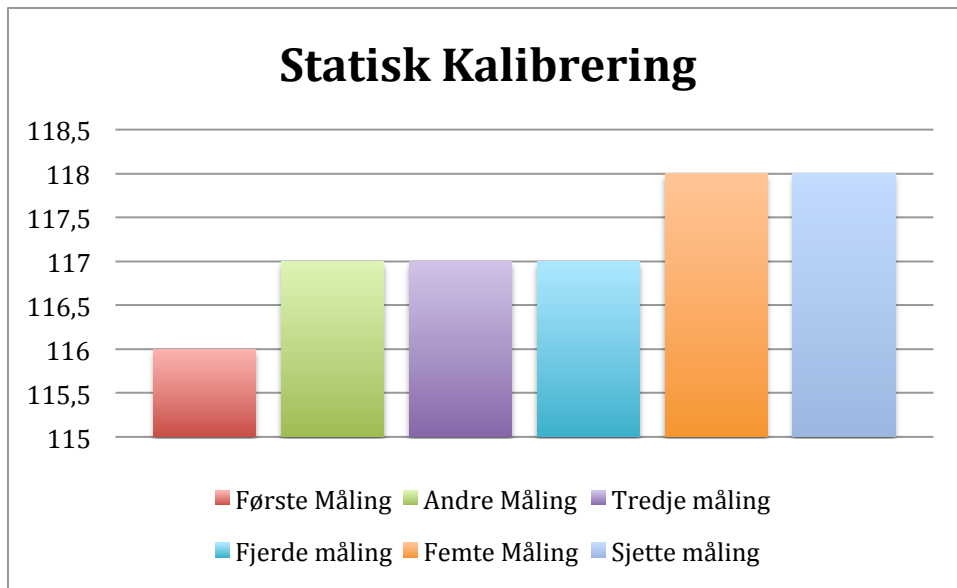


Figur 28: Statisk kalibrering Trondheim

Kalibreringsfaktoren for taket i Trondheim er 84%.

Bergen:

Det statiske kalibreringen ble utført den 4. april på det grønne taket. Det var plussgrader og en blanding av lett overskyet og sol. Det ble utført 6 gyldige målinger noe som er bra. Videre følger resultatene av målingene:



Figur 29: Statisk kalibrering Bergen.

Kalibreringsfaktoren for taket i Bergen er 85%.

Diskusjon:

Med faktorer på 84% (Trondheim) og 85% (Bergen) er dette en stor feilkilde som det til nå ikke har blitt tatt tilstrekkelig hensyn til tidligere.

Dette betyr at målerne vipper mye hyppigere enn den opprinnelig skal og nedbør som hentes ut må derfor kalibreres for denne verdien. Hver gang en ny dataserie hentes ut skal da denne korrigeres for denne verdien.

Når en ser på målingene under ett (tabell 15 for eksempel), er det den statiske kalibreringen som gjør størst utslag. Den gir faktisk stort sett større utslag enn de forskjellige korrigeringsene av nedbør (Korrigeringsene fra punkt 4.2) til sammen.

7.2 Nedbørsmåling

Dette punktet tar for seg resultatene fra de manuelle nedbørsmålingene (se metode punkt 4.3) og hvordan resultatene avviker i forhold til virkelig nedbør (punkt 6.2 for de forskjellige korrigeringsene av nedbørsmålingene) og internt mellom rutene. Alle nedbørsmålingene blir presentert under.

De forskjellige målerresultatene presenteres følgende:

Lager lignende tabell som beskrives under punkt 4.3.2 (tabell 7 for målingene i Trondheim og tabell 8 for målingene i Bergen) for hver av målingene:

Informasjonen om virkelig nedbør, gjennomsnittlig vindhastighet, gjennomsnittlig vindretning (Hentes fra tabell 15 for målingene i Trondheim og tabell 16 for målingene i Bergen) og type nedbør (hentes fra tabell 14 for målingene i Trondheim) hentes inn.

Se punkt 5.3 for hvor langt inn over taket vinden får ophøyet vindhastighet.

Konturdiagrammene: Viser hvordan nedbøren fordeler seg over takets tverrsnitt.

7.2.1 Trondheim

1 måling: 18. mars kl. 12:00 – 20. mars kl. 20:32

Tabell 20: 1. nedbørmåling Trondheim.

1	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
Øvre	37,3 (107%)	38,3 (110%)	38,3 (110%)	39,8 (114%)
Midtre	37,3 (107%)	38,8 (111%)	38,8 (111%)	39,8 (114%)
Nedre	38,3 (110%)	38,3 (110%)	38,8 (111%)	39,8 (114%)
Snitt:	37,6 (108%)	38,5 (111%)	38,6 (111%)	39,8 (114%)
Virkelig nedbør (mm)		Gj. Vindhastighet (m/s)		Gj. Vindretning (grader)
34,91		1,91		237,97
Regn (mm)		Blandingsnedbør (mm)		Snø (mm)
24,42		10,49		0

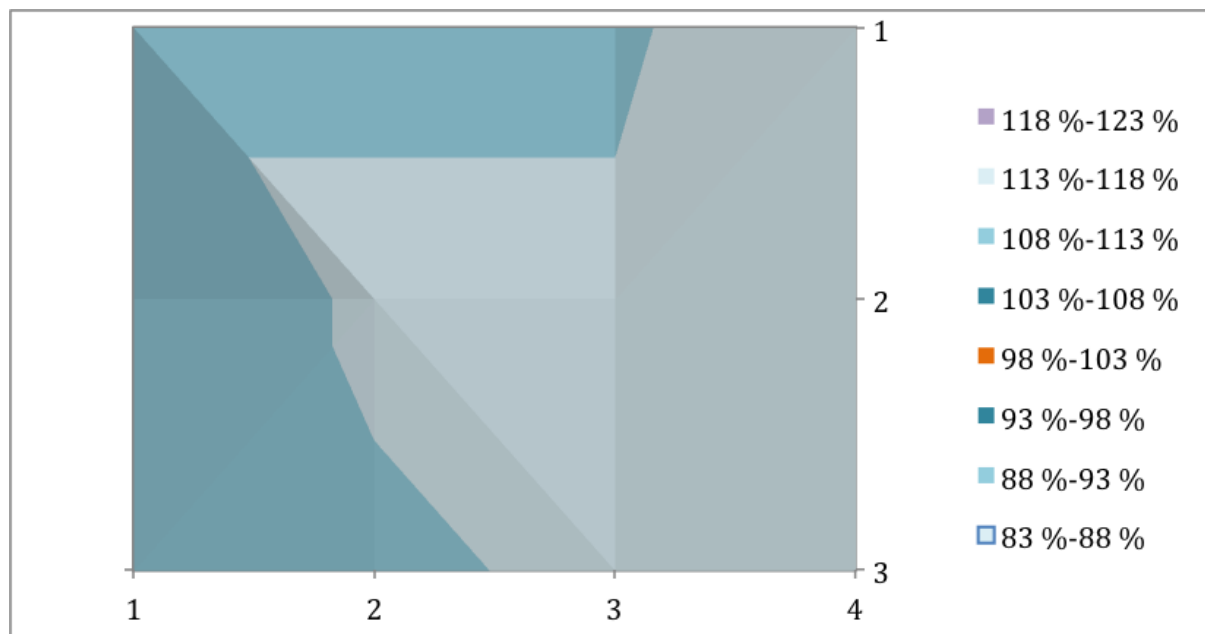
De manuelle målingene overestimerer i forhold til virkelig nedbør.

Vinden kommer skrått inn og treffer rute nr. 1 og bortover de øvre seksjonene. Det skal etter teorien kunne være forhøyet vind og dermed underestimeringer av nedbør i rute nr. 1 og øvre seksjon.

Dette stemmer med observasjoner av taket, der rute nr. 1 og de øvre seksjonene underestimerer.

Det er en uniform økning bortover mot høgde.

Det største avviket mellom rute nr. 1 (37,6mm) og rute nr. 4 (39,8mm) er på 0,95, som er lite avvik. Vindhastigheten var lav i denne målingen.



Figur 30: Avviket de manuelle målerne har til den virkelige nedbøren.

2. måling: 20. mars kl. 20:33 – 23. mars kl. 02:00

Tabell 21: 2. nedbørmåling, Trondheim.

2	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
Øvre	14,3 (122 %)	16,3 (139 %)	15,9 (136 %)	16,4 (140 %)
Midtre	14,4 (123 %)	17,1 (146 %)	16,3 (139 %)	15,7 (134 %)
Nedre	15,2 (130 %)	16,5 (141 %)	16,7 (143 %)	17,3 (148 %)
Snitt:	14,6 (125 %)	16,6 (142 %)	16,3 (139 %)	16,5 (141 %)
Virkelig nedbør (mm)		Gj. Vindhastighet (m/s)		Gj. Vindretning (grader)
11,73		2,03		221,81
Regn (mm)		Blandingsnedbør (mm)		Snø (mm)
5,61		6,12		0

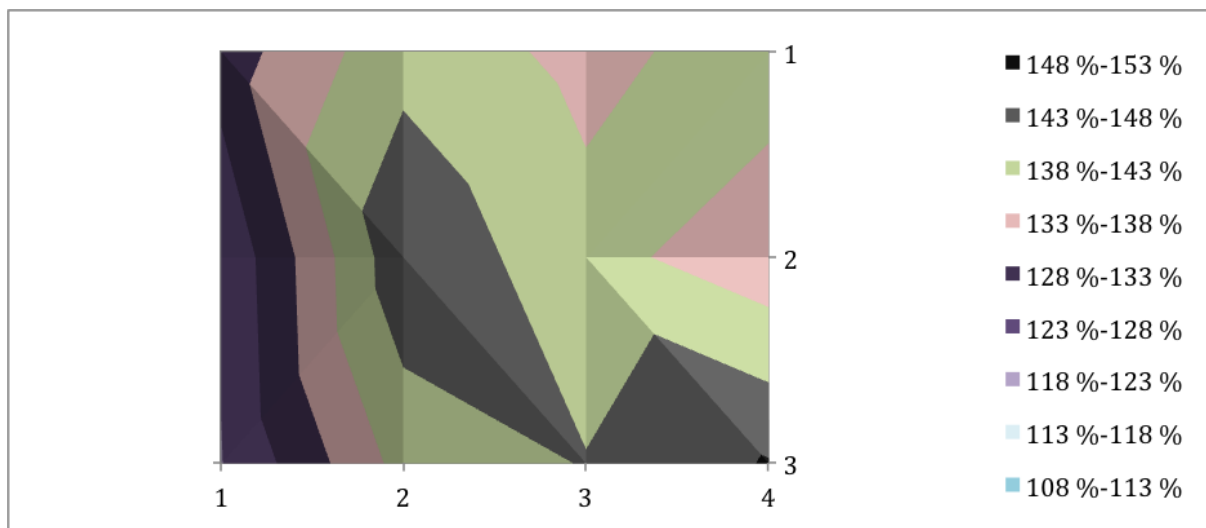
De manuelle målingene overestimerer mye i forhold til virkelig nedbør.

Vinden kommer skrått inn og treffer rute nr. 1 og bortover de øvre seksjonene. Det skal etter teorien kunne være forhøyet vind og dermed underestimeringer av nedbør i rute nr. 1 og øvre seksjon.

Dette stemmer med observasjoner av taket, der rute nr. 1 og de øvre seksjonene underestimerer.

Får en forhøyet nedbør midten måling 2.

Det største avviket mellom rute nr. 1 (14,6mm) og rute nr. 2 (16,6mm) er på 0,88 som er ett lite avvik. Vindhastigheten var moderat i denne målingen.



Figur 31: Avviket de manuelle målerne har til den virkelige nedbøren.

3. måling: 25. mars kl. 05:30 – 29. mars kl. 20:00

Tabell 22: 3. nedbørmåling, Trondheim

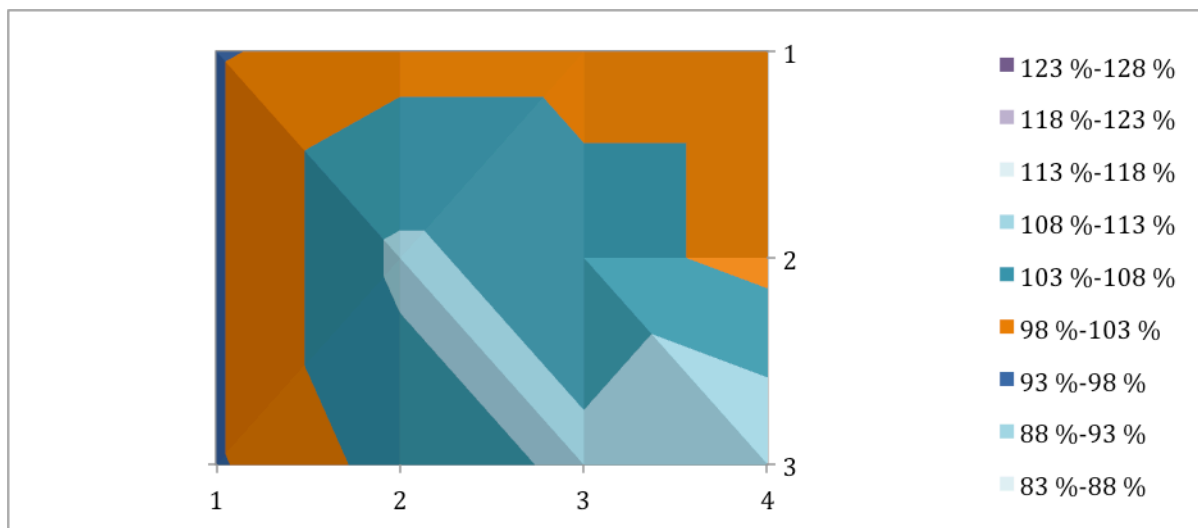
3	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
Øvre	2,3 (88 %)	2,5 (96 %)	2,6 (100 %)	2,4 (92 %)
Midtre	2,3 (88 %)	2,6 (100 %)	2,5 (96 %)	2,4 (92 %)
Nedre	2,3 (88 %)	2,4 (92 %)	2,4 (92 %)	2,7 (104 %)
Snitt:	2,3 (88 %)	2,5 (96 %)	2,5 (96 %)	2,5 (96 %)
Virkelig nedbør (mm)		Gj. Vindhastighet (m/s)		Gj. Vindretning (grader)
2,6		2,24		208,32
Regn (mm)		Blandingsnedbør (mm)		Snø (mm)
2,34		0,26		0

De manuelle målingene underestimerer, eller er nokså lik den virkelige mengden nedbør.

Vinden kommer skrått på med en overvekt mot rute nr. 1, men traff også noen av de øvre seksjonene. Det skal etter teorien kunne være forhøyet vind og dermed underestimeringer av nedbør i rute nr. 1 og noe av den øvre seksjonen.

Observasjoner på taket viser at rute nr. 1 underestimerer i forhold til de andre rutene.

Det største avviket mellom rute nr. 1 (2,3mm) og rute nr. 2 (2,5mm) er på 0,92, som er ett lite avvik. Vindhastigheten var moderat i denne målingen.



Figur 32: Avviket de manuelle målerne har til den virkelige nedbøren.

4. måling: 8 april kl. 11:00 – 8 april kl. 21:00

Tabell 23: 4. nedbørmåling, Trondheim.

4	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
Øvre	2,9 (117 %)	2,6 (105 %)	2,5 (101 %)	3 (121 %)
Midtre	2,9 (117 %)	3,1 (126 %)	3,1 (126 %)	3,1 (126 %)
Nedre	3 (121 %)	3 (121 %)	2,9 (117 %)	3,1 (126 %)
Snitt:	2,9 (119 %)	2,9 (117 %)	2,8 (115 %)	3,1 (124 %)
Virkelig nedbør (mm)		Gj. Vindhastighet (m/s)		Gj. Vindretning (grader)
2,5		1,7		255,53
Regn (mm)		Blandingsnedbør (mm)		Snø (mm)
2,5		0		0

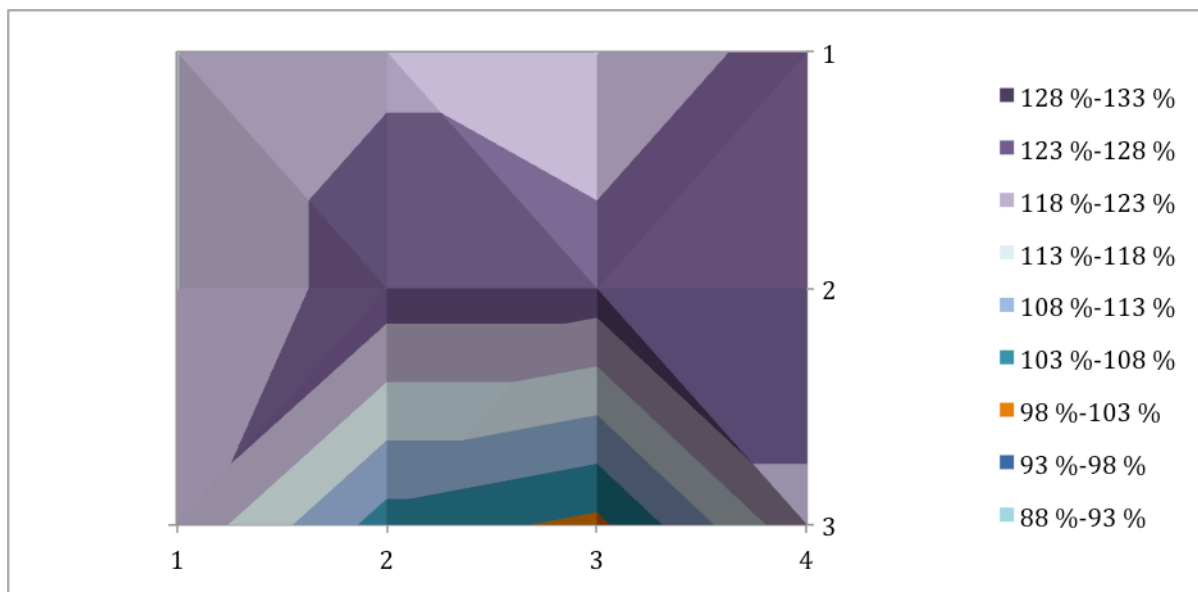
De manuelle målingene overestimerer i forhold til den virkelige mengden nedbør.

Vinden kommer vestfra med en overvekt mot de øvre seksjonene, men traff også noen av rute nr.

1. Det skal da i teorien være forhøyet vind og dermed underestimert av nedbør for de øvre seksjonene og noe av rute nr. 1.

Observasjoner av taket viser at de øvre seksjonene av taket underestimerer.

Det største avviket mellom rute nr. 3 (2,8mm) og rute nr. 4 (3,1mm) er på 0,90 som er ett lite avvik. Vindhastigheten var lave i denne målingen.



Figur 33: Avviket de manuelle målerne har til den virkelige nedbøren.

5. måling: 14. april kl. 14:00 – 17. april kl. 14:00

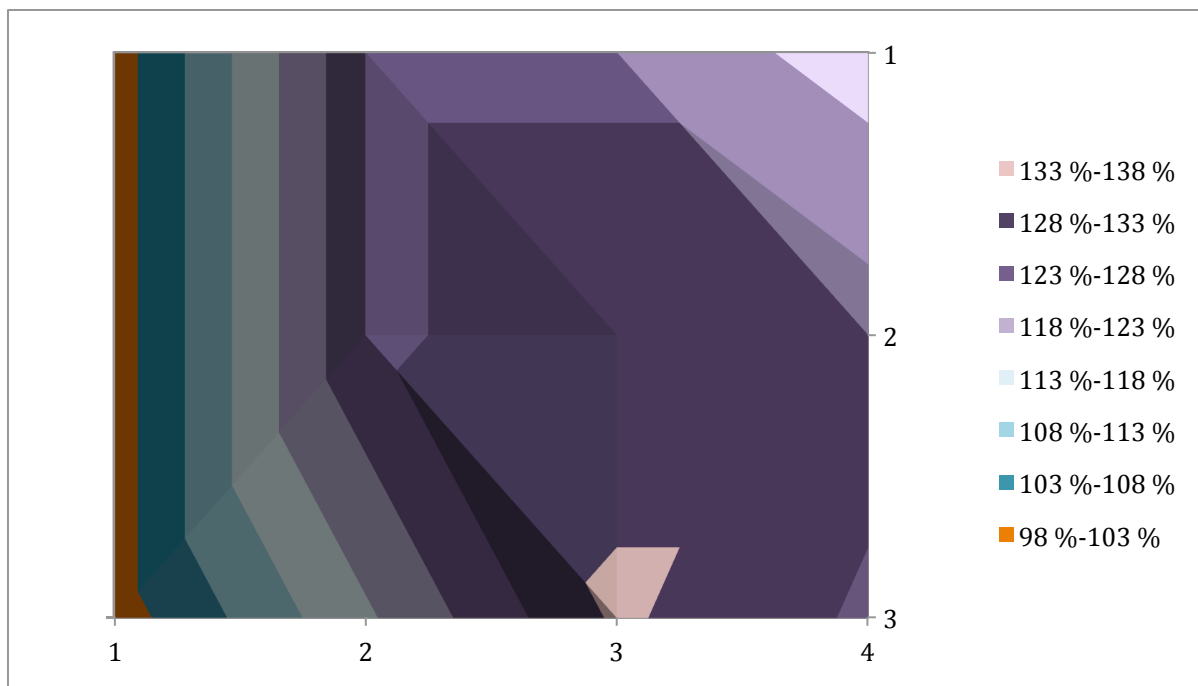
Tabell 24: 5. nedbørmåling, Trondheim.

5	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
Øvre	1,3 (87 %)	1,55 (103 %)	1,8 (120 %)	1,6 (113 %)
Midtre	1,3 (87 %)	1,7 (113 %)	1,75 (117 %)	1,75 (117 %)
Nedre	1,3 (87 %)	1,7 (113 %)	1,7 (113 %)	1,7 (107 %)
Snitt:	1,3 (87 %)	1,7 (110 %)	1,75 (117 %)	1,7 (112 %)
Virkelig nedbør (mm)		Gj. Vindhastighet (m/s)		Gj. Vindretning (grader)
1,5		1,89		216,12
Regn (mm)		Blandingsnedbør (mm)		Snø (mm)
0,34		1,16		0

De manuelle målingene underestimerer i forhold til den virkelige nedbøren i noen punkt og overestimerer i forhold til den virkelige nedbøren i andre punkt.

Vinden kommer skrått på med en overvekt mot rute nr. 1, men traff også noen av de øvre seksjonene. Det skal etter teorien kunne være forhøyet vind og dermed underestimering av nedbør i rute nr. 1 og noen av de øvre seksjonene. Dette stemmer bra med observasjoner av taket som viser at rute nr. 1 og noen av de øvre seksjonene underestimerer.

Det største avvik er mellom rute nr. 1 (1,3mm) og rute nr. 3 (1,75mm) er på 0,44, som er et stort avvik. Variasjoner kan komme av at det er knyttet ekstra usikkerhet til den lave nedbørmengden. Vindhastigheten var lav for denne målingen.



Figur 34: Avviket de manuelle målerne har til den virkelige nedbøren.

6. måling: 17. april kl. 14:00 – 18. april kl. 12:20

Tabell 25: 6. nedbørmåling, Trondheim.

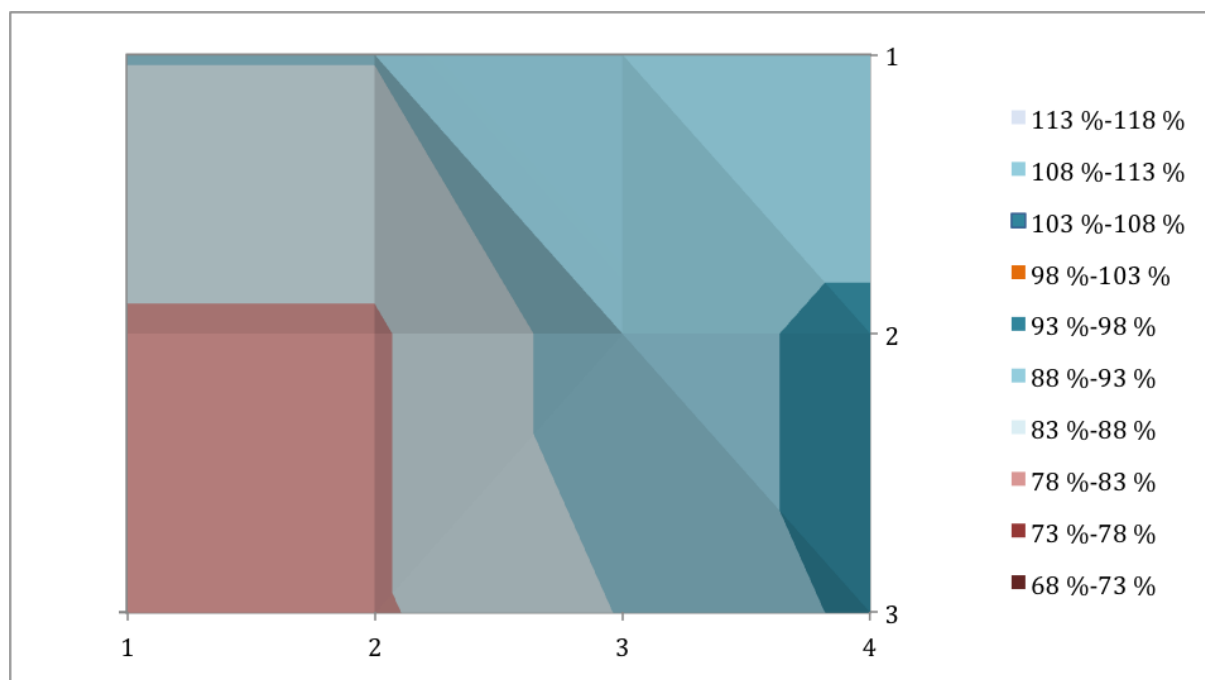
6	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
Øvre	1,5 (102 %)	1,5 (129 %)	1,5 (129 %)	1,5 (122 %)
Midtre	1,4 (102 %)	1,4 (129 %)	1,55 (133 %)	1,6 (133 %)
Nedre	1,4 (102 %)	1,4 (119 %)	1,5 (136 %)	1,6 (129 %)
Snitt:	1,4 (102 %)	1,4(126 %)	1,5 (133 %)	1,6 (129 %)
Virkelig nedbør (mm)		Gj. Vindhastighet (m/s)		Gj. Vindretning (grader)
1,71		1,11		206,23
Regn (mm)		Blandingsnedbør (mm)		Snø (mm)
1,71		0		0

De manuelle målingene overestimerer nedbøren i forhold til den virkelige mengden nedbør.

Vinden kommer skrått på med en overvekt mot rute nr. 1, men traff også noen av de øvre seksjonene. Det skal etter teorien kunne være forhøyet vind og dermed underestimert nedbør i rute nr. 1 og noen av de øvre seksjonene.

Observasjoner viser liten variasjon blant de forskjellige rutene i denne målingen, men rute nr. 4 registrerer litt mer nedbør enn de andre rutene. Den lille variasjonen kommer nok av den lave vindhastigheten som var i denne perioden.

Det største avviket mellom rute nr. 1 (1,4mm) og rute nr. 4 (1,6mm) er på 0,88, som er ett relativt lavt avvik.



Figur 35: Avviket de manuelle målerne har til den virkelige nedbøren.

7. måling: 18. april kl. 12:00 – 19. april kl. 14:30

Tabell 26: 7. nedbørmåling, Trondheim.

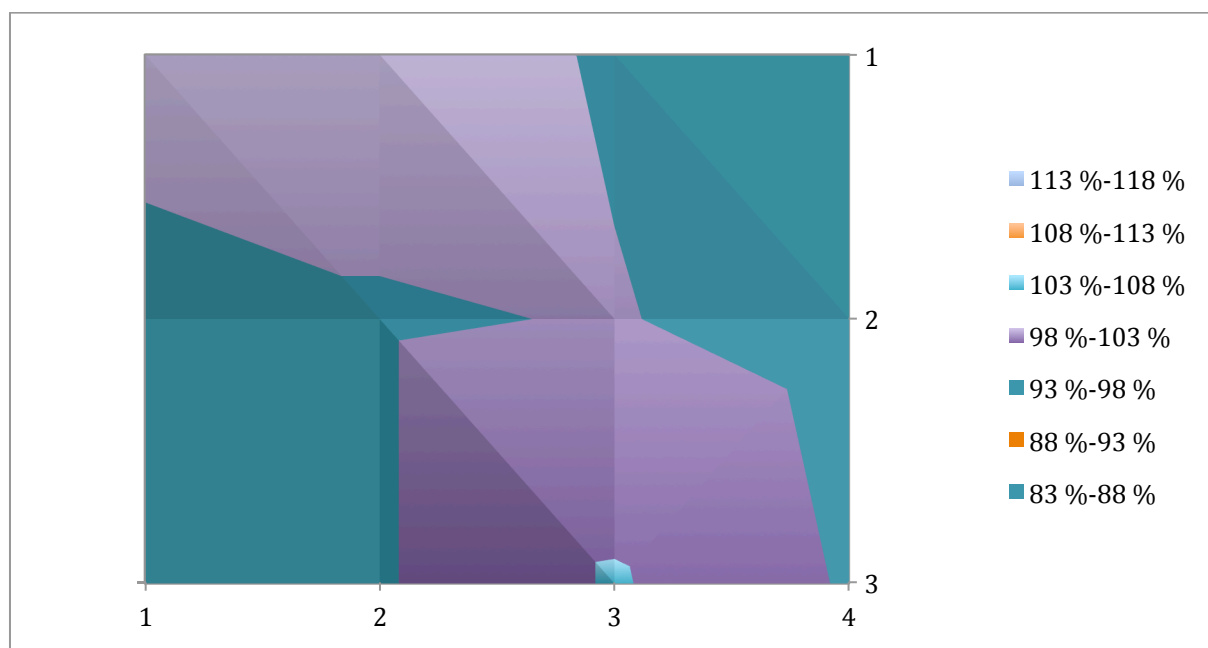
7	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
Øvre	6,3 (94 %)	6,3 (94 %)	6,3 (94 %)	6,3 (94 %)
Midtre	6,2 (93 %)	6,3 (94 %)	6,35 (95 %)	6,2 (93 %)
Nedre	6,5 (97 %)	6,5 (97 %)	6,7 (100 %)	6,1 (91 %)
Snitt:	6,3 (95 %)	6,4 (95 %)	6,5 (97 %)	6,2 (93 %)
Virkelig nedbør (mm)		Gj. Vindhastighet (m/s)		Gj. Vindretning (grader)
6,7		1,54		198,42
Regn (mm)		Blandingsnedbør (mm)		Snø (mm)
6,7		0		0

De manuelle målingene underestimerer eller er nesten lik i forhold til den virkelige nedbøren.

Vinden kommer skrått på med en overvekt mot rute nr. 1, men traff også noen av de øvre seksjonene. Det skal etter teorien kunne være forhøyet vind og dermed underestimering av nedbør i rute nr. 1 og noen av de øvre seksjonene.

Observasjoner av taket viser har ingen logisk mønster i denne målingen. De nedre seksjonene i rute nr. 1,2 og 3 overestimerer i forhold til resten som ellers har en lav variasjon.

Det største avviket mellom rute nr. 4 (6,2mm) og rute nr. 3 (6,5mm) er på 0,95, som er ett veldig lite avvik. Det er generelt lite variasjon internt i målingene under denne måleperioden og dette kan komme av den lave vindhastigheten som ble registrert.



Figur 36: Avviket de manuelle målerne har til den virkelige nedbøren.

8. måling: 19. april kl. 14:30 – 21. april kl. 12:16

Tabell 27: 8. nedbørmåling Trondheim.

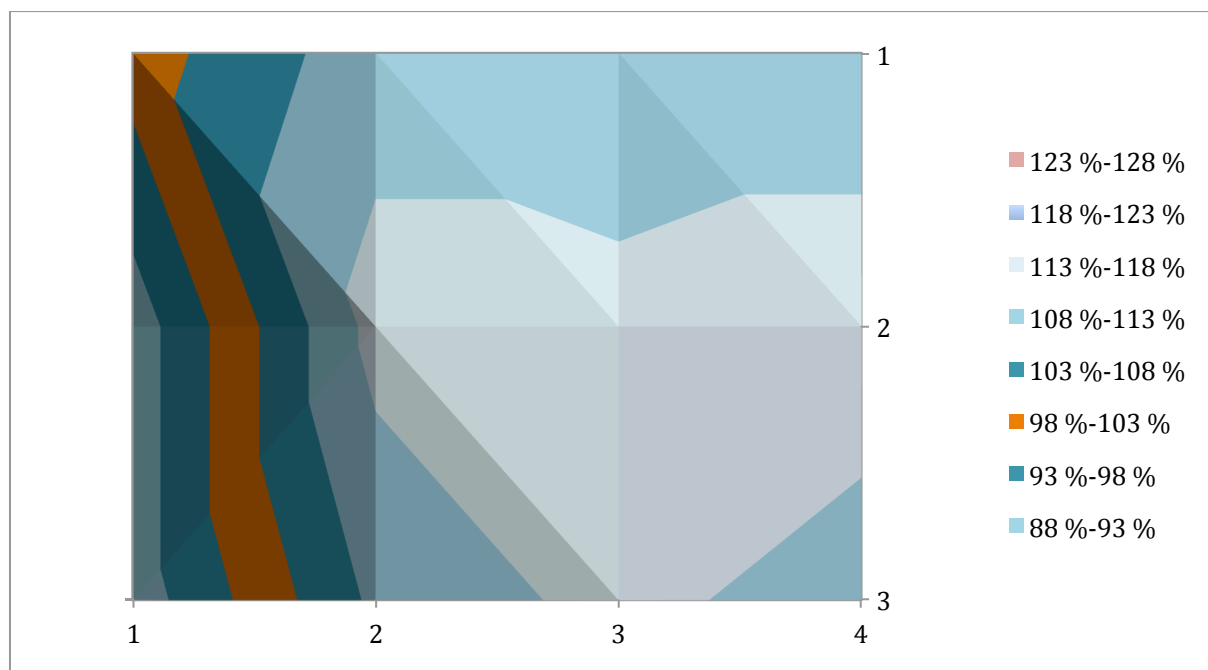
8	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
Øvre	9,3 (88 %)	11,3 (107 %)	11,9 (112 %)	11,4 (108 %)
Midtre	9,3 (88 %)	11,9 (112 %)	11,9 (112 %)	12,1 (114 %)
Nedre	10,4 (98 %)	11,5 (109 %)	11,3 (107 %)	11,3 (107 %)
Snitt:	9,7 (91 %)	11,6 (109 %)	11,7 (110 %)	11,6 (110 %)
Virkelig nedbør (mm)		Gj. Vindhastighet (m/s)		Gj. Vindretning (grader)
10,59		3,03		215,34
Regn (mm)		Blandingsnedbør (mm)		Snø (mm)
7,88		2,71		0

Nedbørfordelingen passer bra inn med den virkelige nedbøren, der noe underestimerer og noe overestimerer.

Vinden kommer skrått på med en overvekt mot rute nr. 1, men traff også noen av de øvre seksjonene. Det skal etter teorien kunne være forhøyet vind og dermed underestimert nedbør i rute nr. 1 og noen av de øvre seksjonene. Observasjon av taket viser at dette stemmer

bra med stor underestimering i rute nr. 1. Har stor vindhastighet i denne målingen, og dette bidrar til å øke underestimeringen.

Det største avviket mellom rute nr. 1 (9,7mm) og rute nr. 3 (11,7mm) er på 0,83. Vindhastigheten var moderat/høy i denne målingen og er trolig årsaken til den store variasjonen i nedbørmengde.



Figur 37: Avviket de manuelle målerne har til den virkelige nedbøren.

9. måling: 21. april kl. 12:34 – 22. april kl. 11:45

Tabell 28: 9. nedbørmåling, Trondheim.

9	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
Øvre	11,85 (114 %)	12 (115 %)	11,85 (114 %)	11,35 (109 %)
Midtre	11,85 (114 %)	12 (115 %)	11,95 (115 %)	11,35 (109 %)
Nedre	11,65 (112 %)	12 (115 %)	12 (115 %)	11 (106 %)
Snitt:	11,8 (113 %)	12,0 (115 %)	11,9 (115 %)	11,2 (108 %)
Virkelig nedbør (mm)		Gj. Vindhastighet (m/s)		Gj. Vindretning (grader)
10,42		1,95		275,37
Regn (mm)		Blandingsnedbør (mm)		Snø (mm)
6,84		3,59		0,95

De manuelle målingene overestimerer i forhold til den virkelige nedbøren.

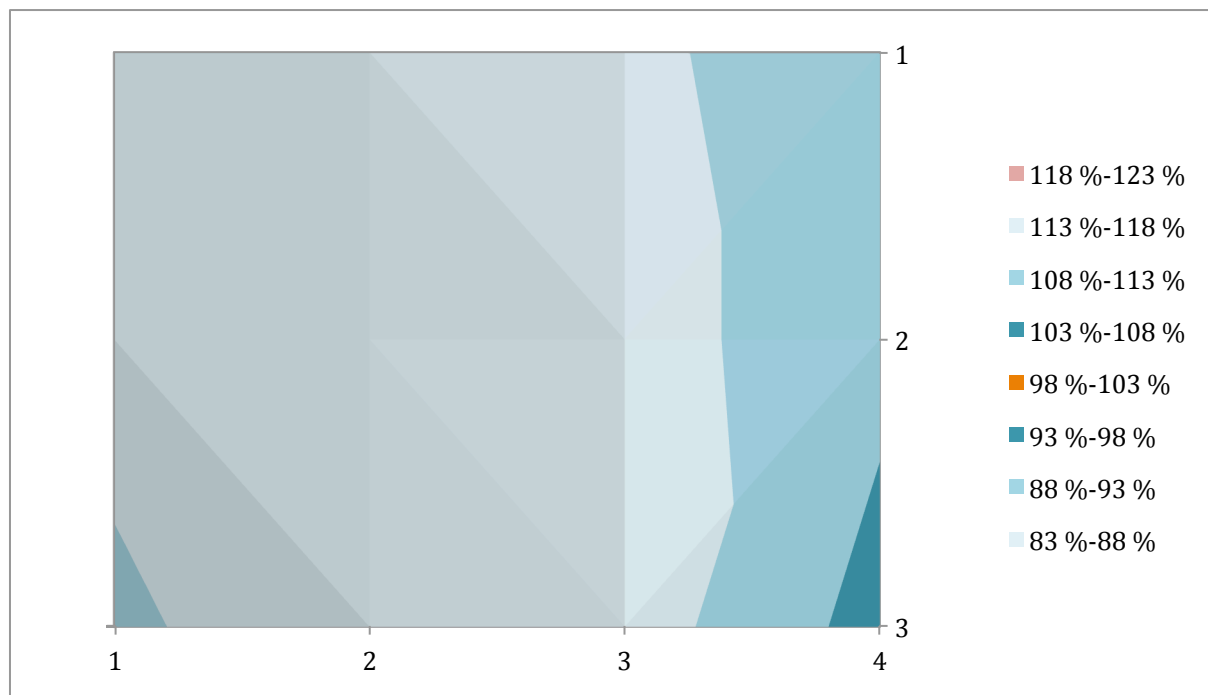
Vinden kommer vestfra med en overvekt mot de øvre seksjonene, men traff også noen av rute nr.

4. Det skal etter teorien kunne være forhøyet vind og dermed underestimering av nedbør i de øvre

seksjonene og noe av rute nr. 4. Observasjoner på taket viser at rute nr. 4 underestimerer mye, men resten av den øvre seksjonen underestimerer ikke noe. Det kan tyde på at vinden treffer mer direkte mot rute nr. 4 enn gjennomsnittsverdien tilsier.

Det største avviket mellom rute nr. 4 (11,2mm) og rute nr. 2 (12,0mm) er på 0,93.

Vindhastigheten var lav for denne målingen.



Figur 38: Avviket de manuelle målerne har til den virkelige nedbøren.

10. måling: 22. april kl. 12:15- 24. april kl. 12:15

Tabell 29: 10. nedbørmåling, Trondheim.

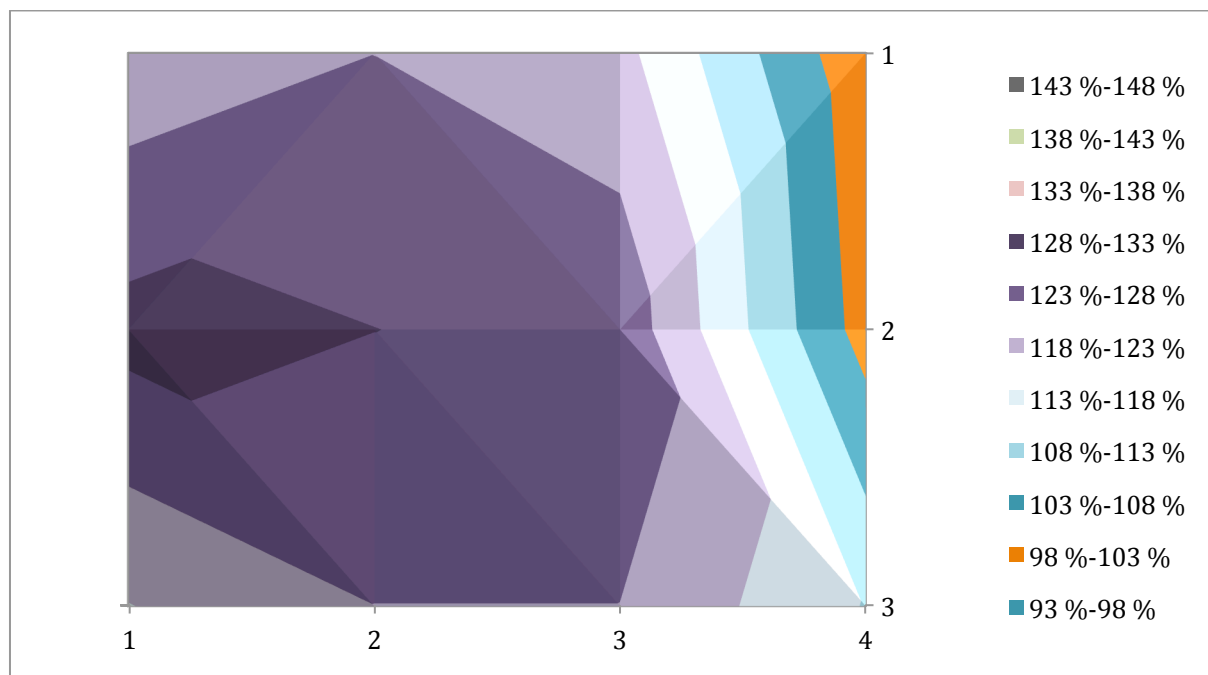
10	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
Øvre	2,9 (100 %)	3,6 (124 %)	3,5 (120 %)	3,5 (120 %)
Midtre	2,95 (101 %)	3,75 (129 %)	3,7 (127 %)	3,8 (131 %)
Nedre	3,3 (113 %)	3,6 (124 %)	3,6 (124 %)	3,45 (119 %)
Snitt:	3,1 (105 %)	3,7 (125 %)	3,6 (124 %)	3,6 (123 %)
Virkelig nedbør (mm)		Gj. Vindhastighet (m/s)		Gj. Vindretning (grader)
2,94		1,76		206,19
Regn (mm)		Blandingsnedbør (mm)		Snø (mm)
0,22		1,78		0,95

De manuelle målingene overestimerer i forhold til den virkelige nedbøren.

Vinden kommer skrått på med en overvekt mot rute nr. 1, men traff også noen av de øvre seksjonene. Det skal etter teorien kunne være forhøyet vind og dermed underestimering av nedbør i rute nr. 1 og noen av de øvre seksjonene.

Observasjoner på taket viser en underestimering i rute nr. 1, ellers lite variasjon. Her kommer det tydelig frem at rute nr. 1 underestimerer i forhold til de andre rutene.

Det største avviket mellom rute nr. 1 (3,1mm) og rute nr. 2 (3,7mm) og er på 0,84 som er ett stort avvik. Vindhastigheten var lav i denne målingen.



Figur 39: Avviket de manuelle målerne har til den virkelige nedbøren.

Diskusjon nedbørsmålingene Trondheim:

Det grønne taket på Risvollan ligg vindutsatt til. Formfaktoren har en effekt ved alle vindretninger mot taket. Halvparten av vindretningene har en tendens til å komme med overvekt på skrå inn mot rute nr. 1 og noe på de øvre seksjonene. Det skal da ifølge teorien være forhøyet vind og underestimering av nedbør i rute nr. 1 og noen av de øvre seksjonene.

Den andre halvparten av målingene kommer vinden med en overvekt inn mot de øvre seksjonene og noe mot rute 1. Det skal da ifølge teorien være forhøyet vind og underestimering av nedbør i de øvre seksjonene og noe av rute nr. 1.

Dette stemmer godt overens med observasjoner av taket når vinden kommer med overvekt mot rute nr. 1 er det som regel en underestimering av nedbørmengdene i rute nr. 1. Når vinden kommer med en overvekt mot den øvre seksjonen er det en underestimering av de øvre

seksjonene, men den øvre seksjonen underestimerer ikke like mye som når vinden kommer inn mot rute nr. 1.

For måling nr. 9 heller vinden på skrått inn mot rute 4 og den øvre seksjonen. Observasjoner viser da at det oppstår en underestimering i rute 4.

Det vil bli en nedbørøpphøying for punktene innenfor de punktene som underestimerer (om rute nr. 1 underestimerer nedbørsmengder, blir opphøyningen i rute nr. 2) i noen tilfeller. Men nedbørøpphøyningen gjelder ikke alle målingene, og trenden er heller den at den ruten som blir truffet av vinden først vil underestimere en nedbørmengde, men effekten vil ikke virke langt nok inn til punktet innenfor. Den opphøyede nedbørmengden vil falle ned imellom de to punktene. Det er derfor relativ lik nedbørmengde i de resterende punktene som ikke blir underestimert. Omfanget av underestimeringen er avhengig av hvilken type nedbør som falt og hvor stor vindhastigheten var i måleperiodene.

Avvik mellom gjennomsnittene av rutene ligger mellom 0,74 - 0,95 for målingene. Avviket vil bli enda større om en sammenligner de forskjellige målepunktene (øvre, midtre og nedre) internt. Avviket mellom virkelig nedbør og gjennomsnittet av rutene er fra 0,87 - 1,42 (87%-142%) noe som er ett stort avvik. Det er vanskelig å se noen klar trend på hvorfor de manuelle målerne avviker til virkelig nedbør.

Nedbørmålerens plassering er ved rute nr. 1, dette er også samme retning som de fleste vindkastene kom fra under måleperioden. Måleren vil derfor være ekstra vindutsatt. Det ville vært interessant og plassert måleren på motsatt side av taket (ved rute nr. 4) og sett om den målte samme mengden nedbør.

7.2.2 Bergen

1. måling: 1. april kl. 16:00 – 2. april kl. 16:00

Tabell 30: 1. nedbørmåling, Bergen.

1	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4	Rute 5
Øvre	30,7 (89%)	32,4 (94%)	31,8 (92%)	31,5 (91%)	33,6 (92%)
Nedre	32,3 (94%)	33,7 (98%)	32,3 (94%)	31,8 (92%)	31,6 (97%)
Snitt:	31,5 (91%)	33,05 (96%)	32,05 (93%)	31,65 (92%)	32,6 (95%)
Virkelig nedbør (mm)		Gj. Vindhastighet (m/s)		Gj. Vindretning (grader)	
34,49		4,9		154,0	

Noen av målerne underestimerer i forhold til den virkelige nedbøren, men de fleste var ganske like. Vinden kommer rett inn mot rute nr. 1 på taket og teorien sier da at vinden ikke vil få opphøyning innenfor de grønne rutene. Dette stemmer bra med observasjoner av taket som viser at målingene har lite variasjon seg imellom. Øvre punkt i rute nr. 1 underestimerer noe mens nedre rute nr. 2 og øvre rute nr. 5 overestimerer noe i forhold til de andre målerne.

Det største avviket mellom øvre rute nr. 1 (31,5mm) og rute nr. 2 (33,05mm) er på 0,95, noe som er ett veldig lite avvik. Vindhastighetene som ble registrert var veldig høye for denne målingen, det var også tilfeller med vind over 6m/s.

2. måling: 3. april kl. 12:00 – 3. april kl. 20:00

Tabell 31: 2. nedbørmåling, Bergen.

2	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4	Rute 5
Øvre	2,5 (110%)	2,7 (119%)	2,7 (119%)	2,7 (119%)	2,7 (119%)
Nedre	2,7 (119%)	2,7 (119%)	2,6 (115%)	2,7 (119%)	2,6 (115%)
Snitt:	2,6 (115%)	2,7 (119%)	2,65 (117%)	2,7 (119%)	2,65 (117%)
Virkelig nedbør (mm)		Gj. Vindhastighet (m/s)		Gj. Vindretning (grader)	
2,27		1,85		250,14	

De manuelle målerne overestimerer i forhold til den virkelige nedbøren.

Vinden treff taket rett på de øverste seksjonene. Teorien sier da at vinden ikke vil få opphøyning innenfor de grønne rutene. Dette stemmer bra med observasjoner av taket som viser at målingene har liten variasjon seg imellom. Øvre punkt i rute nr. 1 underestimerer noe, ellers er det liten variasjon.

Det største avviket mellom rute nr. 1 (2,6mm) og rute nr. 4 (2,7) er på 0,96, som er et veldig lite avvik. Vindhastigheten var lav i denne målingen.

3. måling: 4. april kl. 12:00 – 5. april kl. 16:00

Tabell 32: 3. nedbørmåling, Bergen.

3	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4	Rute 5
Øvre	4,8 (95%)	5,0(99%)	5,0 (99%)	4,8 (95%)	5,1 (101%)
Nedre	4,9 (97%)	4,9 (97%)	4,9 (97%)	5,0 (99%)	4,9 (97%)
Snitt:	4,85 (96%)	4,95 (98%)	4,95 (98%)	4,9 (97%)	5,0 (99%)
Virkelig nedbør (mm)		Gj. Vindhastighet (m/s)		Gj. Vindretning (grader)	
5,06		1,94		205,40	

De manuelle målingene er nokså like den virkelige nedbøren.

Vinden treffer taket på skrått inn mot øvre del av rute nr. 1. Teorien sier da at vinden ikke vil få opphøyning innenfor de grønne rutene. Dette stemmer bra med observasjoner av taket som viser at målingene har liten variasjon seg imellom.

Det største avviket mellom rute nr. 1 (4,85mm) mot rute nr. 5 (5mm) er på 0,97, som er et veldig lite avvik. Vindhastigheten var lav i denne målingen.

4. måling: 5. april kl. 18:00 – 6. april kl. 20:30

Tabell 33: 4. nedbørmåling, Bergen.

4	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4	Rute 5
Øvre	21,4 (97%)	22,0 (99%)	21,7 (98%)	21,5 (97%)	22,5 (101%)
Nedre	21,5 (97%)	21,5 (97%)	21,5 (97%)	22,4 (101%)	21,5 (97%)
Snitt:	21,45 (97%)	21,75 (98%)	21,6 (97%)	21,95 (99%)	22 (99%)
Virkelig nedbør (mm)		Gj. Vindhastighet (m/s)		Gj. Vindretning (grader)	
22,17		2,31		150,75	

De manuelle målingene er nokså lik den virkelige nedbøren.

Vinden treffer taket rett inn på rute nr. 1. Teorien sier da at vinden ikke vil få opphøyning innenfor de grønne rutene.

Dette stemmer bra med observasjon av taket som viser at målingene har liten variasjon seg imellom.

Det største avviket mellom rute nr. 1 (21,45mm) og rute nr. 5 (22mm) er på 0,95, som er veldig lite avvik. Vindhastigheten var moderat i denne målingen.

Diskusjon nedbørsmålingene Bergen:

Det grønne taket i Bergen ligger inne på ett eksisterende tak (fig. 10). Vinden vil derfor ikke ha samme effekt som for taket i Trondheim (se punkt 5.3). De forskjellige målingene har retning inn mot rute nr. 1, på skrå mellom øvre seksjon og rute nr. 1 og mot den øvre seksjonen. Teorien sier da at ingen av målingene vil bli påvirket av formfaktoren på taket .

Dette stemmer godt overens med observasjonene som ble gjort på taket der det generelt var lite variasjon mellom nedbørsmålingene i de forskjellige rutene. Det eneste var at det var en liten tendens til at øvre punkt på rute nr. 1 underestimerer litt i forhold til gjennomsnittet, og øvre punkt på rute nr. 5 overestimerer litt i forhold til gjennomsnittet.

Avvik mellom gjennomsnittene av alle rutene ligger mellom 0,95 - 0,98 for de manuelle målerne internt. Dette er en lite variasjon, slik at nedbørmengdene er tilnærmet like mellom de forskjellige rutene.

Avviket mellom virkelig nedbør og gjennomsnittet av rutene er heller ikke noe stort og varierer fra 0,91 - 0,99 (91% - 99%) for 3 av målingene, måling 2 var avviket fra 1,10-1,19 (110% - 119%). Den høye vindhastigheten i måling 1 gav heller ikke noen spesielle utslag på avviksresultatene. Dette bekrefter da teorien om at formfaktorene på dette taket ikke har noen effekt.

Det ville vært interessant å se effekten vinden har på målinger som treffer inn mot rute nr. 5, eller mot den nedre seksjonen på taket. Teorien sier vertfall at formfaktoren vil ha en stor effekt dersom vinden kommer inn mot den nedre seksjonen av taket.

Jeg vil anbefale å sette opp vindmåler ved det grønne taket i Bergen, og gjerne plassere ut manuelle vindmålere ut over taket for å se nøyaktig vinddistribusjon over taket. Finner da ut om vinddata fra Florida stasjonen er representativ for vinden som distribueres over det grønne taket. Det var på forhånd mistanke om at Floridastasjonen måler høyere vindhastigheter enn det grønne taket selv etter korrigering av vindhastighet. Dette fordi det grønne taket er omgitt av konstruksjoner som kan på virke vinden.

7.3 Snømålinger

Dette punktet tar for seg resultatet fra snømålingene (se metode punkt 4.4) og hvordan resultatene avviker i forhold til virkelig nedbør (punkt 6.3 for de forskjellige korrigeringene av snømålingene) og internt mellom rutene. Alle snømålingene blir presentert under:

De forskjellige målerresultatene presenteres følgende:

Lager lignende tabell som er beskrevet i tabell 9 (punkt 4.4.2) for hver av målingene:

Informasjonen om virkelig nedbør, gjennomsnittlig vindhastighet, gjennomsnittlig vindretning (hentes fra tabell 18), type nedbør (hentes fra tabell 17) og akkumulert avrenning (tabell 19) hentes inn.

Måling 1: 14. januar kl. 12:00 – 21 januar kl. 13:30

Ser av bilder (fig. 40) at det var helt bart på taket før snøen falt 14. januar, dermed er all snøen som falt under denne målingen nysnø.



Figur 40: Bildet til venstre er tatt før snøen faller den 14. januar. Bildet til høyre er tatt rett etter snømåling den 21. Januar.

Tabell 34: 1. Snømåling, Trondheim.

1	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
Øvre	17,6	22	23,3	23,9
Midtre	21,4	25,2	28,4	28,4
Nedre	22,3	28,4	28,4	28,4
Snitt:	20,4	25,2	26,7	26,9
Avrenning:	0	0,2	0	0
Mengde:	20,4	25,4	26,7	26,9
Avvik: M/VN	0,8	1,0	1,0	1,0
Virkelig nedbør (mm)		Gj. Vindhastighet (m/s)		Gj. Vindretning (grader)
25,74		2,7		223,12
Regn (mm)		Blandingsnedbør (mm)		Snø (mm)
0		0		25,74

Snøen fordeler seg slik at rute nr. 1 og det øvre seksjonene underestimerer, dette stemmer godt med tanke på at vinden kommer skrått inn på øvre seksjonen på rute nr. 1, og teori sier da at rute nr. 1 og de øvre seksjonene vil underestimere nedbørsmengdene. Øvre punkt på rute nr. 1 underestimerer klart mest. Nedbøren som blir underestimert legger seg på punktene på skrå innover, så midtre og nedre seksjon i rute nr. 2,3 og 4 får en opphøyning. Det er store variasjoner og snøen følger ett bestemt mønster.

Dersom man tar gjennomsnittet av de forskjellige rutene ser en at rute nr. 1 underestimerer i forhold til den virkelige nedbøren, men de resterende rutene er ganske lik i forhold til den virkelige nedbøren.

Det største avviket mellom rute nr. 1 (20,4mm) og rute nr. 4 (26,9mm) er på 0,76 som er en stor variasjon. Vindhastigheten var moderat i denne målingen, men det var 2 timer der vinden oversteg 6m/s, noe som knytter ekstra usikkerhet til disse timene.

Måling 2: 21. januar kl. 13:30 – 2. februar kl. 13:00

Ser av figur 41 at det skjer mye snøsmelting i denne perioden. Den 30. januar har nesten all snøen i rute nr. 1 smeltet bort. Ny snø faller før snø-prøve ble tatt den 2. februar.



Figur 41: Oppe til venstre: 28. Januar etter snøfall. Oppe til høyre: 27. Januar kl 11. Nede til venstre: 30. Januar etter mye avrenning. Nede til høyre: 2. Februar etter snøfall før snø-prøven ble tatt.

Tabell 35: 2. snømåling, Trondheim.

2	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
Øvre	14,7	15,3	24,6	31,7
Midtre	17,7	30,3	47,5	50,9

Nedre	15,3	45,3	44,4	49,9
Snitt:	15,9	30,3	38,8	44,2
Avrenning:	45,3	51,2	24,5	38,3
Mengde:	40,8	56,3	36,7	55,5
Avvik: M/VN	1,1	1,5	1,0	1,5
Virkelig nedbør (mm)	Gj. Vindhastighet (m/s)		Gj. Vindretning (grader)	
37,73	2,3		170,3	
Regn (mm)	Blandingsnedbør (mm)		Snø (mm)	
5,76	12,01		19,97	

Det er stor variasjon i mengde snø som falt på de forskjellige rutene denne måleperioden. Temperaturen varierte veldig i denne måleperioden. Den gikk fra veldig lav (-10⁰C) til veldig høy (+5⁰C). Det registreres stor snøsmelting i form av akkumulert avrenning. Det er tydelig at avrenningen fra de forskjellige rutene skje i ulikt tempo. Rute nr. 1 og rute nr. 2 har klart mest avrenning etterfulgt av rute nr. 4 med rute nr. 3 som den ruten der det smeltet minst denne måleperioden.

Vinden treffer taket rett inn mot rute nr. 1. Teorien sier da at rute nr. 1 vil få forhøyet vindhastighet og underestimere nedbørmengder.

Leser av mengden som falt i de forskjellige rutene og ser at rute nr. 1 og rute nr. 3 underestimerer i forhold til rute nr. 2 og rute nr. 4.

Rute nr. 1 og rute nr. 3 avviker lite i forhold til den virkelige nedbøren, mens rute nr. 2 og rute nr. 4 overestimerer mye i forhold til den virkelige nedbøren.

Det største avviket mellom rute nr. 3 (36,7mm) og rute nr. 2 (56,3mm) er på 0,65, som er et stort avvik. Vindhastighetene er moderate.

Måling 3: 2. februar kl. 13:00 – 5. februar kl. 15:00

Slik det framgår av bildene var det snø på taket ved starten av perioden og ytterligere mere før målingene ble tatt. Grunnet lav temperatur i denne perioden er det nesten ingen avrenning fra takene.



Figur 42: Bildet til venstre tatt 4. februar kl. 15. Bildet til høyre tatt 5. februar kl. 11.

Tabell 36: 3. snømåling, Trondheim.

3	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
Øvre	31,6	45	41,6	53,7
Midtre	36,7	62,2	75,9	71,5
Nedre	37,9	66,5	69,1	67,1
Snitt:	35,4	57,9	62,2	64,1
Avrenning:	0,2	0,4	0,2	0,2
Mengde:	19,7	28,0	23,5	20,1
Avvik: M/VN	1,5	2,2	1,8	1,6
Virkelig nedbør (mm)		Gj. Vindhastighet (m/s)		Gj. Vindretning (grader)
12,81		2,8		232,4
Regn (mm)		Blandingsnedbør (mm)		Snø (mm)
0		1,04		11,77

Vinden kommer skrått inn og treffer rute nr. 1 og de øvre seksjonene. Teorien sier da at rute nr. 1 og de øvre seksjonene skal underestimere.

Leser av mengdene og ser at det er noe variasjon i nedbørsmengdene av snø som falt i de forskjellige rutene ved denne målingen. Det er en klar trend at rute nr. 1 underestimerer mye, og vinden gjør at rute nr. 2 blir ekstra belastet.

Den lave temperaturen medførte nesten ingen avrenning ved denne målingen.

Alle rutene avviker mye til den virkelige nedbøren.

Største avviket hos rutene internt er mellom rute nr. 1 (19,7mm) og rute nr. 2 (28,0mm) og avviket er på 0,70 , som er et stort avvik.

Måling 4: 5. februar kl. 15– 18. februar kl. 14

Slik det framgår av bildene skjer det mye snøsmelting fra den 5. februar og frem til den 9. februar. Det kommer også en god del snø mellom den 9. februar og den 15. februar, før snøen nesten smelter helt igjen fram til prøve skal tas den 18. februar.



Figur 43: Snøsmelting fram til 9. Februar (bildet til venstre). Snøfall til 15. Februar (midre bilde). Snøsmelting fram til prøve tas (høyre bilde)

Tabell 37:4. snømåling Trondheim.

4	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
Øvre	0	5	26	36,5
Midtre	0	44,4	49,3	41,8
Nedre	2,5	43,6	49,7	43,6
Snitt	0,8	31,0	41,7	40,6
Avrenning:	34,7	33,2	22,9	25,9
Mengde:	0,1	6,3	2,4	2,4
Avvik: M/VN	0	0,7	0,2	0,3
Virkelig nedbør (mm)		Gj. Vindhastighet (m/s)		Gj. Vindretning (grader)
9,66		1,8		159,4
Regn (mm)		Blandingsnedbør (mm)		Snø (mm)
1,96		2,56		5,14

Vinden kommer skrått på med en overvekt mot rute nr. 1, men traff også noen av de nedre seksjonene. Det skal etter teorien kunne være forhøyet vind og dermed underestimert nedbør i rute nr. 1 og noen av de nedre seksjonene.

Leser av mengdene og ser at det er noe variasjon i nedbørmengdene av snø, som falt i de forskjellige rutene ved denne målingen. Rute nr. 1 underestimerer voldsomt og har null i

nedbørmengde. Det betyr at ingenting av nedbøren som fall på taket traff rute nr. 1 ved denne målingen. Teorien stemmer og rute nr. 2 får opphøyet nedbørmengde.

Den høye temperaturen som ble registrert medførte mye avrenning denne måleperioden. Gikk lang tid mellom siste nedbøren falt og til måling ble gjort som er hovedkilden til feil i denne målingen..

Alle rutene underestimerer mye i forhold til den virkelige nedbøren.

Største avviket hos rutene internt er mellom rute nr. 1 (19,7mm) og rute nr. 2 (28,0mm) og avviket er på 0,70 , som er et stort avvik.

Avviket mellom rute nr. 4 (2,4mm) og rute nr. 2 (6,3mm) er på 0,38 som er ett veldig stort avvik.

Alle rutene underestimerer mye i forhold til den virkelige nedbøren.

Måling 5: 18. februar kl. 14– 26. februar kl. 13

Slik det fremgår av bildene (fig. 44) kom det endel snø fra den 24. februar og frem til snømålingstidspunktet den 26. februar.



Figur 44: Bildet til venstre (22. februar), bildet i midten (24 februar) og bildet til høyre (26. februar).

Tabell 38: 5. snømåling, Trondheim

5	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
Øvre	29,5	40,1	42,9	54,2
Midtre	30,8	65,4	75,7	77
Nedre	30,3	84	81,9	76,2
Snitt:	30,2	60,8	66,8	69,1
Avrenning:	5,1	2,1	1,9	2,7
Mengde:	34,5	34,3	27,1	31,2
Avvik: M/VN	1,0	1,0	0,8	0,9
Virkelig nedbør (mm)		Gj. Vindhastighet (m/s)		Gj. Vindretning (grader)
33,40		1,5		203,0

Regn (mm)	Blandingsnedbør (mm)	Snø (mm)
1,94	31,03	0,42

Vinden kommer skrått på med en overvekt mot rute nr. 1, men traff også noen av de øvre seksjonene. Det skal etter teorien kunne være forhøyet vind og dermed underestimert nedbør i rute nr. 1 og noen av de øvre seksjonene. Moderat vind i denne perioden.

Leser av mengdene og ser at rute nr. 1, 2 og 4 er like, mens rute nr. 3 underestimerer. Rute nr. 1 underestimerer ikke som forventet. Ser den akkumulerte avrenningen er litt høyere for rute nr. 1 enn de andre rutene.

Det største avviket mellom rute nr. 3 (27,1mm) og rute nr. 1 (34,5mm) er på 0,79 som ikke er så stort avvik. De forskjellige snømengdene i rutene er ikke så ulike den virkelige mengden nedbør som falt i denne måleperioden.

Måling 6: 26 februar kl. 13 – 1 mars kl. 13



Figur 45: Bildet til venstre er tatt etter forrige måling den 26. februar og bildet til høyre er tatt rett før målingen den 1. mars.

Tabell 39: 6. snømåling, Trondheim.

6	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
Øvre	42,1	55,6	63,8	69,5
Midtre	43,6	88,3	94,7	92,5
Nedre	45,3	104,4	92,9	96,4
Snitt:	43,7	82,8	83,8	86,1
Avrenning:	1,9	1,4	0,7	0,4
Mengde:	15,4	21,0	17,7	17,4

Avvik:				
M/VN	1,3	1,8	1,5	1,5
Virkelig nedbør (mm)	Gj. Vindhastighet (m/s)		Gj. Vindretning (grader)	
11,41	1,5		208,6	
Regn (mm)	Blandingsnedbør (mm)		Snø (mm)	
0	8,04		3,36	

Vinden kommer skrått på med en overvekt mot rute nr. 1, men traff også noen av de øvre seksjonene. Det skal etter teorien kunne være forhøyet vind og dermed underestimert nedbør i rute nr. 1 og noen av de øvre seksjonene. Lav vind i denne perioden.

Leser av mengdene og ser at rute nr. 1 underestimerer i forhold til de andre rutene. Rute nr. 2 overestimerer i forhold til de andre rutene, dette er fordi rute nr. 2 samler opp snømengden som rute nr. 1 mister på grunn av vindeffekten.

Det største avviket mellom rute nr. 1 (15,4mm) og rute nr. 2 (21,0mm) er på 0,73 som er ett stort avvik. De forskjellige snømengdene i rutene overestimerer noe i forhold til den virkelige nedbøren.

Diskusjon snømålingene i Trondheim:

Det grønne taket på Risvollan ligg vindutsatt til. Formfaktorene har en effekt ved alle vindretninger mot det grønne taket. Det forskjellige snømålingene har en tendens til å komme med en overvekt mot rute nr. 1. Teorien sier da at rute nr. 1 vil få opphøyet vind og underestimerer nedbørmengdene inn mot de rutene.

Dette stemmer godt overens med observasjoner av taket som viser at rute nr. 1 underestimerer snømengder i vesentlig grad, når vinden kommer med overvekt mot denne ruten. Ser en klar tendens til at rute nr. 2 får opphøyet snømengde, som følge av at denne ruten samler opp snømengden som rute nr. 1 underestimerer.

Ser rute nr. 3 og rute nr. 4 samler stort sett opp samme nedbørmengden, men noen målinger underestimerer rute nr. 3 mye. Det er stort sett den øvre delen av rute nr.3 som underestimerer, dette kommer nok av når vinden kommer inn litt skrått på taket, vil den den øvre delen av rute nr. 3 bli blåst over i rute nr. 4. Det er en tendens til at rute nr. 4 får nedbøropphøying (i mye mindre grad enn rute nr. 2) i de tilfellene rute nr. 3 underestimerer.

Omfanget av underestimeringene er avhengig av hvilken type nedbør som falt og hvor stor vindhastighet som var registrert i måleperiodene.

Avviket mellom gjennomsnittene av rutene ligger mellom 0,65 - 0,79. Avviket blir enda større om en sammenligner de forskjellige målingene internt. Ser av resultatet av snø distribusjonen over taket varierer i mye større grad enn nedbør distribusjon over taket.

Avviket mellom virkelig nedbør og gjennomsnittet av rutene er veldig stort. Snømålingene både underestimerer og overestimerer i forhold til den virkelige nedbøren. Dette kan tyde på at snøprosedyren som blir brukt i nedbørsmålingene kanskje ikke er helt korrekt. Det er generelt flere feilkilder knyttet til distribusjon av snø over taket enn distribusjon av nedbør over taket. Det ligger flere lag med snø oppå taket. Dette kan også tyde på at de akkumulerte målingene kanskje ikke er helt korrekte når rute 1 får snømengde lik null i måling 4. Dette betyr at ingenting av den nyeste nedbøren falt over rute nr. 1. Det kan umulig stemme når nedbørmåleren som er plassert rett ved siden av måler over 9 mm nedbør.

Ser en klar tendens i perioder med lav avrenning og tilnærmet bart (snøfritt) på taket (måling 1 og måling 9) er avviket til den virkelige nedbøren liten (0,8-1,0). Da unngås feilkilder som flere lag med snø kan medføre, i tillegg unngås feilkilden som de akkumulerte avrenningsverdiene kan ha borte.

Ser en klar tendens fra snøbilder til at rute nr. 1 blir bar først. Dette har med at det legger seg ett tynnere lag med snø på denne ruten, og ett tynnere lag smelter raskere enn et tjukt lag.

7.4 Avrenning i perioden det var snø på taket:

Den akkumulerte avrenningen fra taket var bart den 14. januar og til alt av snø hadde smeltet fra taket cirka den 18. Mars vises i tabellen under. Finner da hvor mye nedbør som falt innenfor de forskjellige rutene i hele perioden det ble registrert snø på taket. Går ut ifra minimal fordamping fra taket.

Tabell 40: Total avrenning i hver rute fra 14. januar - 18. mars.

Virkelig nedbør	Avrenning Rute 1	Avrenning Rute 2	Avrenning Rute 3	Avrenning Rute 4
-----------------	------------------	------------------	------------------	------------------

153,57	151,0	193,0	153,9	165,6
--------	-------	-------	-------	-------

Diskusjon Avrenning:

Avrenningsverdien fra tabellen over sier noe om hvor mye snø som har vært innom de forskjellige rutene. Ser det faller betydelig mer nedbør på rute nr. 2 enn de andre rutene. Her sees tydelig trenden fra snømålingene. At rute nr. 1 og rute nr. 3 underestimerer i forhold til rute nr. 2 og rute nr. 4.

Sammenligner avrenningsdataene med den virkelige nedbøren registrert i måleperioden. Ser da tydelig at de akkumulerte avrenningene overestimerer i forhold til den virkelige nedbøren. Optimalt ville vært dersom den virkelige nedbøren lå ett sted mellom den høyeste avrenningen og den laveste avrenningen.

Dersom det stemmer at avrenningsdata overestimerer mer enn antatt vil dette medføre at snømålingene i punkt 7.3 vil få en ekstra stor feilkilde.

8 Usikkerhet:

Det er knyttet diverse usikkerheter til målingene utført i rapporten.

I deet etterfølgende presenteres de forskjellige usikkerhetene:

Usikkerhet generelt:

- Menneskelig usikkerhet ved målingene (øyemål, nøyaktighetsmålinger).
- Det blir gjort en antagelse at prøvene som blir tatt innenfor de forskjellige rutene tilsvarer hele rutens areal. Dette gjelder både for snømålinger og nedbørmålinger.
- Målehighden for instrumentet er antatt basert på plantegninger.
- Solforholdene kan bidra til at snøen smelter raskere noen deler av taket.
- Skal være forsiktig med å hevde at korregeringsformlene brukt i denne rapporten er den "virkelig mengden nedbør". Det er knyttet mange feilkilder til målingene, både systematiske og tilfeldige.

Måleusikkerhet:

- Det er ikke gjort noen fukt- og fordampingsprøver, dette blir bare antatt ut ifra et annet feltforsøk i et annet nordisk land.
- Under uthenting av data ble det oppdaget at dataseriene fra Sildre ikke er korrigert for sommertid. Dette medfører feil i datatidspunktene da det registreres med en times forskjell.
- Ser at ved mye nedbør får vi sikrere data enn ved lav nedbørmengde, dette kan for eksempel ha med at det ligger igjen vann i vippekaret og at noe av det første vannet går med til å fukte målerens areal.
- Vindhastigheter over 6m/s
- Når temperaturen er under 0°C
- Det er fortsatt knyttet en viss usikkerhet siden Florida stasjonen ligg mer åpent til og dermed mer eksponert for vind enn det grønne taket i Bergen.

Statisk kalibrering:

Manuelle nedbørmålere:

- Olje igjen i måleren fra forrige måling. (Dette medfører at de manuelle nedbørmålerne får en større masse)

- Regn eller snø når målingene settes ut. (Kan medføre at regn eller snø kommer opp i målerne som allerede er satt ut, mens jeg går rundt og setter ut de andre. Det er ikke snakk om noen stor feilkilde, siden det tar 1 minutt å sette ut målingene.)
- Adhesjon på de manuelle målingene, dette er mellom annet fordi målerne ikke har blitt helt vasket etter en hendelse, olje ligger litt i sidene og vannet fester seg i sidene istedenfor å komme ned og under oljehinna.
- Vannsprut kan skje med de manuelle målerne fordi tverrsnittet deres er så lite.

Snømålingsusikkerheter

- Is på botnen under snømålinger (vanskelig å få med hele vekten av prøven)
- Snø blåses bort etter at det har falt ned på ruten.
- Går ut ifra at det ikke er noe fordamping i perioden snøperioden, at all nedbøren som faller går til avrenning.
- Snø som ligger på en rute kan blåse over til en annen rute etter at nedbør har falt på taket..
- Opplever usikkerheten som større i perioder med mye avrenning. (Tror dette kan komme av at målemetoden til avrenningen kan være noe ustabil og upålitelig.)
- Snø-måleren overestimerer generelt med 10%, men er likevel en god indikasjon på snøfordelingen over taket.
- Snø-prøvene som blir tatt sies å kunne ha en målefeil på: Lesefeil +-4 cm

De akkumulerte avrenningsdataene ser ut til å være knyttet til feil. De akkumulerte datamengdene er basert på nivåmålinger i tank og areal på tanken på taket. Nivåmålingene er litt ustabile og det er mulig hovedfeilkilden ligger der.

9 Konklusjon

Alt feltarbeid (2. kalibreringer, 14. nedbørsmålinger og 6. snømålinger) gir en bred forståelse for hvordan nedbøren faller over tak.

Analysene viser at oppfangsvikten er betydelig større for snø enn for regn.

Oppfangstsvikten har derfor en tydelig temperatur korrelasjon.

Resultatet viser at formfaktoren på det grønne taket i Trondheim gjør at målingene blir påvirket av vindretningen i stor grad. Denne formfaktoreffekten fungerer ikke på samme måte for taket i Bergen, siden taket ligger inne på ett eksisterende tak.

Taket i Bergen vil ifølge teorien bare ha en formfaktoreffekt dersom vindretningen kommer inn ett sted mellom rute nr. 5 og nedre seksjonen på taket.

Nedbørsmålingene i Bergen bekrefter at formfaktoren ikke har noen effekt for de vindretningene som ble målt. Det vil ikke bli noen opphøyet vind og vi ser at variasjonene mellom rutene internt er små.

Det er få feilkilder for det grønne taket i Bergen når formfaktoren ikke har noe effekt. Når da målingene registrerer at avviket til den virkelige nedbøren er minimal, bekrefter dette at prosedyren med kalibrering av nedbør for å komme frem til virkelig nedbør fungerer.

Det vil derfor alltid være viktig å utføre kalibrering av uthentet nedbørdata.

Det å utføre en statistisk kalibrering er en enkel operasjon, som er typisk å glemme og gjøre regelmessig. Når man ser hvor stor feilkilde dette er, med en kalibreringsfaktor på 84 og 85% sees dette på som viktig prosedyre å utføre. Det burde være vanlig å utføre kalibrering ved installasjon av nedbørmåler. Det er en enkel øvelse som burde være obligatorisk å gjøre.

Målingene i Trondheim viser at målingene blir påvirket av formfaktoren på taket. Resultat fra de manuelle målingene viser at de forskjellige rutene avviker internt mellom hverandre med en faktor på 0,74-0,95. Resultatet fra snømålingene viser at de forskjellige rutene avviker mellom hverandre med en faktor på 0,65 - 0,79. Snø blir mer påvirket enn regn og blandingsnedbør over det grønne taket i Trondheim.

Trenden i målingene er at vinden kommer inn mot rute nr. 1 eller de øvre seksjonene. Det vil da oppstå en underestimering av rute nr. 1 og noen av de øvre seksjonene. Det vil videre skje en opphøyning av rute nr. 2, som følge av underestimeringen av rute nr. 1 lander på rute nr. 2. Vi ser også at rute nr. 3 kan underestimere og i de tilfellene vil normalt rute nr. 4 få en opphøyning. Akkumulerte avrenningsdata for perioden det var snø på taket bekrefter tendensen for målingene. Rute nr. 2 måler vestentlig større nedbørmengde enn de andre rutene og der rute nr. 1 og rute nr. 3 har lavest nedbørmengde, og rute nr. 4 har noe opphøyet nedbørmengde.

Korrigert virkelig nedbør avviker noe under de manuelle målingene og mye under snømålingene for taket på Risvollan. Dette viser at usikkerhetene som er tilknyttet punktmåling som skal representere ett areal.

Denne oppgaven har vist hvordan at vinden kan påvirker snø og regn fordelingen over takflater. Hvor mye forskjellige tak vil bli påvirket vil variere. Det vil derfor være viktig å se hvordan vinden påvirker de forskjellige rutene på alle grønne tak når rutene sammenlignes mot hverandre får å få ett best mulig resultat.

10 Kilder

Byggforskserien 471.043 Vindlaster på bygninger basert på NS-EN 1991-1-4:2005+NA:2009 Eurokode 1.

Chubb, T. og M. J. Manton (2015). "Estimation of Wind-Induced Losses from a Precipitation

Dixon, D. og S. Boon (2011). "Comparison of the SnowHydro snow sampler with existing snow tube design in southwestern Alberta Canada."

Gauge Network in the Australian Snowy Mountains."

Førland., Allerup., Dahlstøm., Elomaa., Jönsson., Madsen., Perâlâ., Rissanen., Vedin. og Vejen.

(1996). "Manual for operational correction of nordic precipitation data."

Førland., E., J. Mamen., A. V. Dyrddal., L. Grinde. og S. Myrabø. (2015). "Dimensjonerende kortidsnedbør."

Goodison, B. E., P. Y. T. Louie og D. Yang (1998). "WMO SOLID PRECIPITATION MEASUREMENT INTERCOMPARISON."

Habib, E., W. F. Krajewski og A. Kruger (2001). "Sampling errors of tipping-bucket rain gauge measurements." *Journal of Hydrologic Engineering* 6(2): 159-166.

Humphrey., M. D. og J. D. Istok. (1996). "A new method for automated dynamic calibration of tipping bucket rain gauges."

Lindholm, O., L. Nie og J. Bjerkholt (2007). "Klimaeffektens betydning for oppstuvninger og forurensningsutslipp fra avløpssystemer i byer. IMT-rapport NR. 16/2007."

Manual Lambrecht (2014).

Marsalek., J. (1980). "Calibration of the tipping bucket raingage."

Mekonnen, G. B., S. Matula, F. Dolezal og J. Fisak (2015). "Adjustment to rainfall measurement undercatch with a tipping-bucket rain gauge using ground-level manual gauges."

Metcalf., J.R. og B. E. Goodison (1993). "Correction of Canadian winter precipitation data, in Proceedings of 8th Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation." 338-343.

Michaelides., S., V. Levizzani., E. Anagnostou., P. Bauer., T. Kasparis. og J. E. Lane. (2009). "Precipitation: Measurement, remote sensing, climatology and modeling."

Nespor., V. og B. Sevruk. (1998). "Estimation of wind-induced error of rainfall gauge measurements using a numerical simulation."

Schilling, W. (1991). "Rainfall data for urban hydrology: what do we need?": 5-21.

- Sebruk, B. (1996). "Adjustment of tipping-bucket precipitation gauge measurements." *Atmospheric research* 42(1-4): 237-246.
- Stovin, V., G. Vesuviano og H. Kasmin (2012). "The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions." *Journal of Hydrology* **414**: 148-161.
- Strangeways, I. (2003). "Improving precipitation measurement."
- Tapiador., P. Turk og G.-O. Hou (2011). "Global precipitation measurement: Methods, dataset and applications."
- Upton, G. J. G. og A. R. Rahimi (2003). "On-line detection of errors in tipping-bucket rain gauges." *Journal of Hydrology* **278**(1-4): 197-212.
- VanWoert, N. D., D. B. Rowe, J. A. Andresen, C. L. Rugh, R. T. Fernandez og L. Xiao (2005). "Green roof stormwater retention: Effects of roof surface, slope, and media depth." *Journal of Environmental Quality* **34**(3): 1036-1044.
- Vasvari., V. (2004). "Calibration of tipping bucket rain gauges in the Graz urban research area."
- Yang., D., B. E. Goodison. og S. Ishida. (1998). "Adjustment of daily precipitation data at 10 climate stations in Alaska: Application of World Meteorological Organization intercomparison results."
- WMO (2008) "Measurement of precipitation."
- Ødegaard H, S. Sægvog, S Østerhus og S Thorolfsson (2012). "Vann- og avløpsteknikk."