

Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2018

Fakultet for realfag og teknologi

Nedbørmåling fra data i mobiltelefonnettverk – potensiale i Norge

Precipitation measurements from cellular
microwave links – its potential in Norway

Håkon Hoås

Vann- og miljøteknikk
Fakultet for realfag og teknologi

Abstract

Weather data is used for multiple purposes, from weather forecasts for individuals, to large costly projects. In recent times there has been a growing need for even better resolution of precipitation data. To meet the increasing need, research is being done on several different methods to improve the local resolution of rain data. One method of increasing popularity is precipitation from data in cellular networks. Commercial telephone networks are already well-developed and can be used to estimate rainfall-rates. These values can further be used to reconstruct rainfall maps with a resolution of 1km^2 .

The purpose of this study was to uncover the potential of using cellular networks in Norway to estimate rainfall levels. The study was conducted over an area in Ås, with 3 microwave links and a rain gauge from Meteorologisk institutt, with information from August to October of 2018. Data sets with 10-minute resolution were obtained from the rain gauge and received signal level was obtained with 5-minute resolution.

The study showed that the received signal level in the cellular network is largely affected by precipitation and has a linear correlation with precipitation intensity. Information from mobile providers and the national communication authorities in Norway indicates that Norway has a good selection of microwave links that concentrate around big cities.

Due to inaccurate rain rate values, further studies should be conducted regarding issues with uncertainties. In order to achieve the full potential of the cellular network, a good reference level should be established, wet-antenna effects should be adjusted for and spatial variability should be mapped.

Sammendrag

Værdata brukes til flere formål, fra værmeldinger for privatpersoner til store kostnadsstunge prosjekter. I nyere tid har det utviklet seg et økende behov for enda bedre oppløsning på nedbørdata. For å tilfredsstille det økende behovet forskes det på flere ulike metoder å forbedre den stedlige oppløsningen av regndata på. Én metode med økende popularitet er nedbørmåling fra data i mobiltelefonnettverk. Kommersielle telefonnettverk er allerede godt utbygd og kan brukes til å estimere nedbørmengder i radiolinjens bane. Disse verdiene kan videre benyttes til å rekonstruere nedbørskart med en oppløsning på 1km².

Hensikten med dette studiet var å avdekke potensiale for å bruke mobiltelefonnettverk i Norge til å beregne nedbør. Studiet ble gjennomført over et område på Ås, med 3 radiolinjer og en nedbørmåler fra Meteorologisk institutt, med informasjon fra august til oktober 2018. Datasett på 10. minutters oppløsning ble uthentet fra nedbørmåleren, og mottatt signalnivå ble uthentet fra radiolinjene med 5. minutters oppløsning.

Studiet viste at mottatt signalnivå i mobiltelefonnettverket påvirkes i stor grad av nedbør, og har en lineær sammenheng med nedbørintensiteten. Informasjon fra mobilleverandører og nasjonal kommunikasjonsmyndighet tilsier at Norge har et godt utvalg av radiolinjer som konsentrerer seg rundt storbyer.

På grunn av unøyaktige nedbørverdier, foreslås videre studier rundt problematikk med usikkerhetskilder. For å oppnå mobiltelefonnettverkets fulle potensiale burde et godt referansenivå etableres, våt-antenne effekter justeres for, og stedlig variasjon kartlegges.

Forord

Først og fremst vil jeg takke Gud, og min frelser Jesus Kristus, som har skapt meg og som forsørger meg. Du er grunnen til at jeg lever og ønsker å levere denne oppgaven. Jeg vil takke deg for all oppmuntring og hjelp gjennom en vanskelig periode i livet mitt. Jeg er takknemlig for din trofasthet, nåde og kjærlighet.

Jeg ønsker også å takke veilederen min, Vegard Nilsen, som har støttet meg og inspirert meg til gjennom hele denne perioden. Jeg ønsker å takke han for kommunikasjon med telefonleverandører og øvrige. Han har også vært svært behjelpelig med å lede oppgaven i riktig retning.

Jeg ønsker å takke mine nære venner, Ali Reza Ali Mohammadi, Ole Bendik Lilleby og Dagfinn Hafnor som har oppmuntret meg og hjulpet meg i denne tiden. Jeg er takknemlig for å ha så gode folk rundt meg.

En spesiell takk til Sairan Isabelle Ibrahim, som alltid har stilt opp for meg når jeg har trengt det. Hun har gitt meg motivasjon til å fokusere på oppgaven og gitt meg et spark bak om nødvendig. Takk for at du alltid har hatt troen på meg og fått meg til å le, uansett situasjon. Jeg er enormt takknemlig for å ha deg i livet mitt.

Jeg ønsker også å takke familien min, mine foreldre, brødre, og onkel som har støttet meg og heiet meg fram. Takk til foreldrene mine som har gjort det mulig for meg å studere. En spesiell takk til onkel, Dagfinn Berge, som har gitt meg inspirasjon og ideer til ledetråder for oppgaven.

Innholdsfortegnelse

.....	Introduksjon
.....	9
1	og bakgrunn 9
1.1	Innsnevring av oppgaven 10
1.2	Mål og problemstilling..... 10
1.2.1	Mål 10
1.2.2	Problemstilling..... 10
1.3	Behovet for nedbørdata i urbanhydrologi..... 11
1.3.1	Flom- og værvarsling..... 11
1.3.2	Overvannshåndtering 12
1.4	Konvensjonelle metoder 13
1.4.1	Direkte målemetoder 13
1.4.2	Indirekte målemetoder..... 14
1.5	Ikke-konvensjonelle målemetoder 15
1.5.1	Private værstasjoner 15
1.5.2	Vindusviskerfrekvens på biler..... 15
1.5.3	Satellitt 15
1.6	Data fra mobiltelefonnett 16
1.6.1	Signalteoriens utvikling relasjon til nedbør..... 16
.....	Metode
.....	18
2 18
2.1	Modeller for nedbørsberegning..... 18
2.1.1	Formelverk 18
2.1.2	Polarisering 19
2.1.3	Usikkerhet og sammenligning med tradisjonelle målinger 21
2.2	Tidligere erfaringer fra Norge 23
2.3	Forsøksområde 24
2.3.1	Radiolinjer på Ås 24
2.3.2	Rustadskogen – meteorologisk målestasjon 25
2.4	Datainnsamling 26
3	Resultater..... 27
3.1	Dekning og tilgang til data fra mobiltelefonselskapene 27
3.2	Beregningsmodell 29
3.2.1	ITU formler 29
3.2.2	Referansenivå..... 30
3.2.3	Våt-antenne 32

3.2.4	Forskjell mellom radiolinjene	33
4	Diskusjon.....	34
4.1	Innhenting av informasjon	34
4.1.1	Mottatt signalnivå-data fra telefonleverandører.....	34
4.1.2	Nedbørdata fra pluviometer.....	34
4.2	Gjennomføring av forsøket.....	35
4.3	Prinsipielt potensiale	36
4.4	Mulighetene i Norge	36
5	Konklusjon.....	37
6	Kilder.....	37

Figur liste:

Figur 1 viser et optimalisert radiolinjenettverk. Kilde: Giuli o.a. 1991, fig 1b i (Messer og Sendik 2015).	17
Figur 2 illustrerer horisontal og vertikal polarisering når en telefonmast sender med dobbel polarisering.....	20
Figur 3 viser forskjellen mellom en radiolinje med horisontal og vertikal polarisering.	20
Figur 4 viser kart over Ås med de tre radiolinjene, og målestasjonen på Rustad. Kilde: Google Maps, og (Josefsson 2018).	25
Figur 5 viser frekvensbåndene i Telia sitt telefonnettverk. Kilde (Josefsson 2018).....	27
Figur 6 viser lengdene på radiolinjene i Telia sitt telefonnettverk. Kilde (Josefsson 2018). ...	28
Figur 7 viser frekvens i GHz (x-aksen) mot avstand i meter (y-aksen) for radiolinjene i Telia sitt nettverk. Kilde (Josefsson 2018)	28
Figur 8 viser mottatt signalnivå (blå) langs radiolinje plottet mot nedbørintensitet (mm/t - grønn) ved Rustad-målestasjon. Kilde (Josefsson 2018).....	30
Figur 9 viser beregnet nedbørintensitet i mm/t, beregnet uten kalibrering (blå) og referansenivå-kalibrerte verdier (grønn). Kilde(Josefsson 2018).....	31
Figur 10 viser nedbørmålingene fra radiolinje 1 (blå) med to ulike polariseringer og nedbørmålingene fra pluviometeret (grønn).....	31
Figur 11 viser nedbørmålinger fra radiolinje 1 med vertikal polarisering, mot pluviometerverdier. Kilde:	32
Figur 12 viser målinger fra de tre radiolinjene sammenlignet med pluviometeret	33

Tabell liste:

Tabell 1 viser en sammenligning mellom Schillings «ideal scenario» og ulike målemetoder.

Forkortelser

ITU – Internasjonale Telekommunikasjons Union

MET – Meteorologisk Institutt

MSN – Mottatt Signalnivå

NKOM – Nasjonal Kommunikasjonsmyndighet

NMBU – Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet

NRK – Norges Riksringkasting

NVE – Norges vassdrags- og energidirektorat

SGNM – Strekningsgjennomsnittlig Nedbørsmengde

VAV – Oslo kommunes Vann- og Avløpsetat

1 Introduksjon og bakgrunn

Behovet for å observere værphenomener som snø, regn og hagl er kjent for de fleste. Om man jobber med å dimensjonere bygg og infrastruktur eller om man lurer på om man kan ta sykkelen til jobb den dagen. Hydrologer og meteorologer jobber derfor kontinuerlig med å gi best mulig data tilgjengelig så enkelt som mulig. Det kan være statistiske data fra en nedbørmåler med historikk tilbake til 1970 som brukes til å dimensjonere overvannsledninger, eller satellitt-bilder fra de siste 24 timer som sier noe om hva vi har i vente det neste døgnet.

Ulike observasjonsmetoder har sine fordeler og ulemper. Man velger derfor observasjonsmetode med omhu i forhold til hvilket bruksområde man har. Metoder som satellitt-bilder og radar dekker store områder og kan gi en visuell representasjon av værebildet, men kommer i bekostning av målenøyaktighet. Det kan vel tenkes at du har opplevd at værmeldingen har tatt feil en gang eller to. I motsatt ende har man nedbørmålere som kalibreres og finjusteres til å gi en mest mulig nøyaktig oppsamling av nedbøren. Disse målerne har dog sin svakhet i at de kun måler nedbøren over det lille arealet målekoppen spenner om. I realiteten vil nok ikke hydrologer og meteorologer benytte seg kun av én observasjonsmetode men gjerne en sammensetning av flere.

I nyere tid er det en målemetode som har blitt gradvis mer aktuell, nemlig måling av nedbør ved bruk av Mottatt Signal Nivå (MSN) i radiolinjer. Et radiosignal sendes ved en gitt styrke, utsendt signal nivå, og MSN observeres i den andre enden. Forskning har vist at tapet i signalstyrke mellom to radiomaster er drastisk større når det regner enn ved tørre perioder. Det har derfor vært interessant å utvikle metoder for å benytte MSN-data til å estimere hvor mye regn som har falt langs radiolinjen. Målingen vil gi en Strekningsgjennomsnittlig Nedbørsmengde (SGNM) som er et estimat av nedbøren langs radiolinjen. Nedbøren vil i realiteten ikke fordele seg jevnt langs linjen men heller variere fra sted til sted. En rekonstruksjon av nedbørskart må ta hensyn til denne unøyaktigheten, ofte ved å sammenfatte målinger fra flere radiolinjer.

Kommersielle telefonnettverk overfører sin informasjon via kabler, ofte fiber, eller trådløst. Der det er hensiktsmessig har man valgt å sende et trådløst signal fra én mast til en annen, uavbrutt og utilgjengelig for andre enheter. Det er denne delen av telefonnettverket, på engelsk kalt «backhaul-network», som har vært av interesse for forskere på dette feltet. Ved å benytte eksisterende infrastruktur vil hydrologer og meteorologer kunne utvide sin måledatabase betraktelig med minimalt med investeringskostnader.

Estimering av nedbør ved bruk av MSN-data er forsket på i Europa og noe i Norden, men aldri i Norge. Denne oppgaven vil derfor gi et innblikk i hvilke muligheter som finnes, prinsipielt og praktisk, for at også Norge skal kunne benytte seg av denne teknologien.

Oppgaven deles opp i følgende kapitler:

1. Introduksjon og bakgrunn
2. Metode
3. Resultater
4. Diskusjon
5. Konklusjon

1.1 Innsnevring av oppgaven

Denne oppgaven er ment å gi et overordnet bilde av potensialet for bruken av mobiltelefonsignaler for estimering av nedbør i Norge. Elementære fysiske prinsipper som inngår i estimatet vil bli forklart, men hovedvekten vil ikke ligge på signalteorien. Usikkerhetskilder som våtante, luftfuktighet, temperatur, vindhastighet og andre fysiske faktorer vil bli forklart i korthet men ikke studert.

Et eget forsøk ble utført på Ås under en nedbørepisode i august-oktober 2018. Her sammenlignes et estimat fra Telias signaldata, og verdier fra nedbørmåleren til Meteorologisk institutt (MET). Hensikten med forsøket var å gjøre en første beregning i Norge med ekte teledata og gjøre en enkel sammenlikning med pluviometerdata fra målestasjonen.

1.2 Mål og problemstilling

1.2.1 Mål

Hensikten med denne oppgaven er å gi et introduserende innblikk i nedbørberegning ved bruk av signaltap i et mobiltelefonnettverk. Teknologien er fremkommende og særlig aktuell da den benytter eksisterende infrastruktur til å beregne nedbørmengder i en større skala enn tidligere. Både med hensyn på antall datapunkter men også med hensyn på landområde som dekkes av målemetoden. Ved å vise til erfaringer fra andre land vil jeg peke på de muligheter som finnes for å utnytte denne teknologien også i Norge. Et forsøk vil bli utført for å innhente erfaringer og problemstillinger som oppstår ved bruken av signaltapsdata.

1.2.2 Problemstilling

Arbeidet med oppgaven har hatt følgende problemstilling:

1. Er det en sammenheng mellom signaltapet i radiolinjer og nedbørintensitet?
2. Hvordan er potensialet for å benytte data fra mobiltelefonnettverk i Norge?
3. Er det noen utfordringer som må håndteres?

1.3 Behovet for nedbørdata i urbanhydrologi

Urbane områder preges av fortetning som hindrer naturlig drenering gjennom overflaten. Vannet akkumuleres og må bevisst ledes videre med dimensjonerte overvannsløsninger. Store regnskyll kan likevel overbelaste infrastrukturen og føre til oversvømmelser og flom. Kortvarige intense regnskyll er særlig problematiske og benyttes ofte som dimensjonerende vannføring. Hydrologiske flomundersøkelser benyttes til å kartlegge evnen et område har til å lede vannet bort. Simuleringer basert på nedbørdata fra de nærmeste målestasjonene er ment for å bevisstgjøre om mulige faresoner hvor tiltak blir nødvendig. For utbygning og renovering av kloakksystemene i industrialiserte land mener Schilling (1991) at regndatabasen må forbedres med hensyn til oppløsning (Schilling 1991). Mer om det i kapittel 1.3.2.

Alexander Pham i Oslo kommunes vann- og avløpsetat (VAV) forteller om et behov for økt oppløsning på nedbørdata. Etaten har 29 tilgjengelige nedbørstasjoner, hvor enkelte er i samarbeid med MET. Selv om byen er forholdsvis godt dekket av målestasjoner, i forhold til mange andre byer, er det ønskelig med enda bedre oppløsning på nedbørdata, gjerne med en oppløsning på 1x1km. Pham vektlegger særlig problematikk med korttidsnedbør som kan være omfattende et sted i byen og nesten ikke eksisterende et annet sted. Forebyggende tiltak mot oversvømmelser og flom har derfor nytte av en kjennskap til det lokale klima og infrastruktur på en mer detaljert måte (Pham 2018).

1.3.1 Flom- og værvarsling

Det er flere eksempler på hendelser hvor liv og store verdier er gått tapt på grunn av ekstremvær. Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) jobber sammen med MET for å stadig oppdatere sine metoder og varslingsrutiner for å forhindre mest mulig ødeleggelse. Eksempler som flommen i Ottadalen i Oktober 2018 (Lofstad 2018, NRK 2018) viser at varslingsrutinene har et forbedringspotensial. Omfanget av hendelsen ble undervurdert av metodene som baseres på bruk av værradar, og varslingen forsinket. NVE sier til NRK at de forventer flere kortvarige intense nedbørepisoder i fremtiden, og at radaren har sin utfordring når det kommer til hyppig responstid. Mer om værradar i punkt 1.4.2.1.

Det er ikke bare data fra værradar som er av nytte for flomvarsling. Værinformasjon fra satellitt og nedbørmålere er også av interesse. Statistikk fra tidligere nedbørepisoder benyttes i avrenningsmodeller som sier noe om hvis og til hvilken grad elvene i det aktuelle område vil oversvømmes ved et gitt nedbøromfang. Forskning (Bell og Moore 2000) har vist en stor spredning på målinger fra ulike nedbørmålere innenfor samme nedslagsfelt. I følge (Moore, Bell o.a. 2005) er det slike resultater som stimulerer videre forskning for å bedre den romlige oppløsningen på nedbørestimater. (David, Alpert o.a. 2013) mener data fra kommersielle mikrobølgenettverk kan være løsningen på behovet for bedre stedlig oppløsning. Det kommersielle nettverket kan dekke store områder med flere linjer, som åpner mulighetene for

et mer detaljert rutenett. (Bell og Moore 2000) benyttet et rutenett med oppløsning 2km, 5km og 10km ved bruk av radar og nedbørmålere, med 15 minutters tidsintervall. I Norge er, ifølge Sintef, de fleste radarene med en oppløsning på 1km, men nedbørmengdene er likevel vanskelig å estimere (Sintef 2018). Dette gir rom for å forbedre avrenningsmodellene med å supplere med nedbørmålinger fra eksempelvis mikrobølgenettverk.

1.3.2 Overvannshåndtering

Som følge av økte investeringer i urban drenering og flomhåndtering etterlyser Schilling (1991) en økt oppløsning på nedbørdata. Med en stadig fortetning i byene og økte klimaeffekter må større mengder vann håndteres enn tidligere. Kommunale ledninger må oppdimensjoneres og nye løsninger påtenkes. Schilling fremhever svakheter ved den konvensjonelle arbeidsmetoden med intensitet-varighet-frekvens-kurver, hvor en anvender står til fare for å benytte statistiske data fra en værstasjon i et mindre representativt område. Et optimalt scenario, vil ifølge Schilling, være data med historikk på over 20 år, tidsoppløsning på 1 minutt, stedlig oppløsning på 1 km², tidssynkroniseringsfeil på under 1 minutt, volumetrisk nøyaktighet på <3% og en loggføring uten brudd. (Schilling 1991) Schilling trodde ikke en slik ideell situasjon ville inntreffe, med tanke på at antallet av pluviometer- og datamengden som ble produsert ville være for omfattende.

Tabell 2 viser en sammenligning mellom Schillings «ideal scenario» og ulike målemetoder.

	«Ideal scenario»	Radiolinjemålinger	Pluviometer	Radar
Historikk	20 år ^a	-	> 20 år	-
Tidsoppløsning	1 minutt ^a	1 minutt ^{b*}	10s ^e - 1 minutt ^c	7.5 minutt ^d
Stedlig oppløsning	1 km ² ^a	1 km ² ^b	-	1km ² ^d
Tidssynkroniseringsfeil	< 1 minutt ^a	-	-	-
Volumetrisk nøyaktighet	< 3% ^a	3% ^b	2-5% ^c	-
Loggføring	Uavbrutt ^a	-	-	-

Hvor ^a er hentet fra (Schilling 1991), ^b er hentet fra (Rayitsfield, Samuels o.a. 2012), ^c er hentet fra (MET 2018), ^d er hentet fra (Vatne og Hveem Kjølseth 2017), ^e er hentet fra (Josefsson 2018).

Tabell 1 viser det ideale scenarioet som Schilling presenterte sammenlignet med flere av dagens målemetoder. Flere av parameterne kan variere fra enhet til enhet, men visse trender gjentar seg. Å ha en god historikk på måledataene er viktig for å kunne gjøre et estimat på fremtidens hendelser. Dette brukes ofte i dimensjonering, hvor man kan bruke 50, 100 eller 200års regn som dimensjonerende vannføring. Dersom historikken er kort har man et dårlig grunnlag for å predikere slike fremtidige hendelser. Pluviometer målinger har per dags dato den beste historikken ettersom at MET har loggført dataene kontinuerlig siden oppstart av den enkelte enhet. For radiolinjemålinger er det opp til hver enkelt telefonleverandør hvor lenge

man har lyst til å lagre signaltapsdata. Disse dataene kan når som helst uthentes og brukes til å estimere nedbørmengder, men det er å forvente at disse dataene slettes med jevne mellomrom med hensyn til lagringskapasitet. Tidsoppløsningen av målingene varierer også mellom metodene, men pluviometer og radiolinje-målinger tilfredsstiller Schilling sitt forslag om oppløsning på 1 minutt. (Rayitsfield, Samuels o.a. 2012) brukte en tidsoppløsning på 1 minutt for nedbørmåling med MSN-data. Likevel er det mulig å få en oppløsning ned til 10. sekunder (Josefsson 2018) som gir radiolinje-målinger et fortrinn. Den stedlige oppløsningen hos de ulike målemetodene sier noe om hvor nøyaktig målemetoden dekker et område. Pluviometeret må interpolere verdiene over større områder, så den stedlige oppløsningen kan variere stort fra enhet til enhet. Radiolinjemålinger er også avhengige av flere målere men kan oppnå en oppløsning på 1km², som er den samme som radaren kan oppnå. Tidssynkroniseringsfeilen sier noe om enhetens avvik fra sentrale tidstakninger. For moderne utstyr regnes denne feilen for å være minimal ettersom at det meste synkroniseres godt over internett. Den volumetriske nøyaktigheten kan variere for ulike pluviometre, men også for ulike nedbørintensiteter. Pluviometeret kan oppnå Schillings forslag om under 3% volumetrisk nøyaktighet, mens radiolinje-målingene er i grenseland. Loggføring av nedbørmålinger regnes for å være konstante men vil kunne oppleve hendelser med brudd, eksempelvis som følge av strømtap eller hærverk. Den største faktoren som skiller målemetodene her er redundansen. Værradaren er den mest sårbare med forholdsvis få enheter på landsbasis. En feil i en av radarene vil medføre en «mørklegging» av store områder sammenlignet med en nedbørmåler. Metoden med størst redundans er radiolinje-målingene som har flere telefonmaster i samme område.

1.4 Konvensjonelle metoder

1.4.1 Direkte målemetoder

Direkte målemetoder består i ulike måter å samle nedbør på. Blant disse finnes vippekar, vektmåler og optiske målere. Metodene regnes for å være nøyaktige med relativt høy tidsoppløsning, men har sine svakheter. Kilder til feil ved anvending kan være mikroturbulens, regnskygge eller mindre relevant plassering. Nedbør er uforutsigbar, kan være spredt over ulike områder og til en viss grad unngå målestasjonen. (Bianchi, van Leeuwen o.a. 2013)

1.4.1.1 Vippekar

Vippekar, også kjent som vippepluviometer, fungerer ved at et standardvolum fylles opp og tømmes. Disse repetisjonene telles og gir grunnlag for regnintensiteten i en våt nedbørsepisode. Vippekar har relativt høy oppløsning på 0.1 mm med målenøyaktigheter på ± 0.1 mm for mengde under 5 mm, $\pm 2\%$ for mengde over 5 mm. Målenøyaktigheten for regnintensitet er ± 0.1 mm/time for intensitet 0.2-2.0 mm/time, og $\pm 5\%$ for intensitet over 2

mm/time. Det vil si at et vippekar er mest nøyaktig i mer intensive nedbørsepisoder, som har gjort at MET i hovedsak velger å benytte seg av data fra slike målere til analyse av ekstremhendelser og i klimarapporter. Det legges til at data fra vippekar også brukes til dimensjonering av avløp, utbyggingssaker, ulykkes- og forsikringssaker tilknyttet flom og jordskred. (MET 2018)

1.4.1.2 Vektmåler

Vektmåler fungerer ved at en bøtte akkumulerer nedbør, veier nedbøren for så å foreta beregninger som gir nedbørsmengde gitt i mm. Vektmålere egner seg godt til helårsbruk ettersom at de ofte er utstyrt med oppvarming og/eller frostvæske, som gjør at snø smeltes og måles i flytende form. Oppløsningen er på 0.1 mm med en målenøyaktighet på ± 0.2 mm for mengde under 10 mm, og $\pm 2\%$ for mengde over 10 mm (MET 2018).

1.4.1.3 Optiskmåler

Optiske målere fungerer ved at et visuelt signal sendes og observeres over en kort avstand. Der signalet brytes måles størrelsen og hastigheten på det objektet som observeres. Denne informasjonen brukes til å klassifisere nedbørstype og til en viss grad nedbørintensiteten. En rapport fra MET tilsier at slike målere har på generell basis en begrenset evne til å bestemme små intensiteter, små partikler, blandingsnedbør og spesielt hagl. Den samme rapporten konstaterte derimot at de optiske målerne som ble benyttet i undersøkelsen fungerte bra med hensyn på mengdemåling av regn (Wolff, Isaksen o.a. 2013).

1.4.2 Indirekte målemetoder

Indirekte målemetoder er et samlebegrep for nedbørsmåling som ikke baseres på direkte samling av nedbør men heller på estimer basert på korrelasjonsfaktorer. Blant disse er radar den mest brukte og anerkjente metoden hvor man benytter radarbølger og dets refleksjon til å beregne nedbørmasser.

1.4.2.1 Værradar

Værradar fungerer ved at radiobølger sendes ut, reflekteres og avleses. Disse avlesningene gir grunnlag for måling av retning og avstand til nedbøren. I Norge er det mest vanlig med c-båndradar med en rekkevidde på 240km og en oppløsning 1kmx1km med signalmottak hvert 7.5 minutt. Meteorologisk institutt disponerer i tillegg en mobil x-båndsradar med rekkevidde på 50km, oppløsning på 250mx250m og signalmottak hvert minutt (Vatne og Hveem Kjølsseth 2017).

1.5 Ikke-konvensjonelle målemetoder

1.5.1 Private værstasjoner

Private værstasjoner er langt mer tallrike enn værstasjonene som eies av meteorologisk institutt. MET eier mellom 200 og 300 værstasjoner, og har ytterligere tilgang på om lag 300 andre stasjoner fra interessenter som Statens vegvesen, Bane NOR, NVE, og Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO). En privat leverandør av værstasjoner, Netatmo, vil ikke oppgi sine tall men kan anslås å være i tusentallet. MET har nylig tatt i bruk private værstasjoner, levert av nettopp Netatmo, for å få en bedre stedlig oppløsning på sine værddata. Tidligere har MET kunne levere temperaturdata med en oppløsning på 2.5km x 2.5km, men er nå i stand til å levere ved 1km x 1km til værvarslingstjenester som Yr. Datagrunnlaget kan variere i forhold til hvor i landet man bor, da værstasjonene er avhengig av privat interesse. Eksempelvis er tettheten er særlig høy i byer som Oslo, og heller særlig lav i indre østland og Nord-Norge (MET 2018).

De mest vanlige private værstasjonene måler i hovedsak temperatur, men det finnes moduler som kan måle nedbør. Nedbørmodulene til Netatmo er instruert med et vippekar, men er mindre utbredt da disse må kjøpes som en tilleggspakke. (Netatmo 2018) MET håper på å kunne benytte nedbørdata fra slike stasjoner for å bedre nedbørvarselet. Sommerbygene er da en særlig motiverende faktor da disse kan være intensive og lokale.

1.5.2 Vindusviskerfrekvens på biler

Rabiei o.a. (2013) har bevist en sammenheng mellom vindusviskerfrekvens på biler og nedbørintensitet. Både automatiske og manuelle vindusviskere, i tillegg til optiske sensorer, ble undersøkt i en simulering av ulike nedbørstyrker. Sterkest ut kom de manuelt styrte vindusviskerne som viste en lineær sammenheng med vippekar-måleren. Sammenhengen kan likevel variere, ettersom at manuelle vindusviskere er avhengige av førerens preferanser. Selv om eksperimentet viste en sammenheng presenteres det likevel usikkerhet tilknyttet kjøretøyets hastighet, vindhastighet, dråpestørrelse, vinkel på frontrute og frekvensen som kan variere fra bilprodusent til bilprodusent (Rabiei, Haberlandt o.a. 2013).

Som følge av mange usikkerhetsfaktorer blir ikke denne metoden diskutert noe ytterligere. Eksperimentet bidro likevel med å belyse behovet for en økt dekningsgrad av nedbørmålinger, med tanke på stedlig og tidsmessig oppløsning. Hvor det finnes flere mulige fremgangsmåter. Utenom vindusviskerfrekvens nevner Rabiei o.a. (2013) nedbørintensitetsmåling fra satellitter og akustikk.

1.5.3 Satellitt

Satellittbilder kan fremstilles optisk eller som følge av mikrobølgesignaler. Innhenting av slike bilder har hatt som hensikt å presentere en global oversikt over klimatilstanden. I Afrika har

Grimes og Diop (2003) vært særlig interessert i å danne et teknisk fundament for god flomvarsling. Ved å estimere nedbørmengder fra satellitt vil man kunne dekke områder med dårlig dekning av andre nedbørmålere. Et varslingsystem med en daglig oppløsning vil kunne forhindre tap av liv og eiendom, bedre operasjon av demninger og effektivisere irrigasjon av landbruk. For å bedre dekningen av meteorologiske data undersøkte de bruken av satellittbilder. Ved å kalibrere bildene opp mot måledata fra målestasjoner ble datagrunnlaget forbedret, men likevel ikke god og pålitelig nok til å anvendes i første omgang (Grimes og Diop 2003).

Avhengig av om satellitten er geostasjonær eller polarkretsende vil prøvetakingsintervallet være på mellom 30 sekund til hver 16 dag. I tillegg til muligheter for god tidsmessig oppløsning har metoden god punktlighet for mer øde og mindre befolkede områder. Kidd (2001) påpeker at selv om satellitter evner å måle nedbør på en effektiv måte er det usikkerheter tilknyttet metoden. Særlig relevant for Norge er utfordringer med gode måledata over sjøområder og kaldt klima (Kidd 2001).

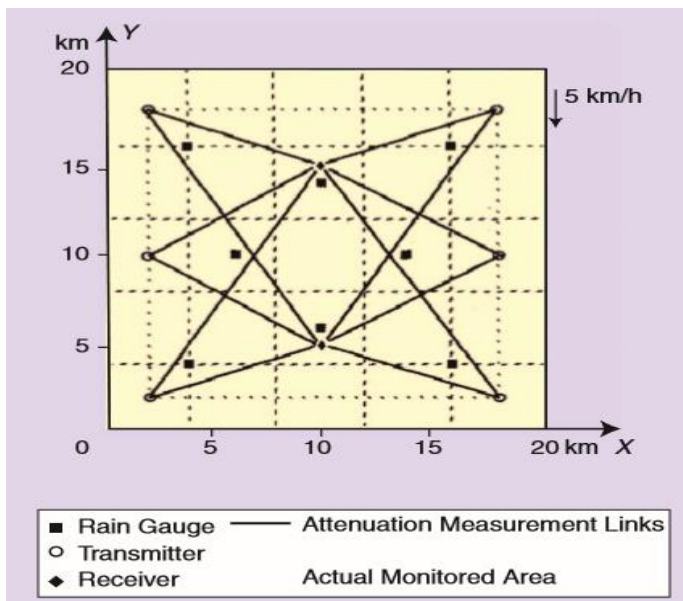
1.6 Data fra mobiltelefonnett

I nyere tid har estimering av nedbør med bruk av kommersielle radiolinjer fra mobilnettet vært i økende akademisk popularitet. Forskning rundt temaet har avdekket feilkilder og forslag til løsninger på disse. Informasjon sendes mellom telefonmaster enten gjennom fiberkabler eller ved bruk av radiosignaler. Der radiosignal benyttes vil en avsender notere signalstyrken på sendt signal og mottaker notere signalstyrke på mottatt signal. Forskjellen mellom sendt og mottatt signalstyrke regnes som signaltapet. Forskning har vist at dette tapet har en sammenheng med hvor mye nedbør som passerer i radiosignalets bane (eks. Messer o.a. (2006), Lejinse o.a. (2007)). Radioantenne er plassert noen titalls meter over bakken, i sammenligning med konvensjonelle målestasjoner som er plassert 2 meter over bakken og radar som er plassert over 500 meter over bakken (Ericsson 2016). En slik nærhet til overflaten gir mobilnettet et forholdsvis realistisk estimat av nedbørmengdene. Metodikken vil derfor kunne regnes for å være mer detaljert enn radar, men mindre nøyaktig enn målestasjoner på punktlig basis.

1.6.1 Signalteoriens utvikling relasjon til nedbør

Et teoretisk grunnlag om signaldempning som følge av blant annet skyer, regn og hagl dateres tilbake til 1940-tallet. I England publiserte General Electric Co. Research Labs, ved J.W. Ryde og D. Ryde, flere rapporter for å konstatere dette fenomenet (Ryde 1941, Ryde og Ryde 1944, Ryde og Ryde 1945). Rapportene fremviste en sammenheng mellom nedbørintensitet og signaldemping, som senere er blitt etterprøvd og bekreftet (Okamura og Oguchi 2010).

På 1960-tallet tok Japanske forskere resultatene fra Ryde og Ryde videre. Undersøkelsene gav forskerne et uventet resultat da de oppdaget at størrelsen på signaldempningen var avhengig av om svingningene på signalet ble sendt i horisontal eller vertikal retning. Det viste seg at dempingen var større for horisontal polarisering av signalet. Årsaken til dette fenomenet presenteres av (Okamura, Funakawa o.a. 1961) som følge av regndråpenes form. Fotografiske undersøkelser (Magono 1954) viste at større dråper tenderer til å ha en flat bunn, og er dermed asymmetriske om det horisontale planet. Dette var ifølge Okamura og Oguchi årsaken til at polariseringen av signalet påvirket signaldempningen (Okamura og Oguchi 2010).



Figur 1 viser et optimalisert radiolinjennettverk. Kilde: Giuli o.a. 1991, fig 1b i (Messer og Sendik 2015).

Fundamentet med signalteori ga utspring til anvendelse. På 1990-tallet ble det foreslått å bruke sammenhengen mellom signaldemping og nedbørintensitet til å rekonstruere et nedbørskart (Giuli, Toccafondi o.a. 1991, Giuli, Facheris o.a. 1999). Nedbørskartet besto av flere målepunkter som dannet et optimalisert radiolinjennettverk for å måle nedbør. Nettverket ble designet for å dekke nedbørfeltet på 20kmx20km med til sammen 8 antenner, hvor 6 antenner var sendere og 2 mottakere. Det ble også plassert 8 regnmålere som referansepunkt. Forsøket viste at ved samme nedbørepisode ville mikrobølgenettverket gi en bedre dekning av området enn hva regnmålerne ville. Dette skyldes den avstandsgjennomsnittlige beregningsmodellen som beregner nedbøren langs hele radiolinjen istedenfor den punktlige målingen som regnmålerne har.

Optimaliserte radiolinjennettverk med hensikt å beregne nedbør er meget nøyaktige og dekker et område godt, men kan være lite pragmatiske å etablere. Et slikt nettverk vil være kostbart å bygge ut og kreve mye ressurser. Ettersom at kommersielle telefonselskaper allerede eier

mikrobølgenettverk med relativt god dekning ble det på 2000-tallet foreslått å bruke disse til nedbørmåling (Messer, Zinevich o.a. 2006). Teleoperatørene har en egeninteresse om å ha tilstrekkelig med kapasitet og rekkevidde for sine abonnenter. Det bygges derfor radiolinjer med korte avstander og relativt høye frekvenser rundt storbyene, som har vist seg å være spesielt gode for nedbørestimering (Messer og Sendik 2015).

Ved å sammenligne MSN-beregninger med tradisjonelle nedbørmålere og C-båndsradarer kom Leijnse o.a. (2007) frem til at metoden var konkurransedyktig, dersom man tok høyde for noen usikkerhetskilder. Problemområdene som kom frem var å danne et godt referansenivå for signalet, ha høy oppløsning i dB, justere for våt antenne-effekten og ha en høy oppløsning på målingsintervallene (Leijnse, Uijlenhoet o.a. 2007). Usikkerhetskildene blir bedre forklart i kapittel 2.2.2.

Etter videre forskning (Messer og Sendik 2015) har problemområdene blitt mer nyansert med tanke på innvirkning på sluttresultatet. I synkende rekkefølge vil nedbørens stedlige variasjon, valg av referansenivå, distribusjon av dråpestørrelse, våt antenne-effekten og oppløsningen på MSN-dataen ha størst påvirkning på resultatet.

2 Metode

Nedbørintensitet og signaltap har en nær lineær sammenheng. For mobilselskapene har det vært interessant å beregne seg fram til signaltap ut ifra en gitt nedbørintensitet, mens for meteorologien er det interessant å gjøre det motsatte. Signaldempning i radiosignaler kan stamme fra ulike årsaker. Beregningsmodeller for nedbør må derfor forsøke å eliminere bakgrunnsstøy, i form av våt-antenne, vind-deformasjon og annet, for å gi et godt estimat av nedbørintensiteten. Disse faktorene beregner man omfanget av og subtraherer fra det mottatte signalnivå. I nedbørforsøket på Ås ble det tatt utgangspunkt i formelverket fra ITU, med justeringer for referansenivå.

2.1 Modeller for nedbørsberegning

2.1.1 Formelverk

Den internasjonale telekommunikasjonsunionen (ITU) har produsert et formelverk, ITU-R P.838-3, som grunnlag for beregning av signaldempning som følge av regn. Formelverket har blitt publisert i 1992, 1999, 2003 og 2005, hvor det er sistnevnte som blir brukt i denne oppgaven. Gitt at det er et behov for å måle signaldemping som følge av regn, ønsket ITU å sammenfatte noen beregningsmodeller til sine medlemmer, som bl.a. Telenor. Beregningsformelen kalles på engelsk «power-law relationship» og er uttrykt på formen:

$$\gamma_R = kR^\alpha$$

Hvor γ_R er spesifikk signaldemping (db/km), R er regnintensitet (mm/t), k og α er koeffisienter som er avhengig av frekvens og polarisering. α er som regel et tall i nærheten av 1, mens k kan variere og er ofte under 0.5. Teleselskapene bruker denne formelen for å beregne signaldempingen som kan oppstå når de vet nedbørintensiteten. På en slik måte kan man planlegge nye radiolinjer med minst mulig signaldemping langs linjen.

For å observere nedbørintensiteten langs en eksisterende linje tar man utgangspunkt i signaldempingen for å finne nedbørintensiteten:

$$R = \left(\frac{\gamma_R}{k}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

Valget av koeffisientene k og α vil utgjøre en betydelig forskjell for utfallet, det er derfor viktig å kalibrere disse riktig. ITU-R P.838-3 foreslår verdier for disse koeffisientene.

Beregningsformlene for koeffisientene utformes slik:

$$\log_{10} k = \sum_{j=1}^4 a_j \exp\left[-\left(\frac{\log_{10} f - b_j}{c_j}\right)^2\right] + m_k \log_{10} f + c_k$$

$$\alpha = \sum_{j=5}^5 a_j \exp\left[-\left(\frac{\log_{10} f - b_j}{c_j}\right)^2\right] + m_\alpha \log_{10} f + c_\alpha$$

Hvor f er frekvensen (GHz), k er enten k_H eller k_V , og α er α_H eller α_V . Telefonmastene kan ha horisontal, vertikal eller dobbel polarisering, som sier i hvilken retning signalet svinger. Der det er dobbel polarisering er telefonmasten utstyrt med to sendere. Benevningen H og V er henholdsvis horisontal og vertikal polarisering. Dersom telefonmasten benytter en dobbel polarisering foreslår ITU å benytte følgende formelverk:

$$k = \frac{[k_H + k_V + (k_H - k_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau]}{2}$$

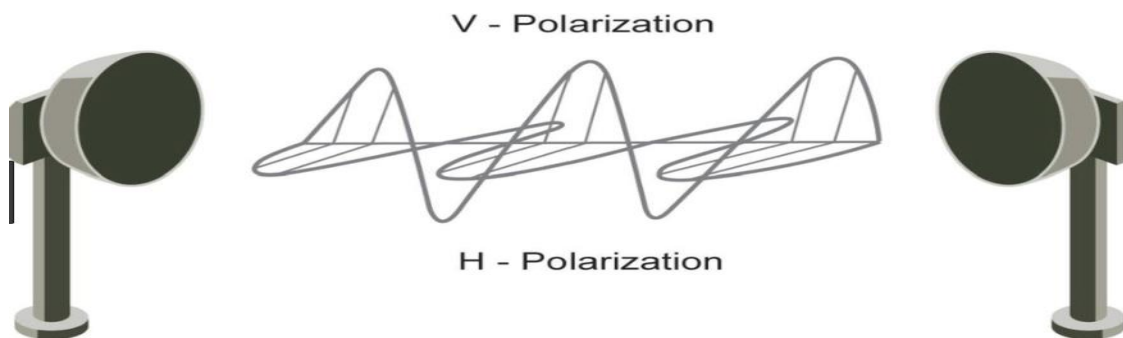
$$\alpha = \frac{[k_H \alpha_H + k_V \alpha_V + (k_H \alpha_H + k_V \alpha_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau]}{2k}$$

Hvor θ er stigningsvinkelen mellom telefonmastene, og τ er polarisasjonsvippevinkelen relativt til det horisontale planet. Eksempelvis vil $\tau = 45^\circ$ for sirkulær polarisasjon.

2.1.2 Polarisering

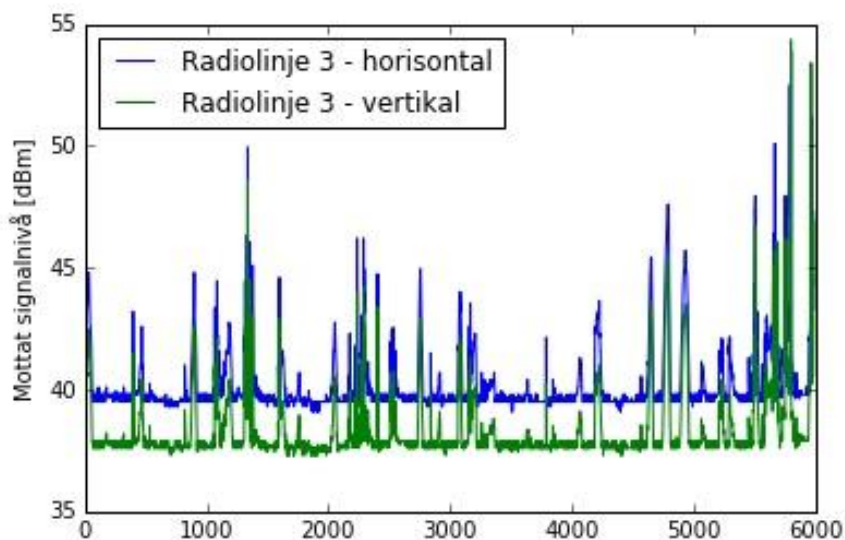
Ved å velge høye frekvenser vil man kunne sende større mengder informasjon, men en ulempe er at signalet taper seg hurtigere med økt avstand fra avsender. Det er nyttig å bruke

frekvensbånd over 26 GHz over kortere avstander som eksempelvis i byer. Lavere frekvensbånd bærer lenger men inneholder mindre informasjon og vil derfor benyttes i mindre sentrale områder.



Figur 2 illustrerer horisontal og vertikal polarisering når en telefonmast sender med dobbel polarisering

Polariseringen til signalene kan være horisontale eller vertikale, men for mange radiolinjer i Norge benyttet man en dobbel polarisering. Som nevnt i kapittel 1.6.1 kan regndråpenes form være asymmetriske om det horisontale planet, med en flat bunn. Horisontal polarisering på signalet kan derfor gi et større signaltap enn for det vertikale. Ved å bruke begge polariseringene vil man oppnå en redundans i telefonnettet, det blir dessuten mulig å definere våte og tørre perioder ut ifra forskjellen mellom polariseringene. Figur 4 viser et eksempel på to radiolinjer med samme frekvens og lengde, men med ulik polarisering. Mye av forskjellen i signalnivå vil justeres ut i fra valg av referansenivå, som for signalet med horisontalt referansenivå vil bli satt noe høyere enn det for det vertikale.



Figur 3 viser forskjellen mellom en radiolinje med horisontal og vertikal polarisering.

2.1.3 Usikkerhet og sammenligning med tradisjonelle målinger

Estimering av nedbørmengder ved bruk av mobiltelefonnettverk fører med seg systematiske usikkerhetskilder. Nøyaktigheten til målingene er derfor svært avhengige av hvor godt modellen er kalibrert for de ulike faktorene. Power-law relasjonen som er nevnt i det forrige punktet er avhengig av velvalgte k - og α -verdier for å gi en god estimering av banegjennomsnittlig regnintensitet. Formelen beregner signaltap over radiolinjens avstand og antar at nedbøren er jevn langs denne linjen. Denne tilnærmingen er noe feilbarlig, siden nedbøren sjeldent fordeler seg jevnt over større områder. Det finnes per dags dato ingen algoritme for å rekonstruere et nedbørfelt på en annen måte enn banegjennomsnittlig (Messer og Sendik 2015). Dette vil medføre en midlere nedbøravlesning som ikke får med nedbørtoppene som ofte er dimensjonerende mengde.

Systematisk skjevhet er ikke bare et problem for MSN-beregninger. Det er også en av mulige målefeil ved tradisjonelle målestasjoner, som for øvrig kan være vanskelig å oppdage siden omfanget av regnbygen kan være stedlig varierende. Nærliggende målestasjoner kan ha vanskeligheter med å kalibrere hverandre, og målefeil kan gå uoppdaget. Nedbørmåling fra mobiltelefonnettet kan derfor benyttes til å assistere den eksisterende infrastrukturen. Metodikken er tilnærmet kostnadsfri i sammenligning med besøk fra en operatør. I Norge kan denne metoden være aktuelt for de 187 automatiske værstasjonene som MET driver (Dannevig og Harstveit 2009). Bianchi o.a. (2013) gjennomførte en studie som karakteriserte målefeil fra regnmålere i to kategorier: 1) feil karakterisering av tørre og våte perioder, 2) kvantitative feil i måleapparatet under våte perioder. Kvantitative feil kan skyldes blokkering med en konstant verdi, tilfeldig støy og systematisk skjevhet. For å oppdage disse feilene kan nedbørestimater fra radiolinjer anvendes. Der hvor avvik inntreffer kan man undersøke og fikse problemet (Bianchi, Rieckermann o.a. 2013).

2.1.3.1 Referansenivå

Det vil alltid være et visst signaltap langs en radiolinje. I dette forsøket vil det være hensiktsmessig å avklare den delen som skyldes nedbør. Signaltapet kan deles opp i to deler, den delen som skyldes nedbør og den delen som skyldes andre atmosfæriske faktorer, kalt referansenivå. Referansenivået bestemmes ut ifra tørre perioder, hvor atmosfæriske faktorer og andre forstyrrelser spiller inn.

Når man skal beregne referansenivået vil det først og fremst vil det være aktuelt å avklare om en gitt tidsperiode er våt eller tørr. Dette kan gjøres ved bruk av en værradar eller nedbørmåler (Upton og Cummings 2005, Overeem, Leijnse o.a. 2011). Man kan også benytte MSN data til å estimere våte og tørre perioder ved å se på variasjonen i signaltap. (Schleiss og Berne 2010).

Dersom man kun bruker MSN-data er det flere ulike beslutningsregler man kan bruke. Noen metoder tar utgangspunkt i signalvariasjonen i et enkelt signal, mens andre metoder tar utgangspunkt i signaler med ulike frekvenser. Forskning (Rahimi, Holt o.a. 2003, Upton, Holt o.a. 2005) har vist at det vil inntreffe en høy korrelasjon i signaltap mellom radiolinjer med ulik frekvens når det regner. Signaltapet fra nedbøren vil være unormalt stor for begge frekvensene og en korrelasjonsfaktor over 0.80 kan indikere en våt periode (Rahimi, Holt o.a. 2003).

(Schleiss og Berne 2010) studerte variasjonen et enkelt signal hadde med ett frekvensbånd og enkel polarisering (horisontal). I modellen regnes signaltapet som skyldes nedbør som stokastisk. Det vil si at signaltapet til enhver tid vil kunne være ulik det fra et tidligere tidspunkt. Selv om en periode er klassifisert som våt er det vanskelig å skille mellom hvor stor del av signaltapet som skyldes regn og hvor stor del som skyldes andre faktorer. Referansenivået som brukes for å beregne den delen som skyldes regn kan da komme fra en tidligere tørr periode, eller ved å interpolere referansenivået mellom to tørre perioder. Interpoleringsmetoden kan diskuteres da fysiske faktorer som luftfuktighet, lufttrykk og temperatur ikke utvikler seg med en lineær progresjon gjennom hendelsen.

For å avklare om en hendelse er våt eller tørr valgte (Schleiss og Berne 2010) å benytte statistisk variasjon. Metoden går ut ifra påstanden om at signaltapet varierer sterkere under en våt periode enn en tørr periode. Modellen beregner standardavviket for et avgrenset vindu og sammenligner det med et større utvalg for en lengre periode. Standardavviket i det bevegelige vinduet kalles S_{Wt} , og standardavviket fra den lengre perioden kalles σ_0 . Når referansepunktet, σ_0 , er bestemt vil man kunne anvende beslutningsregelen. (Schleiss og Berne 2010) foreslår følgende beslutningsregel:

$$\text{Beslutningsregel: } \begin{cases} \text{regn hvis } S_{Wt} > \sigma_0 \\ \text{tørr hvis } S_{Wt} \leq \sigma_0 \end{cases}$$

Enkelt forklart vil modellen gi resultat av at det regner dersom signaltapet varierer mer enn det pleier. (Schleiss og Berne 2010) påpeker at både valg av størrelse på det bevegelige vinduet, og valg av måte å observere σ_0 , vil gi utslag på hvor godt modellen fungerer.

Som nevnt tidligere er det flere måter å avgjøre om en periode er våt eller tørr på. Dersom en metode skulle utgi feil klassifisering vil det ha ulike konsekvenser. Størst er feilkilden dersom metoden klassifiserer en periode som tørr når den egentlig er våt. Den egentlig våte perioden bli brukt som referansepunkt for en senere våt periode, som vil medføre underestimering av nedbørmengden. Dersom en periode klassifiseres våt når den egentlig er tørr vil referansenivået som brukes nærmest negligjere utslaget i nedbørintensitet.

2.1.3.2 Våt-antenne effekten

Våt-antenne fra regn eller dugg kan påvirke signaltapet betraktelig. (Schleiss, Rieckermann o.a. 2012) viste at våt-antenne kan gi et eksponentielt økende signaltap opp mot 2.3 dB ved nedbør og et omvendt eksponentielt avtagende signaltap når den våte perioden er over. Den opptrappende perioden kan vare mellom 5-20 minutter mens den avtagende vil ta flere timer, siden antennen må tørke for at effekten skal forsvinne. Schleiss o.a. tok utgangspunkt i våt antenne som følge av regn, men ikke som følge av dugg. (Messer og Sendik 2015) påpeker at effekten av dugg, og våt-antenne effekter generelt, er det forsket for lite på og etterlyser videre forskning på området.

2.2 Tidligere erfaringer fra Norge

I Norge har man lite erfaringsgrunnlag for bruken av data fra telefonmaster til å anslå nedbørsmengder. For å kartlegge den erfaringen som finnes ble det tatt kontakt med Nasjonal Kommunikasjonsmyndighet (NKOM), Meteorologisk Institutt, Telenor og Telia. NKOM svarte i April på spørsmål tilknyttet juridiske forhold om eventuell datatilgang. Svaret fra NKOM var at informasjon om frekvensbånd og polarisering må diskuteres med innehaver, der hvor innehaver står juridisk ansvarlig for hvilken informasjon som utgis om telefonnettet deres. Det ble da naturlig å kontakte Telenor og Telia, som er de to største eierne av mobilnettet i Norge.

Telenor var ikke kjent med studiene som ble referert til i korrespondanse med dem. Videre hadde ikke Telenor mulighet til å bidra med ønskede data, da ressursene var begrenset, men åpnet opp for mulig samarbeid ved et senere tidspunkt.

Kontaktpersonen i Telia, Fabian Josefsson, var kjent med forskningen som er gjort i blant annet Gøteborg og Tel Aviv. Ved lite behov for forklaring ble informasjon om mobilnettet til Telia videresendt med koordinater til telefonmastene, frekvensbånd, polarisering og avstand mellom mastene. Josefsson nevnte også muligheter for å samhandle med det svenske teleselskapet Ericsson, siden de allerede har gjort mye av denne jobben tidligere. Det ble foreslått et mindre område i nærheten av NMBU på Ås, med tre radiolinker i nærheten av en konvensjonell målestasjon for korttidsnedbør. MSN-data ble oversendt og brukt til beregning av nedbør til sammenligning med målestasjonen. Josefsson fortalte at Telia omlegger deler av nettet i storbyer fra radiolinjer, ved parabolantenne-transmisjon, til fiber. Noe som vil gjøre fremtidig dataauthenting på denne formen vanskelig. Omfang og tidsramme for denne utskiftningen er foreløpig ukjent for forfatteren av denne oppgaven. Etter å ha kontaktet Telenor, ved Asle Kirkesæther kom det fram at de ikke foretar den samme utskiftningen (Kirkesæther 2018). Meteorologisk institutt ble, som nevnt, også kontakten i søken etter Norske erfaringer for nedbørsestimering ved radiolinjer. Kontaktpersonen refererte til deres rapport nr. 15 fra 2011

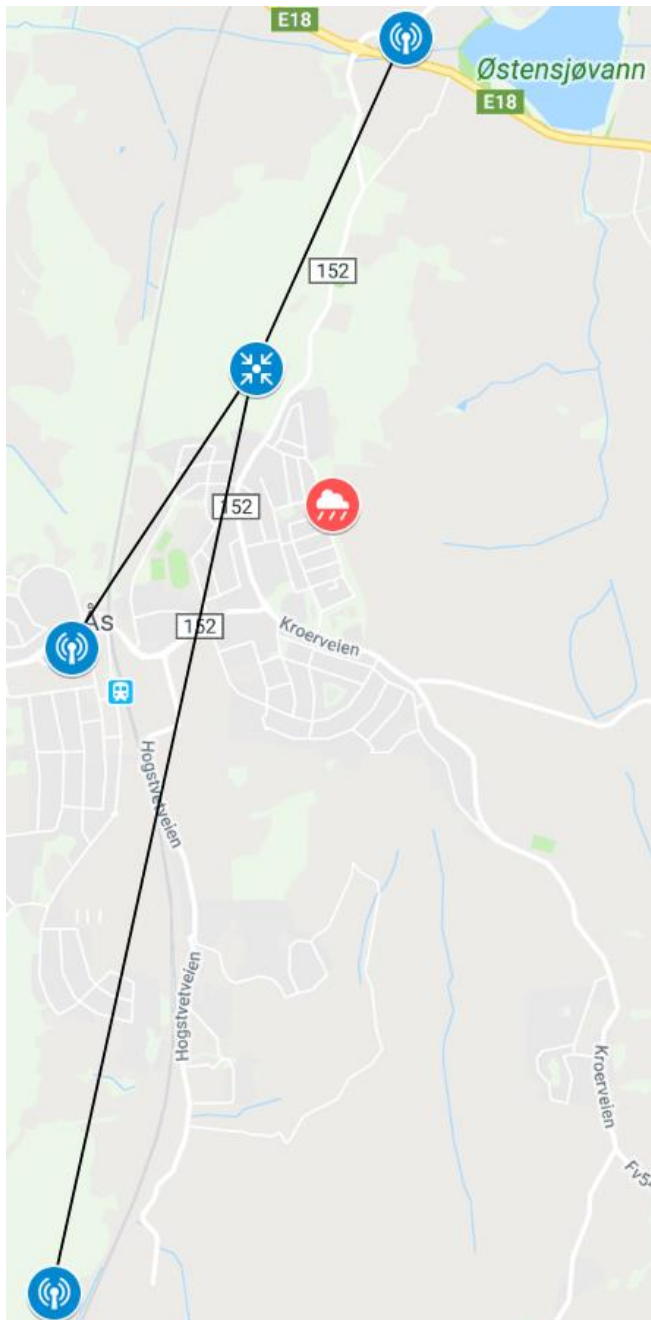
som eneste relevante arbeid. Hvor MET hadde samarbeidet med Telenor. Samarbeidet gikk ut på å finne episoder av korttidsnedbør med særlig høy intensitet, hvor Telenor viste til verdier fra den internasjonale telekommunikasjonsunion (ITU) som de har brukt i sitt arbeid. Ved nøyere granskning kommer det frem at rapporten som Telenor har brukt, ITU-R P.837-5, ikke er basert på nedbørsmengder fra radiolinjer, men heller som grunnlag for hvor signaldempingen vil være stor som følge av nedbør. Altså har heller ikke MET gjort noe forskning på temaet tidligere, men kan være en mulig samarbeidspartner for videre arbeid.

Gjennom telefonsamtaler har andre nettverkseiere også kommet frem som potensielle samarbeidspartnere. Eksempelvis ble det tipset om Bane NOR sitt GSM-nett og det Norske nødnettet.

2.3 Forsøksområde

2.3.1 Radiolinjer på Ås

I nærheten av NMBU har Telia flere telefonmaster. Datasett fra tre avsendere og én mottaker ble oversendt for å gjøre nedbørberegninger som kunne sammenlignes med MET sin værmåler ved Rustad, på Ås. De tre radiolinjene har lengde opp mot 5km, og frekvensbånd mellom 25- og 40 GHz. Telefonmastene loggfører MSN hvert 10. minutt med momentanavlesning, som nevnt i kapittel 2.1 er ikke det optimalt for nedbørberegning. I denne oppgaven blir ikke nøyaktige verdier presentert som følge av sikkerhetshensyn. Informasjon om plassering, frekvens og polarisering kan misbrukes til avlytning. I beregningene som er gjort har de presise verdiene blitt brukt. Kartet over området er oppgitt i figur 4, med oversikt over radiolinjene og MET sin værmåler. Punktene i kartet er ikke plassert nøyaktig men gir et bilde på hvilke områder som dekkes av radiolinjene og hvor nært pluviometeret ligger i forhold til radiolinjene.



Figur 4 viser kart over Ås med de tre radiolinjene, og målestasjonen på Rustad. Kilde: Google Maps, og (Josefsson 2018).

2.3.2 Rustadskogen – meteorologisk målestasjon

På Ås finnes det to offentlig tilgjengelige målestasjoner, én i tilknytning til NMBU og én som drives av MET. Måleverdier fra målestasjonen på Rustad hentes fra nettsiden eKlima som drives av MET. Målestasjonen er utstyrt med et vippekar med en oppløsning på 0.1mm, hvor antall vipp og tidspunkt loggføres. Det finnes også en funksjon som kan uthente tidsintervaller per 10. minutt som er på et lignende format sammenlignet med Telias 5. minutters momentanavlesninger. Det er disse verdiene som er hentet ut og lagt til grunn for sammenligning.

2.4 Datainnsamling

Signalverdier som loggføres av kommersielle telefonleverandører innhentes ikke uten komplikasjoner. For å få et godt nedbørestimat burde MSN ha en oppløsning på 0.1dB og en tidsmessig oppløsning på under 15 minutter (Messer og Sendik 2015). Verdiene kan teoretisk sett hentes ut når som helst, ned til en nøyaktighet på sekunder. Telefonselskapene kan loggføre høyeste og laveste mottatte signalnivå i et gitt tidsintervall. En gjennomsnittlig avrunding av disse verdiene vil kunne gi et godt estimat av signaltapet i perioden. I Telias mobiltelefonnett logger man ikke høyeste og laveste verdi, men heller momentanverdier hvor MSN logges på sekundet tidtakeren slår en viss tid. Eksempelvis leser Telias mobiltelefonnett av signalnivå hvert 5. minutt. Fabian Josefsson i Telia forteller at loggførerne kan programmeres til å lese av verdiene hvert 10. sekund, men dette gjøres ikke i dag på grunn av unødvendig bruk av lagring. I Sverige brukes en oppløsning på 10 sekunder til å beregne nedbør, ifølge Josefsson kan dette også gjøres i Norge. Ettersom at signaltapet regnes som en stokastisk variabel vil det være hensiktsmessig med et stort sett med data for å anslå trender i dataen.

Med en økning av loggført data vil det bli nødvendig med mer lagringsplass. I Telias mobilnett mangler det server og tilstrekkelig lagring for å håndtere loggføring hvert 10. sekund, ifølge Josefsson. Å utstyre telefonmastene med lagringsutstyr kan være både kostbart og upraktisk. Chwala o.a. (2016) utviklet en metode for å kalle på informasjon over GSM-nettet istedenfor å sende store mengder MSN-data på en gang. Programvaren som ble produsert er allment tilgjengelig og gjør det mulig å hente ut data fra flere telefonmaster samtidig. I studien ble MSN-verdier uthentet fra 450 telefonmaster med minutters intervaller, hvor MSN hadde en oppløsning på 1 sekund. (Chwala, Gmeiner o.a. 2012, Chwala, Keis o.a. 2016)

For å utforske mulighetene for å beregne nedbør i Norge ved bruk av signaldata er det ikke like viktig med hurtig uthenting og kompliserte algoritmer. Telia kunne oversende MSN data med tilstrekkelig oppløsning og volum til å foreta beregninger av nedbørmengder.

Siden signalet i radiolinjene varierer, også når det ikke regner, er det viktig å danne et godt referansenivå for signaldempingen. Videre vil målenøyaktigheten til MSN-dataene påvirke resultatet. De mest vanlige oppløsningene for MSN-data er 0.1 dB og 1 dB, som kan gi unøyaktige resultater avhengig av frekvens og lengde på radiolinjen. Fra Telias nettverk har vi en oppløsning på 0.1dB hvor de mest vanlige frekvensene er på 18GHz og 38GHz, for henholdsvis lange og korte linjer. En typisk lang linje kan være 9km som gir en teoretisk usikkerhet på 0.1 mm/t, og en typisk kort linje kan være 1km som gir en teoretisk usikkerhet på 0.2 mm/t. Med en oppløsning på 1dB vil den lange og korte linjen få en teoretisk usikkerhet på henholdsvis 1.4 mm/t og 3.1 mm/t.

Kort linje (38 GHz, 1km):

$$R = \left(\frac{A}{LK}\right)^{\frac{1}{a}} = \left(\frac{0.1[dB]}{1[km] * 0.3844}\right)^{\frac{1}{0.8552}} = 0.2[mm/t]$$

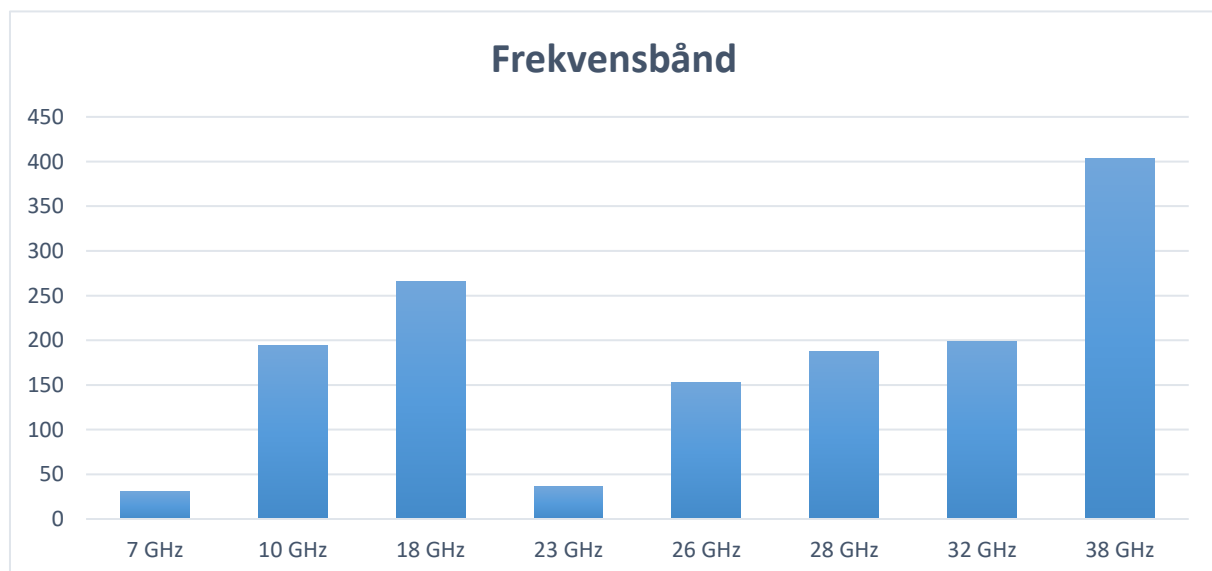
$$R = \left(\frac{A}{LK}\right)^{\frac{1}{a}} = \left(\frac{1[dB]}{1[km] * 0.3844}\right)^{\frac{1}{0.8552}} = 3.06[mm/t]$$

Den teoretiske usikkerheten gir et bilde på usikkerheten som valg av feil referansenivå kan medføre. En bom på 2db i referansenivå kan utløse en feil på mellom 2.4 og 6.2 mm/t, som for øvrig er mer enn bare en unøyaktighet.

3 Resultater

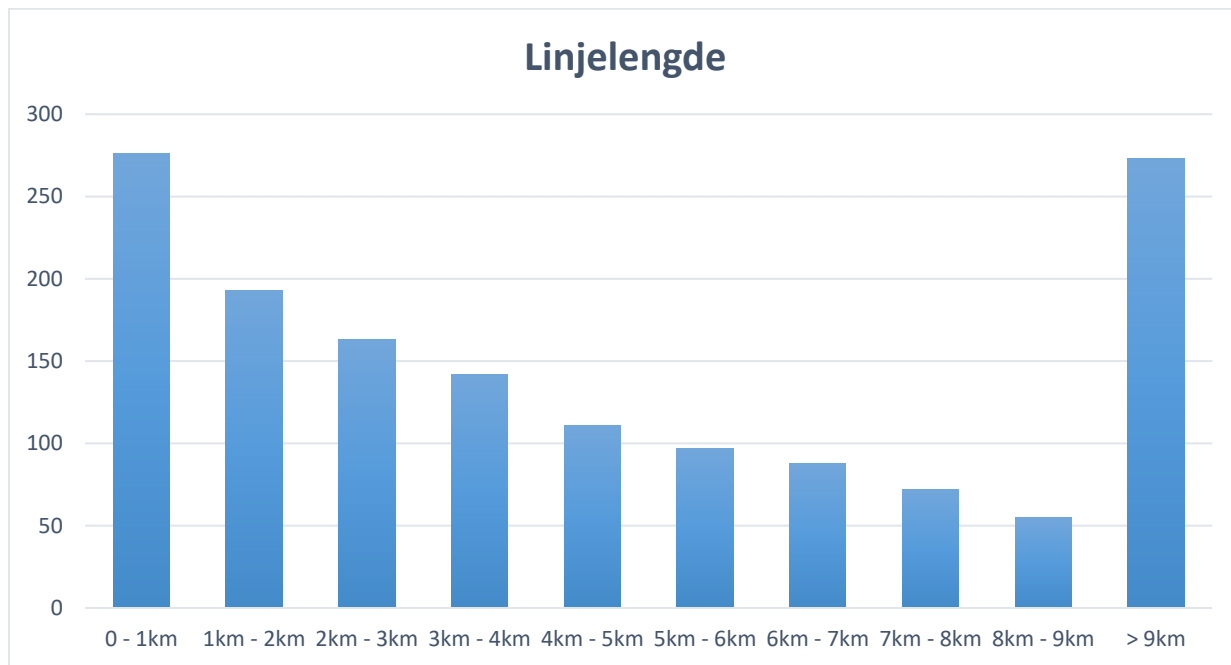
3.1 Dekning og tilgang til data fra mobiltelefonselskapene

For å si noe om hvor godt potensialet i Norge er for å beregne nedbør ved bruk MSN-data er det hensiktsmessig å først undersøke hvor godt landet er dekket av radiolinjer. Nasjonal kommunikasjonsmyndighet (NKOM) ble kontaktet i første omgang, men viste videre til innehaver av radiolinjene. Det ble naturlig å kontakte de største telefonleverandørene i Norge, henholdsvis Telenor, Telia, Icenet og Ventelo. I samhandling med disse kom det frem at det var Telenor og Telia som eide meste parten av det kommersielle telefonnettverket i Norge. Begge disse ble kontaktet med positiv respons, men det var kun Telia som i første omgang sa seg villige til å oversende den informasjonen som ble etter spurt. Telia oversendte informasjon om et nettverk med 1471 radiolinjer med ulike frekvensbånd og polarisering.



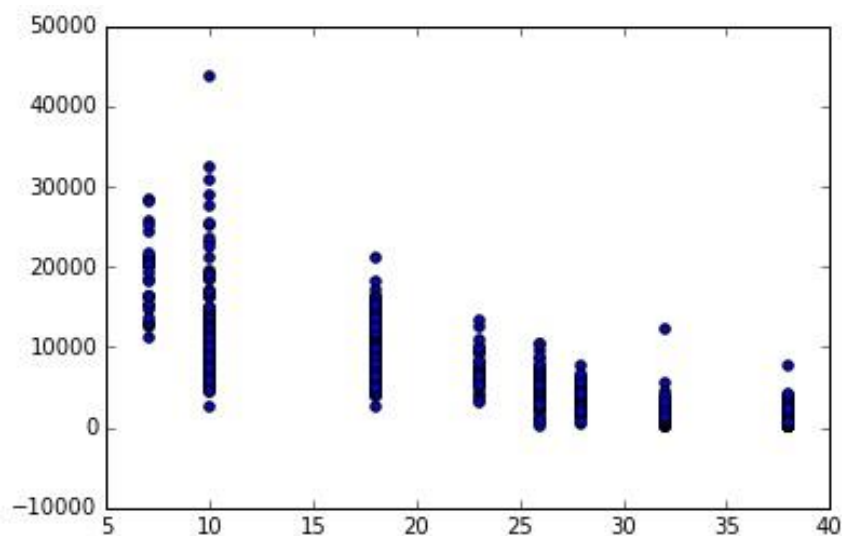
Figur 5 viser frekvensbåndene i Telia sitt telefonnettverk. Kilde (Josefsson 2018).

Frekvensbåndet var mellom 7-38 GHz avhengig av bl.a. lengden på radiolinjen og tillatelser fra NKOM. Figur 5 viser oversikten over frekvensdistribusjonen i nettverket, med opphopninger rundt 18 GHz og 38 GHz. Dette viser at for de korte linjene er det en preferanse for 38 GHz, og for de lange/mellomlange linjene er det en preferanse for 18 GHz.



Figur 6 viser lengdene på radiolinjene i Telia sitt telefonnettverk. Kilde (Josefsson 2018).

Radiolinjene i Telias telefonnettverk er ikke bare ulike med tanke på frekvens og polarisering, men også i lengde. Figur 6 viser distribusjonen over enkelte lengdeintervall. Mange master er over 9km lange og blant de kortere linjene er de fleste under 1km.



Figur 7 viser frekvens i GHz (x-aksen) mot avstand i meter (y-aksen) for radiolinjene i Telia sitt nettverk. Kilde (Josefsson 2018)

Figur 7 viser sammenhengen mellom frekvens og lengde på radiolinjene i telefonnettverket. Lavere frekvenser, som 7 og 10 GHz, gir en større spredning over ofte lengre avstander. De høyere frekvensene, eksempelvis 32 og 38 GHz, viser en mindre spredning og ofte kortere avstander. Dette stemmer godt overens med hva man forventer når man skal oppnå minst mulig tap med mest mulig informasjon.

3.2 Beregningsmodell

3.2.1 ITU formler

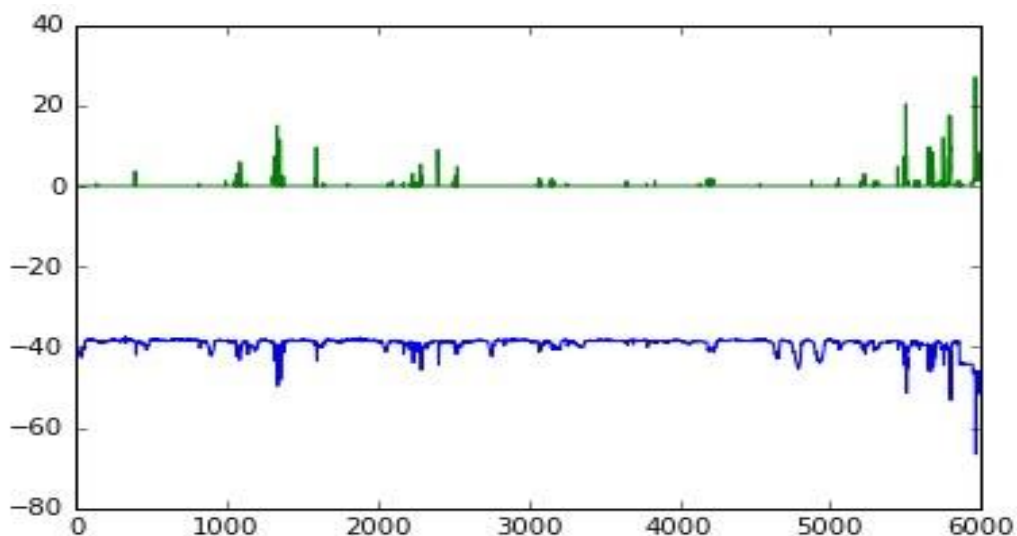
For å estimere nedbørmengden i de ulike radiolinjene anvendes kraft-relasjons-loven med hensyn på nedbørintensiteten:

$$R = \left(\frac{\gamma_R}{k}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

Input-verdiene for MSN per lengde (γ_R) hentes fra telefonmastene, mens konstantene α og k bestemmes ut ifra frekvensen og polariseringen til radiolinjen, hentet fra ITU-R P.838-3. For å beregne ut nedbøren per mm/t brukes formelen på følgende måte:

$$R = \left(\frac{A}{Lk}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

Hvor A er signaldempingen oppgitt i dB eller dBm, og L er lengden på radiolinjen. Noen forskere benevner verdiene sine med dB og andre med dBm. Formelen fungerer på samme måte for begge, men man må være konsekvente. Forskjellen på de to er referanse-nivå mellom signalene. Benevningen dB brukes om den logaritmiske sammenhengen mellom to effekter: $dB = \log\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$, eksempelvis utsendt og mottatt effekt. Mens benevningen dBm brukes til å sammenligne effekt med 1 milliwatt: $dBm = 10 * \log\left(\frac{P}{1mW}\right)$, også kalt absolutt effekt. Verdiene som er brukt i denne oppgaven er oppgitt i dBm.



Figur 8 viser mottatt signalnivå (blå) langs radiolinje plottet mot nedbørintensitet (mm/t - grønn) ved Rustad-målestasjon. Kilde (Josefsson 2018).

Den blå linjen i figur 8 viser mottatt signalnivå i en radiolinje på Ås og den grønne linjen viser nedbørmålinger fra Rustad-stasjonen. Her ser man en sammenheng mellom utslag i signaldemping og målt nedbør. De våte periodene viser en god korrelasjon, mens de tørre periodene kan variere mer. Ved enkelte tidspunkt øker signaldempingen i radiolinjen selv om pluviometeret ikke har vist særlig utslag. Dette kan skyldes våt antenne-effekten som kan stamme fra kondens eller en tidligere nedbørepisode. En annen atmosfærisk faktor kan være vind som deformerer antennen. For å oppnå en god nedbørberegning burde referansenivå justeres for slike effekter.

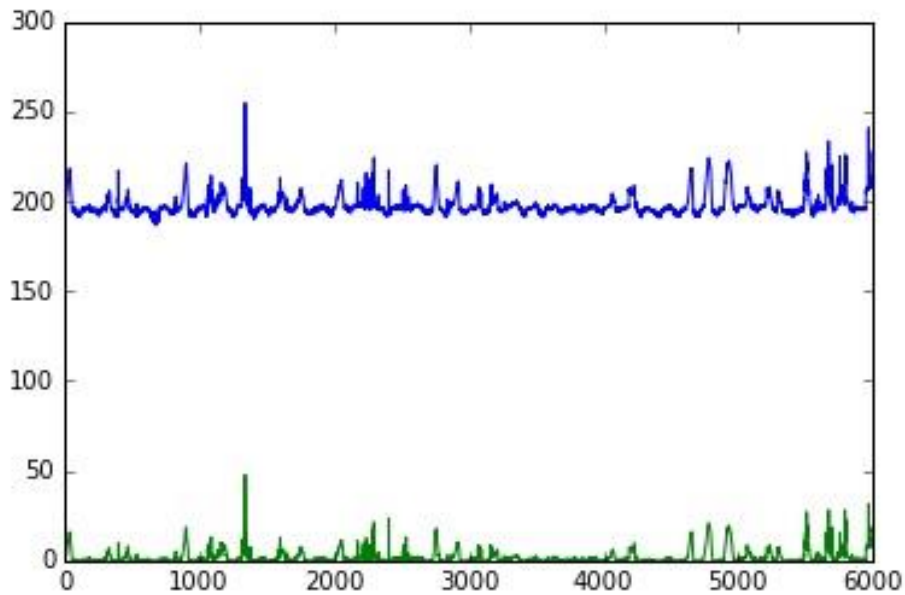
3.2.2 Referansenivå

Valget av referansenivå er av stor betydning for nøyaktigheten på målingene. Bommer man med bare 1 dB i valgt referansenivå kan målingene gi en stor feil i resultatet. For en radiolinje på 38 GHz, med vertikal polarisering, og med en lengde på 1km, vil en slik feilestimering av referansenivå gi et utslag på 3.06 mm/t.

$$R = \left(\frac{A}{Lk}\right)^{\frac{1}{\alpha}} = \left(\frac{1[\text{dB}]}{1[\text{km}] * 0.3844}\right)^{\frac{1}{0.8552}} = 3.06[\text{mm}/\text{t}]$$

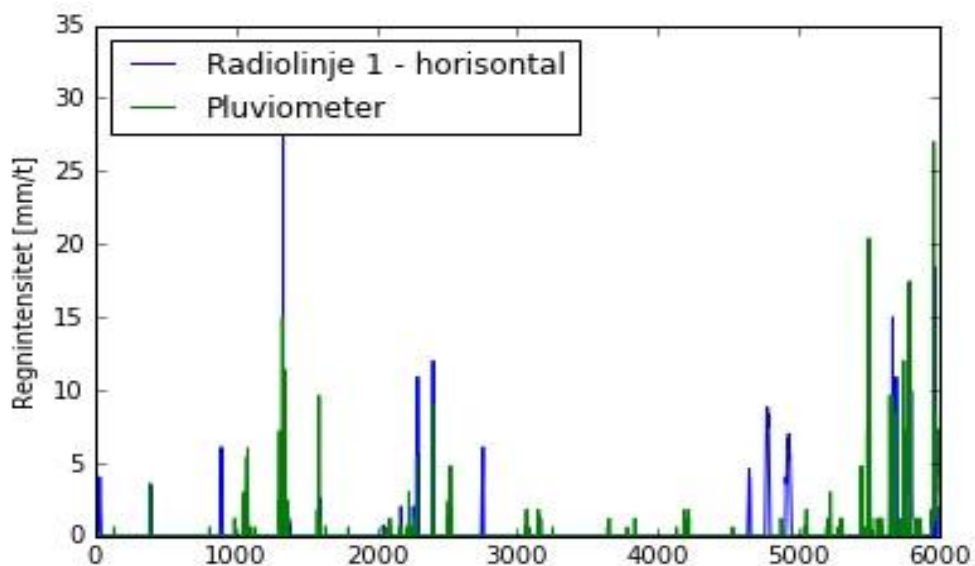
Det burde etterstrebes å kalibrere referansenivået kontinuerlig over tid og med hensyn på vanlige variasjoner i signaltap som oppstår under tørre perioder. En god karakterisering av hva som er tørre og våte perioder er derfor essensielt, og et forskningsområde av interesse.

I beregningene for Ås ble referansenivået satt som en konstant verdi gjennom hele perioden.

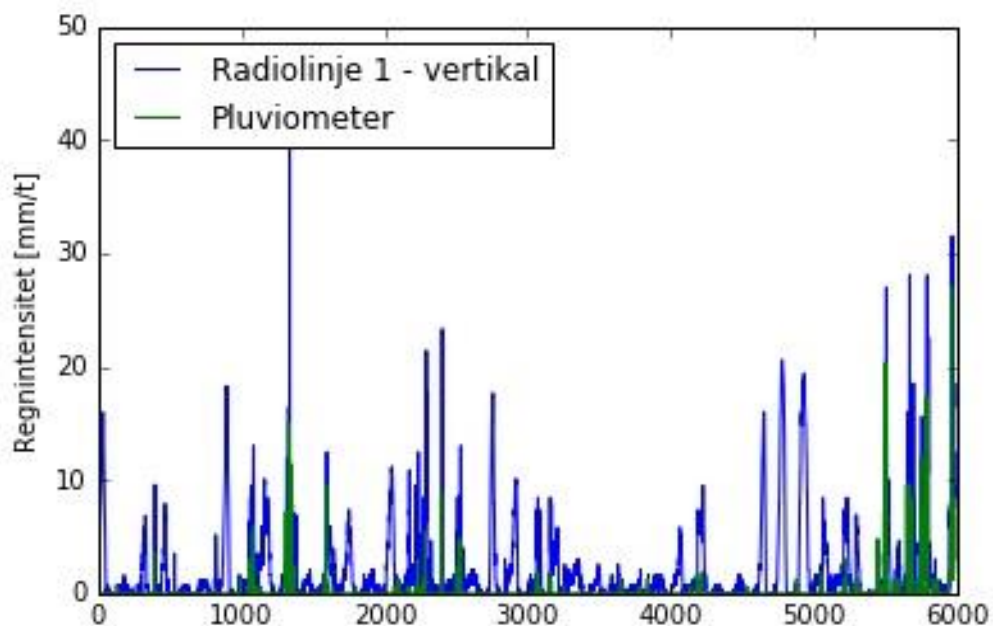


Figur 9 viser beregnet nedbørintensitet i mm/t, beregnet uten kalibrering (blå) og referansenivå-kalibrerte verdier (grønn). Kilde(Josefsson 2018).

Ved å justere for referansenivået ser man i figur 9 at verdiene blir hentet ned på et mer realistisk nivå fra rundt 200 mm/t som nullnivå til cirka 0 mm/t. Før beregningene svingte MSN rundt -40 dBm, som gjorde det hensiktsmessig å velge et referansenivå rundt -40.5 dBm.



Figur 10 viser nedbørmålingene fra radiolinje 1 (blå) med to ulike polariseringer og nedbørmålingene fra pluviometeret (grønn)



Figur 11 viser nedbørmålinger fra radiolinje 1 med vertikal polarisering, mot pluviometerverdier. Kilde:

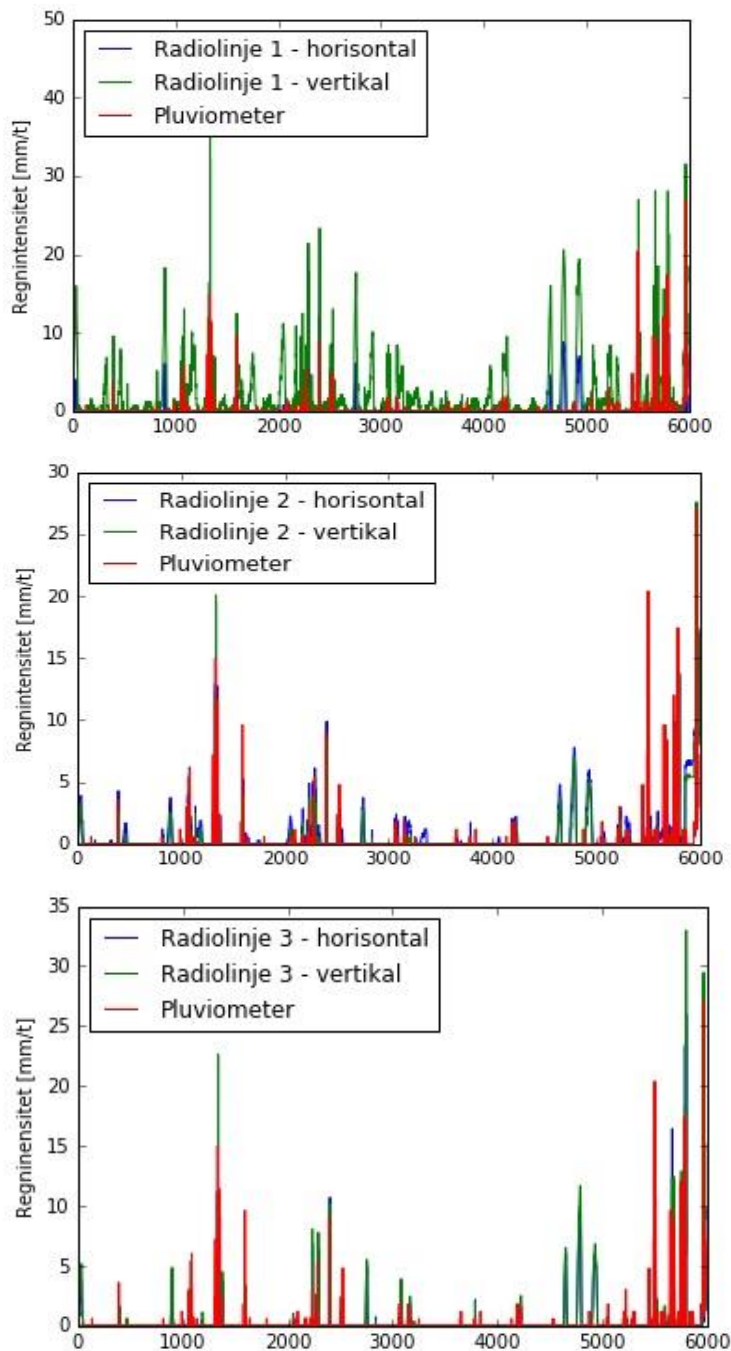
Ved en forholdsvis enkel kalibrering kan man se en tydeligere sammenheng mellom signaltapet og nedbørintensiteten. Figur 10 og 11 viser målinger fra en radiolinje i blått og nedbørmåleren på Rustad i grønt. Figuren 10 viser den samme radiolinjen som i figur 9, bare justert for referansenivå. Dersom referansenivået hadde blitt kalibrert ytterligere ville man kunne luke ut tørre perioder som på grafen kan virke som å være våte. Dette er perioder hvor den blå grafen svinger mens den grønne ikke viser noe resultat. Ved å kalibrere for disse periodene vil atmosfæriske effekter som kondens og vind utelukkes. Figur 10 viser en systematisk overestimering av nedbørintensiteten for MSN-beregningene, som i hovedsak skyldes andre faktorer enn referansenivået. Våt-antenne effekten kan ha en eksponentiell innvirkning på signaldempingen som gjør at nedbørtoppene blir unormalt store. I figuren 11 ser man den horisontale polariseringen som har fått referansenivået justert ytterligere enn hva den vertikale polariseringen har.

3.2.3 Våt-antenne

Våt-antenne effekten er forsøkt å kalibrere mot men ikke gjennomført i denne oppgaven. Det er likevel mulig å kalibrere for våt antenne og det vil gi en mer nøyaktig avstandsgjennomsnittlig nedbørberegning. Schleiss o.a. (2012) kom fram til at våt-antenne effekten kunne gi et feilaktig utslag i MSN på opp mot 2.3 dB. I radiolinjen som er vist til tidligere, ville denne maks verdien gi en feil på 7.2 mm/t. (Schleiss, Rieckermann o.a. 2012)

3.2.4 Forskjell mellom radiolinjene

Radiolinjene har som nevnt forskjeller seg imellom. Frekvens, polarisering, lengde og kalibrering av referansenivå spiller alle inn på den estimerte nedbørmengden. Metoden som er brukt i denne oppgaven sammenligner verdiene fra radiolinjene med pluviometeret. Rayitsfeld o.a. (2012) sammenlignet denne metoden og en annen som brukte data fra radiolinjene og interpolerte verdiene over en nedbørmåler. Den interpolerte metoden viste en betraktelig større korrelasjon med nedbørmåleren enn hva radiolinjene i seg selv gjorde. Dette skyldes den stedlige variasjonen nedbørepisoden har.



Figur 12 viser målinger fra de tre radiolinjene sammenlignet med pluviometeret

Som figur 12 viser varierer målingene fra de ulike radiolinjene noe, men enkelte tendenser kommer frem. Eksempelvis overestimerer de vertikale radiolinjene nedbørtoppen rundt punkt 1300 på x-aksen. Det oppstår også tre signaltapstopper i forkant av punkt 5000 på x-aksen. Disse toppene har ikke korresponderende topper fra nedbørmåleren. I dette tilfellet ville perioden blitt regnet som en nedbørepisode dersom dataene fra pluviometeret ikke var tilgjengelig.

4 Diskusjon

4.1 Innhenting av informasjon

4.1.1 Mottatt signalnivå-data fra telefonleverandører

Innhenting av data fra telefonleverandørene bar på enkelte komplikasjoner. Som første utdanningsinstitusjon som etterspør slik signalinformasjon til denne bruken ble det nødvendig å gjøre rede for hva dataene skulle brukes til. NKOM ville ikke gi ut noe informasjon med sikkerhetshensyn, og Telenor hadde ikke kapasitet til å bistå da de ble spurt. Telia var interesserte i å samarbeide og viste initiativ for å bidra med så mye som mulig, men hadde i begynnelsen enkelte tekniske utfordringer som måtte løses.

Dataene som ble innhentet hadde en oppløsning på 0.1 dB med 5. minutters intervaller avlest momentant. Som Telia selv nevner skulle verdiene helst vært loggført med maksimum- og minimumsverdier for signaltap. Man ville da kunne si med høyere sikkerhet for stort signaltap faktisk var i det gitte tidsintervallet. Avlesninger på hvert 5. minutt er forholdsvis godt i forhold til litteraturen, som ofte oppgir 10. eller 15. minutters intervaller som tidsmessig oppløsning. Telia informerer likevel at det er mulig med en granulitet på 10. sekunders oppløsning, som i denne sammenheng vil være svært nøyaktig.

For å beregne nedbørverdier i sanntid burde serverkapasitet og IT-løsninger bli utbedret. Dersom man gir telefonleverandørene et insentiv for å utbedre serverkapasiteten vil det bli mulig å rekonstruere nedbørskart i sanntid.

I tillegg til de kommersielle telefonleverandørene finnes det andre nettverkseiere som kan kontaktes, eksempelvis kan Bane NORs GSM-nett eller nødnettet i Norge være av interesse.

4.1.2 Nedbørdata fra pluviometer

Data om nedbørintensitet ble innhentet fra en værstasjon på Ås. Værstasjonen loggfører data fra et pluviometer som er tilgjengelig gjennom MET sin nettside eKlima. Pluviometeret har et målebeger som gir en god oppløsning på 0.1 mm. Registrerte vipp loggføres og kan uthentes enten direkte, eller via tidsintervaller på 10 minutter. Det mest nøyaktige vil være å beregne

nedbørintensitet ut ifra når vippingen skjer ikke for hvert 10. minutt. Datasettet som ble brukt i forsøket på Ås kan indikere en nedbørintensitet med 0.1mm/10minutt selv om tiden det tok å måle den mengden egentlig har vært lenger. For denne oppgaven ble det regnet som tilstrekkelig med 10. minutters intervallene fra eKlima, da hensikten var å sammenligne verdiene fra målestasjonen på en enkel måte.

Det første vippet for et pluviometer kan indikere en våt periode. Denne informasjonen kan brukes til å kalibrere referansenivået til MSN-dataene. Dersom man klassifiserer en våt periode som tørr vil man få en underestimering av nedbørmåling ved den påfølgende våte perioden. Omvendt vil man få en overestimering av nedbøren dersom en tørr periode klassifiseres som våt. Sistnevnte er av minst betydning, ettersom at nedbøren som måles vil være ekstremt lav.

4.2 Gjennomføring av forsøket

Informasjon fra alle radiolinjene ble sammenfattet i ett dokument. De tre radiolinjene hadde tidsserier av ulik lengde men som begynte på samme tidspunkt. Eksempelvis manglet radiolinje 2 én måling midt i serien som utgjorde en følgefeil på 5 minutter. Tidsserien fra pluviometeret hadde en oppløsning på 10 minutter som gjorde at signaldataene måtte justeres. Nedbørintensiteten ble utregnet for hvert 5. minutt og målt gjennomsnittlig over de 10 minuttene. Dersom målinger mangler fra radiolinjene eller nedbørmåleren vil det gi en skjevhet i de påfølgende sammenligningene. Denne skjevheten vil likevel ikke overskride 10 minutter av gangen, og er derfor ikke synlige i grafene som er presentert i denne oppgaven.

Plotting av grafene for signaltapet ga grunnlag for å velge et referansenivå som justerte for de mest vanlige svingningene under tørre perioder. Det ville vært hensiktsmessig å velge et referansenivå som var mer konsekvent for alle radiolinjene. Eksempelvis kunne man kalibrert på en statistisk måte som ville gi et likt grunnlag ved nedbørberegningen. Grafene som presenteres er derfor ikke helt sammenlignbare, ettersom at radiolinjene har fått valgt referansenivå på et visuelt grunnlag.

Schleiss og Berne sin beslutningsregel kunne blitt anvendt for å bestemme om en periode var våt eller tørr. Denne beslutningsregelen tar dog utgangspunkt i et rikt volum av signaldata. Signaldata over tre måneder, som ble brukt i denne oppgaven, regnes for å være for kort for statistisk anvendelse av denne metoden.

Det finnes flere måter å beregne referansenivå som tar utgangspunkt i ulike former for data. Schleiss og Berne tar utgangspunkt i et stort datasett, andre i data fra nedbørmåler, tredje i kalibrering mellom flere frekvenser. Metoder som baseres på bruken av stort datasett kan være aktuelt der det finnes en lang historikk med MSN, og data fra nedbørmålere kan brukes der

MET har nærliggende værstasjoner. referansenivået er ikke den eneste usikkerhetskilden av interesse, også våt-antenne kan bidra til et stort avvik i nedbørmålingen.

Våt-antenne effekter kan gi utslag i overestimering av nedbør ved bruk av MSN-data. Dette er en faktor det er vanskelig å kalibrere mot, men som er gjennomførbar. Våt-antenne effekten gir en eksponentiell feilestimering under en nedbørepisode og avtakende eksponentiell feil når nedbørepisoden er over. Dersom signaltaps-modellen mestrer denne kalibreringen vil betraktelige fremskritt være gjort med tanke på målenøyaktighet.

Den stedlige variasjonen man opplever ved en nedbørepisode er til hinder for god sammenligning mellom radiolinjene seg imellom og med målestasjonen. For å danne et best mulig grunnlag for sammenligning burde signaltaps-modellen interpoleres mot nedbørmåleren. Ved bruk av flere radiolinjer vil man også kunne rekonstruere nedbørskart med oppløsning på 1x1km som kan brukes til flomvarsling. Et slikt kart kan også tas i bruk i avrenningsmodeller for dimensjonering av overvannsløsninger.

4.3 Prinsipielt potensiale

Forsøkene som ble utført på Ås viste at det er en observerbar sammenheng mellom signaltapstyrke og regnintensitet. Beregningene som ble gjort oppnådde likevel ikke en sammenlignbar målenøyaktighet med nedbørmåleren. Utfordringer tilknyttet relativt store usikkerhetskilder som våt-antenne, stedlig variasjon og dråpe-distribusjon bør angripes dersom metoden skal anvendes. Litteraturen viser at problemene kan justeres for til en viss grad, men metoden er noe hemmet av den strekningsgjennomsnittlige beregningen. Nedbørmåling fra mobiltelefonsignal vil nok ikke kunne konkurrere med den volumetriske nøyaktigheten et pluviometer kan produsere, men har sine fordeler. MSN-beregningene dekker større områder på en bedre måte, og kan gi nedbørkart med høyere oppløsning enn andre metoder. Dessuten vil metoden i enda større grad kunne presentere sanntidskart som kan anvendes av værapplikasjoner og varslings tjenester.

4.4 Mulighetene i Norge

Samarbeidsvilje fra MET og telefonleverandører gir grunn til å tro at nedbørmåling med bruk av signaldata har et potensial i Norge. Noen utfordringer må hankses med dersom metoden skal anvendes til dets fulle potensial, både prinsipielt men også praktisk. Overgangen fra antennebasert til fiberbasert transmisjon byr på utfordringer som kan redusere tilgangen på data. I nær framtid er signaldata tilgjengelig på et format som gjør forskning mulig. Dersom mobilnettet skal være rystet til en full anvendelse må servere installeres og innhentingsprotokoller iverksettes.

Samfunnsnyttene av økt oppløsning på nedbørdata vil utfolde seg i flere områder, ikke bare for den prosjekterende ingeniøren, men også for meteorologer og hydrologer. Hva som lønner seg å investere i blir for økonomene å avgjøre.

5 Konklusjon

Data fra mobiltelefonnettverk i Norge har vist en sammenheng mellom signaltap og nedbørintensitet. Behovet for stedlig oppløsning gjør beregningsmetoden hensiktsmessig, dersom utfordringer rundt usikkerhetskilder løses.

Samarbeidsvilje hos telefonleverandørene har åpnet opp for muligheten til å gjøre et første forsøk på nedbørmåling ved bruk av mottatt signalnivå data i Norge. Samhandling i forbindelse med denne oppgaven har gitt optimisme for videre samarbeid mellom NMBU og telefonleverandørene.

For å oppnå mobiltelefonnettverkets fulle potensiale, foreslås det at videre studier blir gjort rundt gode referansenivå, våt-antenne effekter, og stedlig variasjon.

6 Kilder

Bell, V. A. og Moore, R. J. (2000). "The sensitivity of catchment runoff models to rainfall data at different spatial scales." Hydrology and Earth System Sciences Discussions **4**(4): 653-667.

Bianchi, B., Rieckermann, J. og Berne, A. (2013). "Quality control of rain gauge measurements using telecommunication microwave links." Journal of Hydrology **492**: 15-23.

Bianchi, B., van Leeuwen, J. P., Hogan, R. J. og Berne, A. (2013). "A Variational Approach to Retrieve Rain Rate by Combining Information from Rain Gauges, Radars, and Microwave Links." Journal of Hydrometeorology **14**(6): 1897-1909.

Chwala, C., Gmeiner, A., Qiu, W., Hipp, S., Nienaber, D., Siart, U., Eibert, T., Pohl, M., Seltmann, J., Fritz, J. og Kunstmann, H. (2012). "Precipitation observation using microwave backhaul links in the alpine and pre-alpine region of Southern Germany." Hydrol. Earth Syst. Sci **16**(8): 2647-2661.

Chwala, C., Keis, F. og Kunstmann, H. (2016). "Real-time data acquisition of commercial microwave link networks for hydrometeorological applications." Atmos. Meas. Tech. **9**(3): 991-999.

Dannevig, P. og Harstveit, K. (2009). "Meteorologisk Stasjon." Retrieved 14.08, 2018, from https://snl.no/meteorologisk_stasjon.

David, N., Alpert, P. og Messer, H. (2013). "The potential of cellular network infrastructures for sudden rainfall monitoring in dry climate regions." Atmospheric Research: 9.

Ericsson (2016). Microweather: unlocking potential. Ericsson Mobility Report, Ericsson.

Giuli, D., Facheris, L. og Tanelli, S. (1999). "Microwave tomographic inversion technique based on stochastic approach for rainfall fields monitoring." IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing **37**(5): 2536-2555.

Giuli, D., Toccafondi, A., Biffi Gentili, G. og Freni, A. (1991). "Tomographic Reconstruction of Rainfall Fields through Microwave Attenuation Measurements." Journal of Applied Meteorology **30**(9): 1323-1340.

Grimes, D. I. F. og Diop, M. (2003). "Satellite-based rainfall estimation for river flow forecasting in Africa. I: Rainfall estimates and hydrological forecasts." Hydrological Sciences Journal **48**(4): 567-584.

Josefsson, F. (2018). Telia.

Kidd, C. (2001). "Satellite rainfall climatology: a review." International Journal of Climatology **21**: 1041-1066.

Kirkesæther, A. (2018).

Leijnse, H., Uijlenhoet, R. og Stricker, J. N. M. (2007). "Rainfall measurement using radio links from cellular communication networks." Water Resources Research **43**(3).

Lofstad, R. (2018). "Flommen i Ottadalen kom helt overraskende på NVE." Retrieved 30.10, 2018, from <https://www.dagbladet.no/nyheter/flommen-i-ottadalen-kom-helt-overraskende-pa-nve/70320451>.

Magono, C. (1954). "On the shape of water drops falling in stagnant air." J. Meteorol. **11**: 77-79.

Messer, H. og Sendik, O. (2015). "A new approach to precipitation monitoring." IEEE Signal Processing Magazine **110**.

Messer, H., Zinevich, A. og Alpert, P. (2006). "Environmental Monitoring by Wireless Communication Networks." Science **312**(5774): 713-713.

MET. (2018). "Private værstasjoner gir bedre temperaturvarsler på Yr." Retrieved 24.08.2018, 2018, from <https://www.met.no/nyhetsarkiv/private-vaerstasjoner-gir-bedre-temperaturvarsler-pa-yr>.

MET (2018). Værstasjoner i norske kommuner. Oslo, Meteorologisk institutt.

Moore, R. J., Bell, V. A. og Jonas, D. A. (2005). "Forecasting for flood warning." C. R. Geoscience **337**: 203-217.

Netatmo. (2018). "Smart home weather station." Retrieved 21.08, 2018, from <https://www.netatmo.com/en-US/product/weather/>.

NRK (2018). Dagsrevyen. NRK.

Okamura, S., Funakawa, K., Uda, H., Kato, J. og Oguchi, T. (1961). "Effect of polarization on the attenuation by rain at millimeter-wave length." J. Radio Res. Labs(8): 73-80.

Okamura, S. og Oguchi, T. (2010). "Electromagnetic wave propagation in rain and polarization effects." Proc Jpn Acad Ser B Phys Biol Sci **86**(6): 539-562.

Overeem, A., Leijnse, H. og Uijlenhoet, R. (2011). "Measuring urban rainfall using microwave links from commercial cellular communication networks." Water Resources Research **47**(12).

Pham, A. (2018). Oslo VAV.

Rabiei, E., Haberlandt, U., Sester, M. og Fitzner, D. (2013). "Rainfall estimation using moving cars as rain gauges - laboratory experiments." Hydrol. Earth Syst. Sci **17**: 4701-4712.

Rahimi, A. R., Holt, A. R., Upton, G. J. G. og Cummings, R. J. (2003). "Use of dual-frequency microwave links for measuring path-averaged rainfall." Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012) **108**(D15).

Rayitsfield, A., Samuels, R., Zinevich, A., Hadar, U. og Alpert, P. (2012). "Comparison of two methodologies for long term rainfall monitoring using a commercial microwave communication system." Atmospheric Research **104-105**: 119-127.

Rayitsfield, A., Samuels, R. Z., A., Hadar, U. og Alpert, P. (2012). "Comparison of two methodologies for long term rainfall monitoring using a commercial microwave communication system." Atmospheric Research **104-105**: 119-127.

Ryde, J. W. (1941). Echo Intensity and Attenuation due to Clouds, Rain, Hail, Sand and Duststorms at Centimetre Wavelengths. Wembley, England, General Electric Co. Research Labs. **7831**.

Ryde, J. W. og Ryde, D. (1944). Attenuation of Centimetre Waves by Rain, Hail and Clouds. Wembley, England, General Electric Co. Research Labs. **8516**.

Ryde, J. W. og Ryde, D. (1945). Attenuation of Centimetre and Millimetre Waves by Rain, Hail, Fogs and Clouds. Wembley, England, General Electric Co. Research Labs. **8670**.

Schilling, W. (1991). "Rainfall data for urban hydrology: what do we need?" Atmospheric Research **27**: 5-21.

Schleiss, M. og Berne, A. (2010). "Identification of Dry and Rainy Periods Using Telecommunication Microwave Links." IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters **7**(3): 611-615.

Schleiss, M., Rieckermann, J. og Berne, A. (2012). "Quantification and modelling of wet-antenna attenuation for commercial microwave links." Geoscience and remote sensing letters.

Sintef. (2018). "Værradar." Retrieved 02.11, 2018, from <https://www.sintef.no/projectweb/radar/>.

Upton, G. J. G., Holt, A. R., Cummings, R. J., Rahimi, A. R. og Goddard, J. W. F. (2005). "Microwave links: The future of urban rainfall measurement?" Atmospheric Research **77**: 300-312.

Upton, G. J. G. H., A.R. og Cummings, R. J. R., A.R.

Goddard, J.W.F. (2005). "Microwave links: The future of urban rainfall measurement?" Atmospheric Research **77**: 300-312.

Vatne, I. og Hveem Kjølseth, T. M. (2017). "Modellering av urbane pluviale flommer ved bruk av værradar." Retrieved 20.04.2018, 2018, from <https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2461264/Kj%C3%B8lseth%20og%20Vatne%202017.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.

Wolff, M., Isaksen, K., Ødemark, K., Petersen-Øverleir, A., Reitan, T. og Brøkkan, R. (2013). Vindkorreksjon av nedbør, Meteorologisk institutt.



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway