

Aalborg Universitet

Vand og miljø

Crowdsourcing af regndata fra private regnmålere

Afgangsprojekt

10-06-2020



Forfattere:

Mads Bjørndal Nielsen

Sofie Søndergaard Røn



AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT



AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

**Femte Studieår v/ Det Ingeniør- og
Naturvidenskabelige Fakultet**

Byggeri og Anlæg

Thomas Manns Vej 23

9220 Aalborg

<http://www.civil.aau.dk>

Titel:

Crowdsourcing af regndata fra private
regnmålere

Projekt:

Afgangsprojekt

Projektperiode:

3. sep 2019 - 10. juni 2020

Forfattere:

Mads Bjørndal Nielsen

Sofie Søndergaard Røn

Vejledere:

Søren Liedtke Thorndahl

Christoffer Bang Andersen

Sidetal: 207

Appendiks: 12

Elektronisk appendiks: 9

Afsluttet: 10-06-2020

Synopsis:

Dette afgangsprøjsjekt omhandler crowdsourcing af regndata fra Netatmo regnmålere. Projektet tager udgangspunkt i hypotesen om, at det er muligt at anvende crowdsourcet regndata fra Netatmo stationer, som er kvalitetssikret og valideret igennem automatiske procedurer. Hypotesen er bearbejdet ved at indhente forskellige typer af Netatmo regndata for at vurdere hvilken af disse, som er fordelagtig at anvende.

Der er belyst sæson- og afstandsafhængighed af korrelation imellem regndata, hvorfor der er foretaget en analyse til bestemmelse af afstanden for spatial korrelation på årstidsbasis. Denne afstand er anvendt i kvalitetssikring af Netatmo regndata, hvor der foretages sammenligninger med registreringer fra omkringliggende stationer. Der er udviklet to kvalitetssikringsprocedurer, som foretages på døgnbasis og 10 min basis.

Det validerede Netatmo regndata er anvendt til at konstruere forskellige Netatmo regnprodukter, hvilke er sammenlignet med regnprodukter fra det nationale regnmålersystem. På baggrund af sammenligningerne er det vurderet hvilken af disse regnprodukter, som er fordelagtig at anvende til opgaver indenfor den urbane hydrologi. Styrker og svagheder ved de automatiske kvalitetssikringsprocedurer er ligeledes diskuteret.

Forord

Dette afgangsprøjsjekt er udarbejdet af Mads Bjørndal Nielsen og Sofie Søndergaard Røn fra overbygningen på Vand og Miljø på Aalborg Universitet. Overemnet, som afgangsprøjsjektet er udarbejdet ud fra, er *Crowdsourcing af regndata fra private regnmålere*. Udarbejdelsen af prøjsjektet er med henblik på at undersøge potentialet for at anvende crowdsourcet regndata i en række opgaver indenfor den urbane hydrologi. Prøjsjektet er udarbejdet i perioden september 2019 til juni 2020.

Prøjsjektgruppen retter tak til vejledere Søren Liedtke Thorndahl og Christoffer Bang Andersen for god vejledning og stort engagement gennem hele forløbet.

Læsevejledning

Prøjsjektarbejdet er præsenteret i en rapport med tilhørende appendiks, hvilke er refereret til gennem rapporten. Derudover er der i rapporten henvist til elektroniske appendiks, som er vedlagt i prøjsjektmappen.

Referencer er for dette prøjsjekt angivet i kantede parenteser med angivelse af efternavn på forfatter eller institution efterfulgt af årstal for udgivelsen. Årstallet er typisk efterfulgt af en yderligere henvisning til det pågældende afsnit eller kapitel ved hjælp af nummer eller title. Det kan forekomme, at der er foretaget flere referencer til forskellige kilder indenfor samme kantede parentes. Disse er separeret med et semikolon og er placeret først i den kantede parentes. De pågældende afsnit eller kapitler, som er tilknyttet referencerne, er placeret sidst i den kantede parentes, men i samme rækkefølge som referencerne og ligeledes adskilt af semikolon.

I litteraturlisten er kilderne angivet i alfabetisk rækkefølge med hensyn til efternavn. Kildehenvisninger til en specifik sætning er angivet inden punktum, mens kildehenvisninger angivet efter punktum tilhører det foregående afsnit. Figurer, som fremstår uden kildehenvisninger, er udarbejdet af prøjsjektgruppen. Der er gennem prøjsjektet anvendt et baggrundskort, som er indhentet fra Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering [2019]. Der er i forbindelse med prøjsjektet udarbejdet en procedure for download af regndata, hvilken er præsenteret i elektronisk appendiks L.1. Proceduren anvendt til at konstruere regnserier baseret på Netatmo regndata er præsenteret i elektronisk appendiks L.2.

Abstract

This master thesis analyzes the potential for crowdsourcing of rain data from Netatmo rain gauges. The thesis revolves around the hypothesis that rain data obtained through the crowdsourcing principle can be used for purposes in urban hydrology when the rain data is validated through an automatic quality control. Different types of Netatmo rain data are downloaded to evaluate which is advantageous for use in urban hydrology.

Through the thesis it is determined that the correlation between rain data from different stations is dependent on the season and the distance between the two stations which is why semi-variograms for each season are constructed. The correlation distance is used in the automatic quality control to determine which surrounding stations from the one being checked should be used in a comparison between rain data. Two procedures for quality control have been developed one which runs every 24 hours and one every 10 min.

The validated Netatmo rain data is used to construct various rain products. These rain products are compared to rain data from the national rain gauge network. The potential and best use of the Netatmo rain products within urban hydrology, is based on these comparisons. Strengths and weaknesses are furthermore discussed.

Indhold

I	Introduktion	
1	Indledning	3
1.1	Den nuværende opløsning af det nationale regnmålersystem	5
1.2	Potentiale for crowdsourcing af regndata fra private regnmålere	6
2	Projektkonkretisering	9
3	Netatmo stationen, regndata og dataindhentning	11
3.1	Netatmo vejrstationen	11
3.2	Procedure for download af regndata	12
3.3	Analyse af geografisk område	13
4	Bestemmelse af præcision af Netatmo regnmålere	19
4.1	Test af vippekarstørrelser med og uden løbende aftørring af regnmålerne	21
4.2	Betydning af kalibrering af regnmålere for vippekarstørrelsen	22
4.3	Betydning af tiltning af regnmåler for vippekarstørrelsen	24
4.4	Test af stationers registrering af vip ved forskellige intensiteter	26
4.5	Test af hukommelse i stationer ved tab af internetforbindelse	34
5	Projektlokalitet og data til sammenligning	39
6	Analyser til udvælgelse af et Netatmo regnprodukt	43
6.1	Udvælgelse af Netatmo stationer og en SVK station til sammenligning	44
6.2	Sammenligning af Netatmo regnprodukter	45
6.3	Sammenligningsmetoder til analyse af korrelation mellem stationsdata	49
6.4	Analyse af korrelation mellem SVK regndata	50

6.5	Korrelationsanalyse af SVK regndata og 24t og det historiske regndata	56
7	Afstand for spatial korrelation	63
7.1	Metode til semi-variogram analyse	63
7.2	Valg af Netatmo stationer til semi-variogram analyse	65
7.3	Udvælgelse og sortering af regnhændelser	66
7.4	Semi-variogrammer for hver årstid for tre tidsskalaer	67

II Udvikling af kvalitetssikringsprocedurer og regnprodukter

8	Test af mulige kvalitetssikringsparametre	75
8.1	Analyse af uregelmæssig diskretisering	77
8.2	Analyser af antal stationsdage hvor fastsatte grænseværdier overskrides	78
8.3	Procentuel afvigelse mellem Netatmo og SVK døgnsummer	79
8.4	Analyse af den procentuelle afvigelse fra omkringliggende stationer	81
8.5	Beskrivelse af dataformater anvendt i kvalitetssikringsprocedurerne	82
8.6	Live kvalitetssikringsproceduren	83
8.7	Døgn kvalitetssikringsproceduren	85
8.8	Sammenligning af live og døgn kvalitetssikringsprocedurerne	89
9	Konstruering af regnprodukter	91
9.1	Regnprodukter til sammenligning med DMI 10x10 km gridværdier	91
9.2	Regnprodukter til sammenligning med SVK regndata	95
10	Sammenligning og vurdering af regnprodukter	97
10.1	Sammenligning af DMI og Netatmo 10x10 km gridværdier	97
10.2	Sammenligning af SVK og Netatmo regnprodukter	106
10.3	Sammenligning af afvigelser imellem SVK og DMI årsnedbør	113
10.4	Sammenligning af live og døgn kvalitetssikringsprocedurerne	113
10.5	Vurdering af døgn kvalitetssikringsproceduren	117

III	Afslutning	
11	Diskussion	123
12	Konklusion	127
13	Perspektivering	129
	Litteratur	129
IV	Appendiks	
A	Tilgængelighed af Netatmo regndata	137
B	Nummerering af gridceller til dataindhentning	139
C	Nummerering af DMI 10x10 km klimagrid	141
D	Omdannelse af rå regndata til regnserier	143
E	Maksimale 10 min regnintensiteter	145
F	Semi-variogram analyse	151
F.1	Generelle udtryk for de anvendte modeller	151
F.2	Tilpasning af modeller og entydighedsanalyse	152
F.3	Funktionsudtryk for valgte semi-variogrammer	157
F.4	Videre undersøgelse af beregnet afstand i forårsperioden	158
G	Analyse af trends over en længere periode	159
H	Følsomhedsanalyse til valg af grænseværdi	163
I	Funktionsudtryk til bestemmelse af grænseværdier	173
J	Sammenligning med DMI klimagrid 10x10 km	175
K	Sammenligning af SVK og Netatmo regnprodukter	183
L	Elektroniske appendiks	195
L.1	Procedure for dataindhentning	195
L.2	Omregning til regnserier	195
L.3	Bestemmelse af Netatmo specifikke usikkerheder	195

L.4	Sammenligning af Netatmo regnprodukter	195
L.5	Analyse af krydskorrelation	195
L.6	Sammenligning af Netatmo og SVK regndata	195
L.7	Live kvalitetssikringsprocedure	195
L.8	Døgn kvalitetssikringsprocedure	195
L.9	Månedsrapport	195



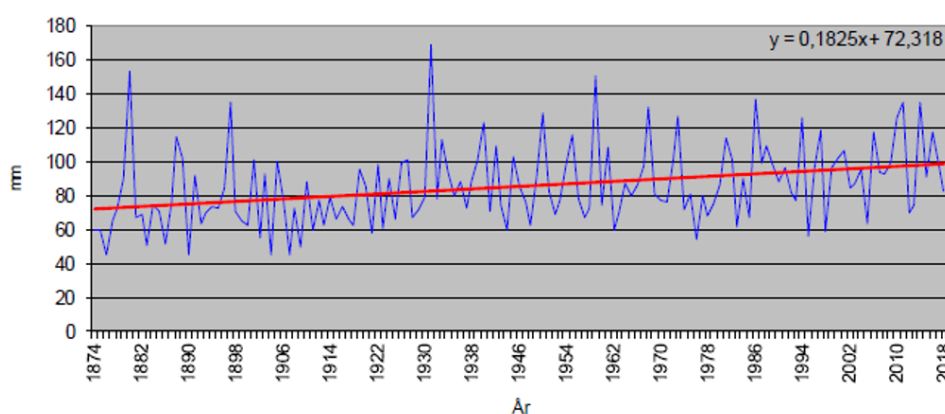
Introduktion

1	Indledning	3
2	Projektkonkretisering	9
3	Netatmo stationen, regndata og dataindhentning	11
4	Bestemmelse af præcision af Netatmo regnmålere	19
5	Projektlokalitet og data til sammenligning	39
6	Analyser til udvælgelse af et Netatmo regnprodukt	43
7	Afstand for spatial korrelation	63

1. Indledning

Urbanisering giver anledning til, at en større mængde vand vil afstrømme grundet større befæstede arealer, hvormed infiltration og tilbageholdelse af regnvand er begrænset [Willems et al., 2012, afs. 1.1]. Det er forventet at andelen af Danmarks befolkning, som lever i byerne, vil stige fra ca. 88 % i 2016 til 92 % i 2050 [Andersen og Christiansen, 2016; United Nations, 2019, fig. 4; s. 1 og 38].

Baseret på klimamodelsimuleringer er det forventet at klimaforandringer ændrer nedbørsmønstret i forhold til nedbørsmængden og regnintensiteten. Det er forventet at ændringen af nedbørsmængden vil variere imellem årstiderne frem mod år 2100. På baggrund af RCP-scenarierne er det forventet at nedbørsmængden stiger i vinter-, forår- og efterårsperioden, hvorimod det er forventet at nedbørsmængden er reduceret i sommerperioden. Det er dog forventet, at der vil forekomme kraftigere og hyppigere regnhændelser i sommerperioden. [Olesen et al., 2014, afs. 3.2.1 og afs. 3.5] Klimaforandringer giver anledning til en forøgelse af vejrekstremer, hvilket ligeledes øger vandmængden, som skal afstrømme i urbane områder [IPCC et al., 2014a, afs. 23.2.2.3]. Det fremgår af figur 1.1 at den årlige største målte 24 timers regnhændelse på en lokalitet i Danmark i perioden 1874 - 2018 har været stigende, hvilket er forventet at være gældende fremadrettet.



Figur 1.1: Største årlige 24 timers nedbør på en lokalitet i perioden 1874-2018. Den røde linje er en lineær tendenslinje med formel præsenteret i øverste højre hjørne. [Cappelen, 2019]

Forøgede regnintensiteter som følge af klimaforandringer vil øge risikoen for opstuvning af regnvand såvel som opspædet spildevand til terræn samt øge frekvensen for overløb af opspædet spildevand til recipienter [Willems et al., 2012; IPCC et al., 2014b, afs. 10.1, 8.2.3.4].

Urbanisering og klimaforandringer medvirker, at det nuværende kloaksystem inden for de næste årtier skal udvides og renoveres [Miljø- og Energiforvaltningen, 2015; Teknik og miljø, 2016; Odense Kommune, 2010; Teknik- og Miljøforvaltningen, 2018, afs. Klimaændringer; afs. 3.2; afs. 3.1; afs. Klimatilpasning].

I designfasen af afløbssystemer anvendes der ofte en antagelse om, at regnhændelsen er uniformt distribueret over projektområdet grundet mangel på regndata. Dermed bliver regnhændelsen repræsenteret som en gennemsnitlig regnhændelse over projektområdet, hvilket kan reducere præcisionen af det estimerede afstrømmede volume, den estimerede tid for størst afstrømning og den største forekommende afstrømning. Regndata med høj spatial opløsning kan fremme projekteringen af afløbssystemer, da det dermed er muligt at tage hensyn til stedslige variationer af ekstremnedbør over projektområder. [Chaubey et al., 1999; Thorndahl, 2008, afs. 1; afs. 7.1.3]

Regndata med høj spatial opløsning er ligeledes vigtig i andre opgaver indenfor urban hydrologi heraf kan nævnes: realtidsstyring af afløbssystemer; varslingssystemer overfor store mængder regnvand i oversvømmelsessammenhænge og styring af rensningsanlæg; test af funktionspraksis og reanalyse af regnhændelser, som har resulteret i oversvømmelser. [Pedersen et al., 2010; Lopez et al., 2005, afs. 1; afs. 1]

Realtidsstyring af afløbssystemer kan anvendes til at optimere kapaciteten i de dele af afløbssystemet, som bliver påvirket af den pågældende regnhændelse og dermed reducere overløbsmængden under regnhændelsen og mængden af vand som opstøver til terræn. Grundet hurtig afstrømning af regnvand i urbane områder kan en prognosticering af regnhændelser være nødvendigt for at have tid nok til at foretage omstruktureringen i systemet. Dertil anvendes oftest vejrdato fra radarsystemer, hvilket er kalibreret ud fra regndata fra eksisterende regnmålere. Kvaliteten af prognosen afhænger af hvor langt forud varslingen skal være foretaget og den spatiale opløsning af regndataene fra regnmålnetværket. [Campisano et al., 2013; Schütze et al., 2004; Thorndahl et al., 2017, afs. 1 og 3.1; afs. 3; afs. 2.1.6]

Ekstreme regnhændelser kan give anledning til, at store mængder opspædet spildevand udledes til recipienter grundet de bypass-systemer, som er implementeret ved renseanlæg for at undgå at slam skylles ud af anlæggene. Der er potentiale for, at varslinger overfor store regnhændelser kan reducere mængden som ledes igennem bypass-systemerne, ved at styringen af renseanlæggene bliver midlertidigt omstruktureret, således anlægget kan rumme en større indløbsmængde. Omstruktureringen af styringen af renseanlægget tager tid at udføre, og derfor er en prognosticering af regnhændelser nødvendig. Hertil anvendes ligeledes oftest vejrdato fra radarsystemer, hvor kvaliteten som tidligere nævnt forbedres ved at kalibreringen er foretaget ud fra regnmålerdata med høj spatial opløsning. [Campisano et al., 2013; Schütze et al., 2004; Thorndahl et al., 2017, afs. 1 og 3.1; afs. 3; afs. 2.1.6] Udover at varslingssystemet kan anvendes i styring af renseanlæg, kan det også give borgere mulighed for at sikre deres ejendomme overfor oversvømmelseskader.

Problemstillingen ved at foretage test af funktionspraksis og foretage reanalyse af skadesvoldende regnhændelser er tilsvarende den i designfasen af afløbssystemer. Der anvendes ligeledes antagelsen om, at regnhændelser er uniformt fordelt over interesseområderne. Den resulterende gennemsnitlige regnhændelse kan dermed give anledning til, at regnhændelsen ikke er modelleret korrekt, eksempelvis ved områder der er rapporteret oversvømmet under regnhændelsen, ikke er modelleret oversvømmet eller oversvømmet i samme omfang. Dertil kan det være vanskeligt at konkludere, om funktionspraksis har været overholdt under regnhændelsen, hvis de modellerede opstuvninger til terræn ikke forekommer de observerede steder. Derudover kan regnsrækkerne, som gentagelsesperioder skal estimeres ud fra, give anledning til statistiske usikkerheder grundet en begrænset måleperiode. [Chaubey et al., 1999; Thorndahl, 2008, afs. 1; afs. 7.1.3]

1.1 Den nuværende opløsning af det nationale regnmålersystem

På nuværende tidspunkt består det nationale regnmålersystem i Danmark af 257 stationer i DMI systemet, hvoraf 174 er SVK stationer, placeringen af disse fremgår af figur 1.2 [Vilic, 2013; Sarup, 2019, kap. 6; kap. 1]. SVK stationerne udgør Spildevandskomitéens regnmålersystem og drives af DMI, Danmarks Meteorologiske Institut. DMI systemet består af DMI's nedbørsstationer samt SVK stationerne.

De enkelte SVK stationer ejes af de, som har betalt for opstilling af den enkelte station, hvilket oftest er kommuner, forsyninger eller rådgivere [Laustsen et al., 2016]. SVK regndata bliver primært anvendt i afløbsteknisk sammenhæng. SVK systemet består af RIMCO regnmålere, hvilket er vippekar regnmålere. Vippekarsvolumenet for disse stationer er 0,2 mm/vip og den tidslige opløsning er på 1 min. Præcision for disse regnmålere er ± 1 % for nedbør op til 200 mm/time og en præcision på ± 3 % for nedbør op til 380 mm/time. [Mikkelsen et al., 1999; envco, 2020, afs. 2.2; afs. Specifications]

Hellmann regnmålere og Pluvio regnmålere udgør DMI nedbørsstationerne. Det blev i 2009 besluttet at udfase Hellmann regnmålerne, da disse skulle aflæses manuelt en gang i døgnet. Pluvio regnmålerne er automatiserede og registrerer nedbør ved hjælp af vægt baseret teknologi. Registreringerne foretages hvert. 10 min med en præcision på ± 1 % [Wang, 2010; OTT HydroMet, 2020, kap. 2; afs. Measurement technology og Accuracy - Amount] DMI nedbørsstationer bliver blandt andet anvendt til at validere måneds- og årsnedbør målt med de enkelte SVK stationer [Thomsen, 2012, kap. 5]. Punktmålinger fra DMI nedbørsstationer og SVK stationer danner ligeledes grundlaget for Klimagrid Danmark, som er valideret for en opløsning på ned til 1x1 km [Wang og Scharling, 2010, kap. 2]. Densiteten af stationer i SVK systemet og DMI systemet i Danmark og i de danske regioner er angivet i tabel 1.1.

Tabel 1.1: Tæthed af SVK stationer og DMI nedbørsstationer i Danmark og i de danske regioner. [Danske Regioner, 2012; Sarup, 2019; Vilic, 2013, s. 4; kap. 1; kap. 6]

Område	SVK stationer			DMI nedbørsstationer	
	Areal [km ²]	Antal [-]	Tæthed [stationer /km ²]	Antal [-]	Tæthed [stationer /km ²]
Danmark	43.098	174	0,004	257	0,006
Region Nordjylland	7.931	12	0,002	32	0,004
Region Midtjylland	13.142	29	0,002	50	0,004
Region Syddanmark	12.191	38	0,003	63	0,005
Region Sjælland	7.273	32	0,004	52	0,007
Region Hovedstaden	2.561	61	0,024	60	0,023

Det fremgår af figur 1.2, at der er store variationer i densiteten af SVK stationer i Danmark, hvilket ligeledes fremgår af tabel 1.1. Tætheden af SVK stationer er væsentligt højere i Region Hovedstaden i sammenligning med henholdsvis de resterende regioner og landsgennemsnittet. Densiteten i de øvrige regioner er af samme størrelsesorden, og er sammenlignelige med landsgennemsnittet. Det fremgår ligeledes af figur 1.2 at SVK stationerne generelt er koncentreret omkring de større byer, hvilket sandsynligvis er et resultat af at placeringen afhænger af hvem der betaler for stationen, og er dermed styret af interessenter. Derfor er der områder i de danske regioner, hvor den spatiale repræsentation af regnhændelser kan være begrænset, hvis SVK regndata anvendes grundet en større afstand til den nærmeste station.

Det er forventelig at der med DMI systemet er beregnet større densiteter af stationer da SVK systemet indgår i beregningen. Tætheden af stationer er dog lav, hvilket kan medvirke til, at den spatiale repræsentation af regnhændelser i områder kan være begrænset. Der kan være stor afstand mellem interesseområdet og det nærmeste tilgængelige regndata. Dette kan give anledning til usikkerheder ved at anvende regndataene til opgaver indenfor den urban hydrologi. Det fremgår dog af figur 1.2, at DMI nedbørsstationerne er mere fordelt ud i områderne indenfor regionerne.

Forøgelse af antallet af regnmålere er omkostningstungt i anskaffelse samt vedligeholdelse. Store omkostninger ved at anskaffe professionelt udstyr i flere forskellige videnskabelige discipliner medvirker til, at crowdsourcing i stigende grad er blevet en etableret teknik til at indsamle mængdedata [Chapman et al., 2017, afs. 1.1]. Crowdsourcing af regndata indebærer at dataindsamlingsprocessen outsources til borgerne kendt som "crowd".

1.2 Potentiale for crowdsourcing af regndata fra private regnmålere

Der er flere private udbydere af regnmålersystemer på markedet idag, som har potentiale for at blive inddraget i crowdsourcing af regndata hvor Davis Instruments, BloomSky, RainWise inc., Netatmo og Ambient Weather er eksempler på udbydere af regnmålere til privatpersoner. Potentialet for at anvende regndata fra disse udbydere til opgaver indenfor den urbane hydrologi afhænger af antallet af stationer og tilgængeligheden af regndataene.

Tilgængeligheden af regndataene fra producenterne afhænger af, om der er udviklet en API eller en anden form for interface, hvilken kan anvendes til at downloade regndataene. Tilgængeligheden variere fra producent til producent. Med produkter fra Davis Instruments, RainWise, BloomSky og Ambient Weather er det muligt at tilgå og uploade data fra egne stationer, samt stationer med delt adgang ved at anvende en API eller hjemmeside. Med API'en som Netatmo tilbyder, er det derimod muligt at hente regndata fra alle Netatmo stationer uden at eje en Netatmo station. Dette er præsenteret i appendiks A.

De førnævnte producenter af regnmålere tilbyder vejrkort, hvor placeringen af deres produkter er angivet. Disse vejrkort kan anvendes til at estimere antallet af regnmålere i Danmark. Der er 2 BloomSky stationer og 1 Ambient Weather station, hvorfor disse er vurderet ikke at kunne bidrage væsentligt til opgaver indenfor urban hydrologi i Danmark. Det er ikke muligt at bestemme antallet af RainWise stationer i Danmark, da det kræver et RainWise.net abonnement at tilgå regndata fra dette netværk. Der er ca. 250 Davis Instruments stationer i Danmark, hvilket ikke er vurderet at være tilstrækkeligt til at kunne bidrage væsentligt til løsning af opgaver indenfor den urbane hydrologi. Der er i Danmark ca. 4350 Netatmo stationer, hvilket er væsentligt flere end antallet af regnmålere i det nationale regnmålersystem. Derudover er tilgængeligheden af regndata fra Netatmo regnmålere fordelagtig. Derfor er det vurderet på baggrund af antallet af stationer og tilgængeligheden af regndataene, at der er potentiale for at anvende Netatmo regnmålere til at øge den spatiale opløsning af regndata.

Erhvervelse af regndata fra Netatmo regnmålerne er en kombination af aktiv "citizen science" og crowdsourcing af passivt indsamlet data. Brugerne er aktive i anskaffelsen, opstilling og vedligehold af Netatmo regnmåleren, men skal ikke foretage sig yderligere i dataindsamlingsprocessen. Placeringen af Netatmo stationer i Danmark fremgår af figur 1.2. Densiteten af Netatmo stationer i Danmark og i de danske regioner er angivet i tabel 1.2.

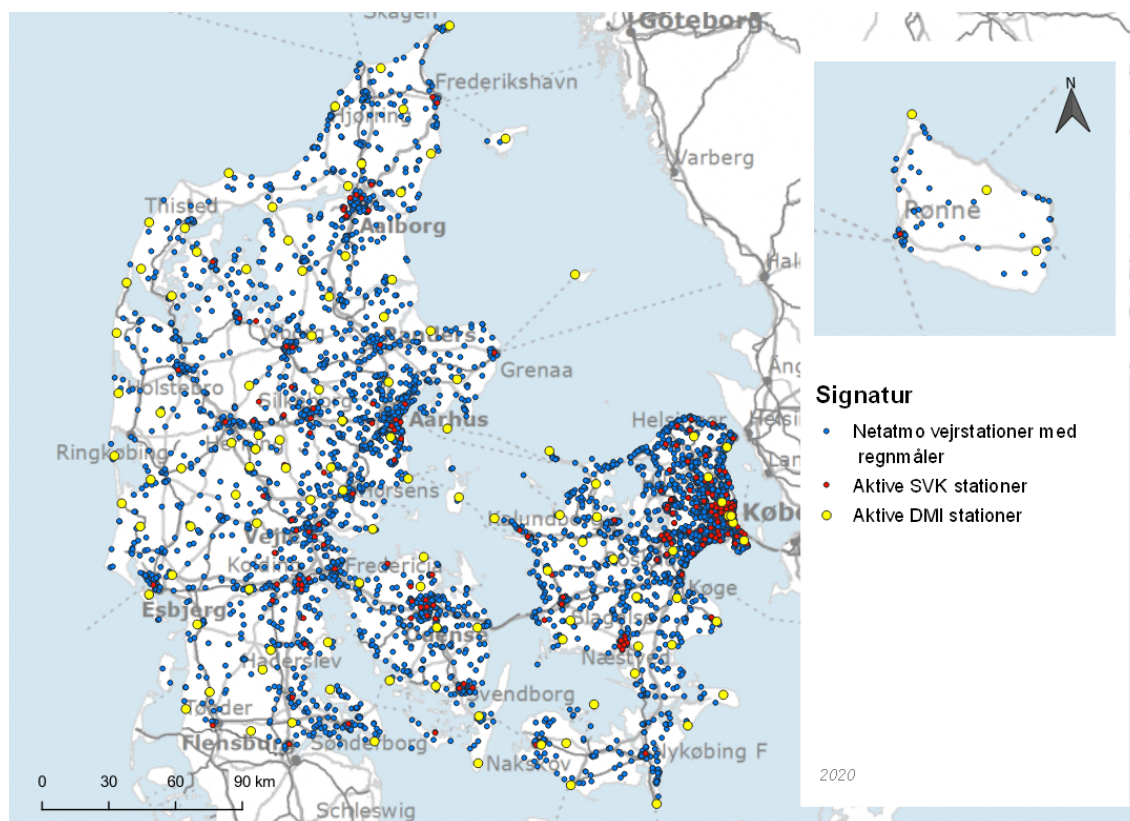
Tabel 1.2: Tæthed af Netatmo stationer i Danmark og i de danske regioner.

Område	Areal [km ²]	Antal [-]	Tæthed [stationer /km ²]
Danmark	43.098	4356	0,101
Region Nordjylland	7.931	443	0,056
Region Midtjylland	13.142	1035	0,079
Region Syddanmark	12.191	897	0,074
Region Sjælland	7.273	823	0,113
Region Hovedstaden	2.561	1158	0,452

Antallet af Netatmo stationer i Danmark er væsentligt højere end antallet af SVK stationer og antallet af stationer i DMI systemet. Dette resulterer i, at den landsgennemsnitlige tæthed af Netatmo stationer er væsentligt større end for SVK og DMI systemet.

Tætheden af Netatmo stationer i Region Nordjylland, Region Midtjylland og Region Syddanmark er under landsgennemsnittet, hvilket ligeledes er tilfældet for densiteten i SVK og DMI systemet. Den største tæthed af Netatmo stationer er i Region Hovedstaden, hvilket ligeledes er tilfældet for tætheden af stationer i SVK systemet og DMI systemet. Densiteten af Netatmo stationer i Region Sjælland er dog af samme størrelsesorden som densiteten af Netatmo stationer i Region Hovedstaden, hvilket ikke er tilfældet for tætheden af SVK stationer og stationerne i DMI systemet i Region Sjælland.

Der er flest Netatmo stationer koncentreret omkring storbyerne, hvilket fremgår af figur 1.2. Mønstret for hvordan Netatmo stationerne er placeret i Danmark er tilsvarende mønstret for placeringen af SVK stationer, hvilket sandsynligvis er et resultat af, at den største andel af befolkningen lever i de større byer. Dette medvirker til, at der er variationer imellem områder, for hvor meget den spatiale opløsning af regndata kan forbedres. Det er storbyerne, som på nuværende tidspunkt har den bedste spatiale opløsning af regndata, som dermed vil blive forbedret mest mens den spatiale opløsning af regndata i de mindre byer og landområderne vil blive forbedret mindst.



Figur 1.2: Placering af Netatmo vejrstationer (d. 01.11.19) samt SVK stationer og DMI nedbørsstationer i Danmark. [Sarup, 2019; Vilic, 2013, tab. 2; kap. 6]

Netatmo vejrstationer med tilkoblet regnmåler er ikke opsat eller konstrueret efter samme standarder som SVK stationerne og DMI nedbørsstationerne. Derudover foretages der ikke de samme løbende kalibreringer af Netatmo regnmålerne, samt graden af vedligehold er ukendt. Derfor bør regndata indsamlet ved crowdsourcing af Netatmo stationsdata kvalitetssikres og valideres, inden det anvendes til opgaver indenfor urban hydrologi.

2. Projektkonkretisering

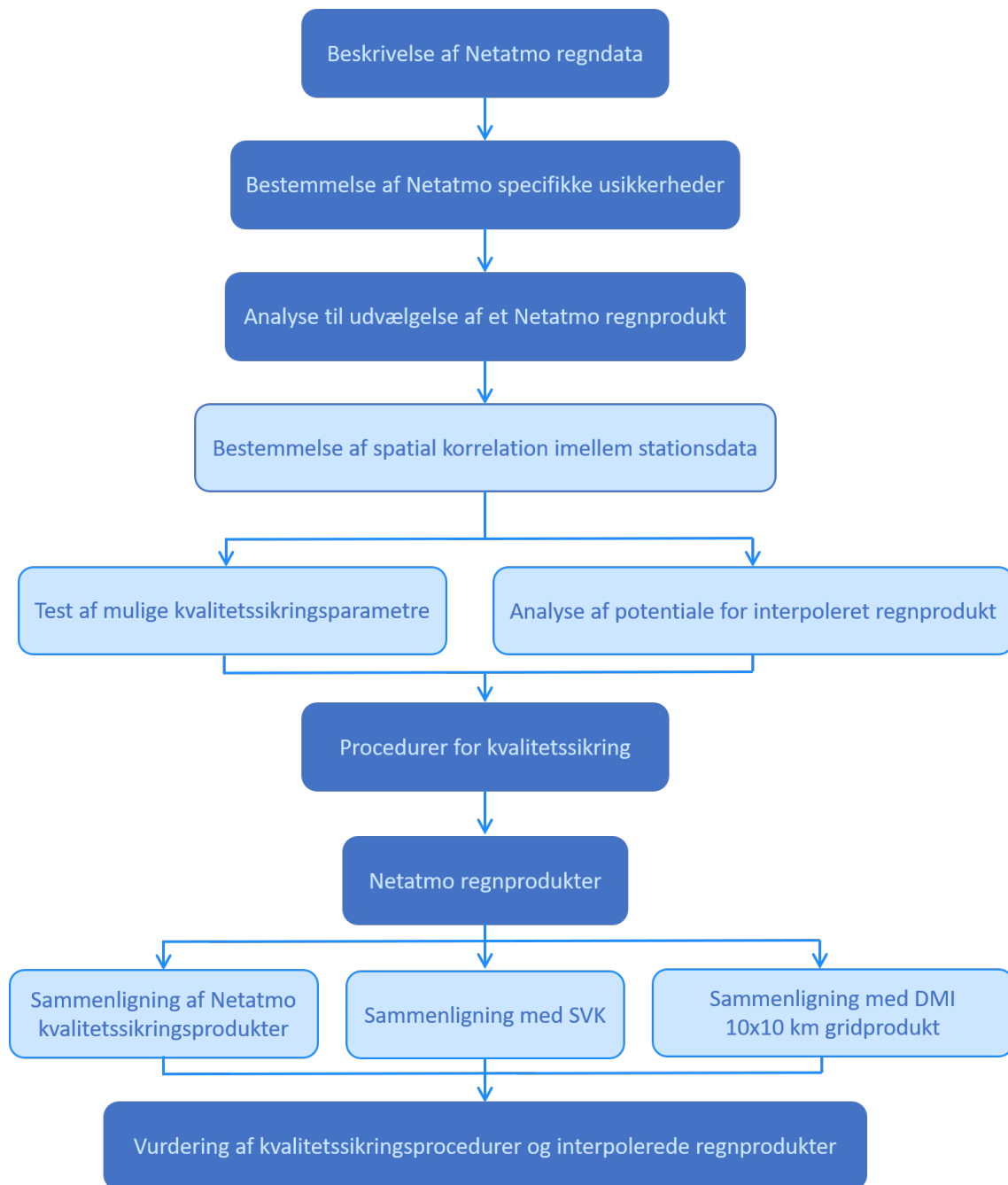
Det blev i kapitel 1 præsenteret, at klimaforandringer og øget urbanisering vil give anledning til, at en større regnmængde skal håndteres. Den spatiale opløsning af regndataene, som anvendes i opgaver som dimensionering af kloaksystemer, styring af renseanlæg og kloaksystemer, kalibrering af radardata og reanalyse af skadevoldende regnhændelser indenfor den urbane hydrologi er ofte begrænset. Dette giver anledning til usikkerheder i bestemmelsen af mulige løsninger indenfor de forskellige opgaver. Derfor er det undersøgt om der er potentiale for at anvende crowdsourcet regndata fra private regnmålere, hvor det er valgt at tage udgangspunkt i netværket af Netatmo stationer. Der er for projektet opstillet følgende hypotese, hvilken er forsøgt eftervist:

“Det er muligt at anvende crowdsourcet regndata fra Netatmo stationer som er kvalitetssikret og valideret igennem automatiske procedurer til opgaver indenfor den urbane hydrologi”

Hypotesen er forsøgt bekræftet ved at anvende følgende arbejdsspørgsmål:

- Hvordan kan en automatisk procedure, hvorigennem regndata fra Netatmo stationer indhentes i realtid opsættes?
- Hvilke stationsspecifikke usikkerheder kan der være ved en Netatmo station?
- Hvor stor er målepræcisionen af Netatmo stationerne ved forskellige regnintensiteter?
- Hvilket af regnprodukterne fra netværket af Netatmo stationer er fordelagtig at anvende?
- Hvordan kan regndata fra netværket af Netatmo stationer automatisk kvalitetssikres?
- Hvilke potentielle anvendelsesmuligheder er der for valideret Netatmo regndata?

Arbejdsspørgsmålene er bearbejdet, og strukturen for, hvordan dette er præsenteret, er illustreret på figur 2.1.



Figur 2.1: Illustration af strukturen for denne rapport.

3. Netatmo stationen, regndata og dataindhentning

I dette kapitel er det beskrevet, hvilke måleparametre Netatmo stationer returnerer, og hvordan placeringen af stationen registreres på Netatmos Weather Map. Derudover er det beskrevet, hvordan data overføres imellem de enkelte stationsmoduler, og hvordan stationsdata overføres til Netatmo serverne. Anmodningerne, som kan anvendes til at downloade regndata fra netværket af Netatmo stationer, er præsenteret i dette kapitel. Ydermere er det præsenteret, at der er begrænsninger for hvor meget regndata, der kan hentes over en tidsperiode. Derudover er det præsenteret, at der er begrænsninger for hvor stort et geografisk område, der kan indhentes regndata fra. Derfor er der opstillet et grid, som kan anvendes til at indhente regndata fra Netatmo netværket på landsplan. Dette grid er anvendt til at estimere det totale antal Netatmo stationer i Danmark, hvilket blev præsenteret i kapitel 1.

3.1 Netatmo vejrstationen

Netatmo vejrstationen består som minimum af et indendørs og udendørs modul. Indendørs modulet kan måle temperatur, luftfugtighed, CO₂ samt lydniveau, hvilke anvendes til at kvantificere indeklimaet i brugerens hjem. Indendørsmodulet er placeret til venstre på figur 3.1. Udendørs modulet kan som standard registrere temperatur, luftfugtighed og barometertryk. Udendørsmodulet er placeret til højre på figur 3.1. Ved at tilkøbe et vindmodul og et regnmodul kan udendørs modulet anvendes til at registrere henholdsvis vind- og regndata. Regnmåleren registrerer nedbør ved hjælp af et vippekarsystem, hvilke er illustreret på figur 3.2. Regnmåleren er produceret i plastik. Regnmålinger indlæses med en frekvens på 5 min og uploades til Netatmo serverne hvert 10. min. Regnmåleren er placeret i midten på figur 3.1. Regnmåleren har en præcision på 1 mm/time og har en øvre grænse på 150 mm/time. Derudover har det et gyldigt måleområde i forhold til temperatur på 0 - 50 °C, da regnmåleren ikke er opvarmet. [Netatmo, 2020, afs. Specifikationer for smart regnmåler - Sensorer og målinger].



Figur 3.1: Netatmo station med indendørsmodul placeret til venstre, udendørsmodul placeret til højre og regnmåler placeret i midten.



Figur 3.2: Vippekarsystemet i Netatmo regnmåleren.

Udendørs modulet er en trådløs batteridrevet enhed, som sender det registrerede data ved hjælp af et radiosignal til indendørs modulet. Indendørs modulet er opkoblet til internettet og kan derved sende indeklimamålinger samt vejrdata fra udendørs modulet til brugerens Netatmo-konto. Brugeren kan derefter se personlig indeklima- og vejrdata på sin smartphone eller PC. [Netatmo, 2012, afs. 1.1 og 3.2]

Brugeren kan anvende sin smartphone eller PC til at konfigurere sin Netatmo vejrstation. I forbindelse med opsætningen af Netatmo vejrstationen anvendes GPS-data fra brugerens personlige enhed til at angive den tilnærmelsesvis placering af vejrstationen. Placeringen bliver angivet på et oversigtskort over netværket af Netatmo vejrstationer på Netatmos hjemmeside. [Netatmo, 2012, kap. 2] Dataene lagret på Netatmo kontoerne indgår i et globalt netværk af Netatmo vejrstationer. Dataene tilbydes af Netatmo og kan tilgås ved hjælp af en API, hvilken er en softwaregrænseflade, som muliggør download af dataene.

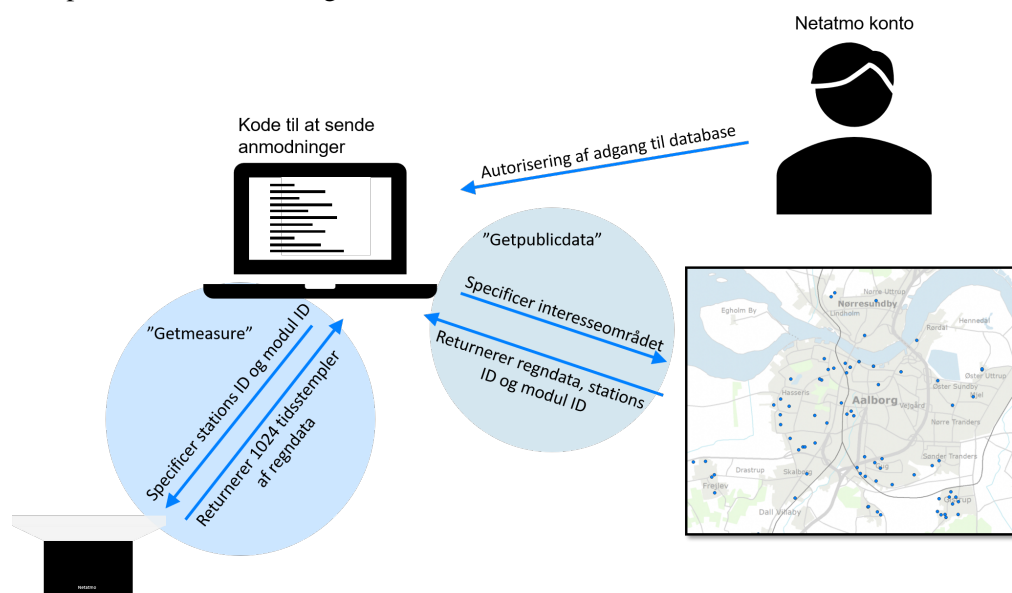
3.2 Procedure for download af regndata

Der er i dette projekt, som beskrevet i kapitel 2 fokus på indhentning af regndata fra private regnmålere. Det er ved hjælp af Netatmo Weather API'en muligt at downloade offentligt tilgængeligt data fra Netatmo vejrstationsnetværket live ved at anvende anmodningen "Getpublicdata". Anmodningen returnerer regndataene i tre forskellige endheder: mm regn siden midnat, 00:00:00; mm regn siden sidste hele time, HH:00:00; mm regn siden sidste indhentede tidsstempel, HH:MM:ss. Det er nødvendigt at specificere et geografisk område hvorfra regndata fra Netatmo vejrstationer skal indhentes fra. Den tidslige opløsning af regndataene fra disse tre regnprodukter er varierende.

Udover at det er muligt at hente live regndata fra Netatmo vejrstationsnetværket, kan der også downloades historisk data med anmodningen "Getmeasure". Denne anmodning returnerer regndata som en regnintensitet svarende til regndybden over en tidsperiode, som er forskellen mellem det nuværende og forrige tidsstempel. Dette ligger stabilt omkring 5 min og er tilsvarende den data ejeren af stationen selv har adgang til, hvilket fremgår af analysen i appendiks A. Det er nødvendigt at specificere stations ID'et for den Netatmo vejrstation, som regndata skal indhentes fra samt specificere modul ID'et. "Getmeasure" kan anvendes til at hente regndata til og med de seneste tilgængelige tidsstempler.

Der skal anvendes en Netatmo konto som legitimation, for at Netatmo Weather API'en kan anvendes. Det er gratis at opsætte en Netatmo konto, og det er ikke nødvendigt at have et Netatmo produkt tilknyttet kontoen. Dette er præsenteret i appendiks A. Derefter kan API'en anvendes til at sende anmodninger og downloade regndata fra Netatmos vejrstationsnetværk. Det er nødvendigt at specificere det geografiske område, hvorfra regndata skal indhentes. Netatmo vejrstationer med tilkoblet regnmåler udvælges, og regndata fra disse stationer downloades. Med anmodningen "Getpublicdata" hentes det seneste tidsstempel fra hver station indenfor det geografiske område per anmodning, hvilken kan tilføjes til tidsserien for den enkelte station.

Med anmodningen "Getmeasure" er det muligt at downloade 1024 tidsstemppler per station per anmodning, hvorved det er muligt at downloade historisk regndata. Procedurene for download af regndata med anmodningerne "Getpublicdata" og "Getmeasure" er illustreret på figur 3.3. Det fremgår af figuren, at det med "Getmeasure" er nødvendigt at specificere station ID'et for den station, der ønskes regndata fra og modul ID'et for den tilknyttede regnmåler. Disse ID returneres med "Getpublicdata" anmodningen.



Figur 3.3: Procedure for download af regndata.

"Getpublicdata" og "Getmeasure" anmodningerne kan foretages af alle Netatmo-kontoer også brugere, som ikke har tilknyttet et Netatmo-produkt. Én bruger kan sende 500 anmodninger per time, hvilket kan give begrænsninger i forhold til at indhente regndata. Dette afhænger af den ønskede størrelse af det geografiske område, hvorfra regndata skal indhentes.

3.3 Analyse af geografisk område

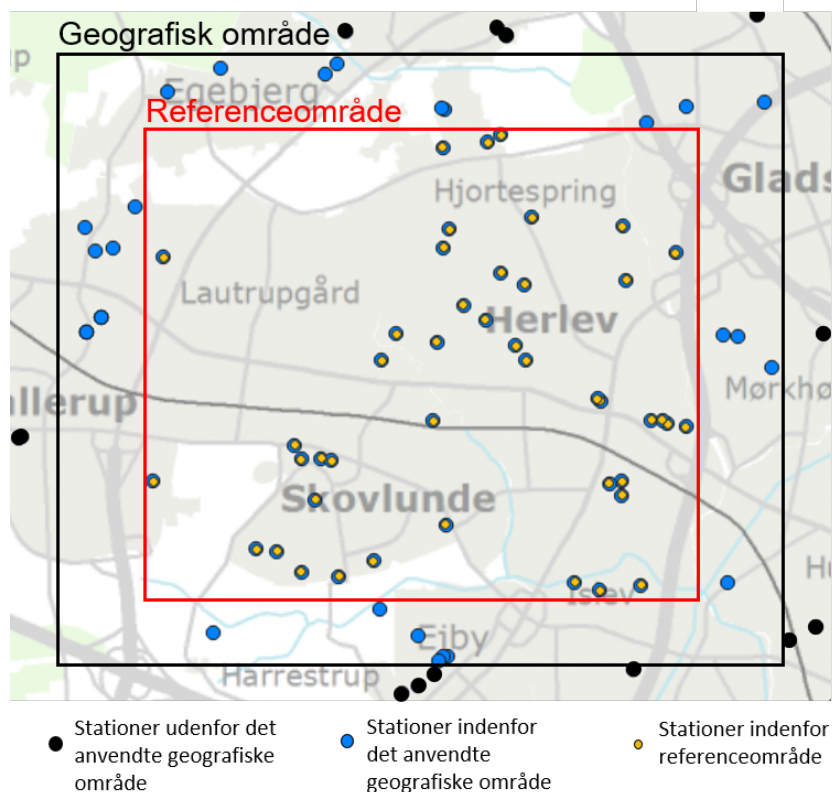
For at undersøge hvorvidt det er muligt at downloade regndata fra hele landet, er det undersøgt hvor mange Netatmo vejrstationer, som bliver returneret ved at anvende et geografisk område, som omkrænser hele landet. Det geografiske område dækker ligeledes dele af Sverige og Tyskland, hvorfor returneringer af Netatmo vejrstationer med en anden landekode end dansk er frasorteret. Resultatet af at have anvendt anmodningen "Getpublicdata" for hele landet er angivet i tabel 3.1. Antallet af returneringer er undersøgt på forskellige dage, for at undersøge om det er konstant.

Tabel 3.1: Antal returnerede Netatmo vejrstationer med tilkoblet regnmåler ved at anvende et geografisk område der omkrænser Danmark.

Dato	Antal
07.11.19	221
08.11.19	220
09.11.19	219
10.11.19	220

Det er på baggrund af tabel 3.1 vurderet, at antallet af returnerede stationer er tilnærmelsesvis konstant. Det er vurderet, at antallet af returnerede stationer generelt er lavt, hvorfor det er undersøgt, hvordan størrelsen af det geografiske område påvirker antallet af returnerede Netatmo stationer.

Analysen er foretaget ved at udvælge et område med stor tæthed af Netatmo vejrstationer på baggrund af en visuel vurdering. Indenfor dette område er antallet af Netatmo vejrstationer, som fremgår af Netatmo Weather Map optalt manuelt. Denne optælling er sammenlignet med antallet af returnerede Netatmo vejrstationer indenfor det geografiske område for at verificere, at det totale antal stationer indenfor området er returneret. Dette geografiske område er anvendt som referenceområde. Derefter er det geografiske område øget, og antallet af Netatmo vejrstationer indenfor referenceområdet er sammenlignet med antallet, som blev returneret med et geografisk område svarende til referenceområdet. Princippet er illustreret på figur 3.4. På figuren er det illustreret at det geografiske område returnerer Netatmo vejrstationerne, som er placeret indenfor referenceområdet.



Figur 3.4: Procedure til evaluering af den nødvendige størrelse af det geografiske område.

Det udvalgte referenceområde omkrænser Herlev og Skovlunde, som er bydele i Storkøbenhavn. Omridset af referenceområdet er illustreret på figur 3.5.



Figur 3.5: Omridset af referenceområdet, som er anvendt til evaluering af den nødvendige størrelse af det geografiske område.

Koordinaterne, der blev anvendt til at specificere referenceområdet, er angivet i tabel 3.2.

Tabel 3.2: Koordinaterne for hjørnerne af omridset af referenceområdet. Referenceområdet er ca. 22,49 km².

Punkter	Lat	Lon
Nordvest	55,746016	12,367681
Nordøst	55,746016	12,450272
Sydvest	55,706892	12,367681
Sydøst	55,706892	12,450272

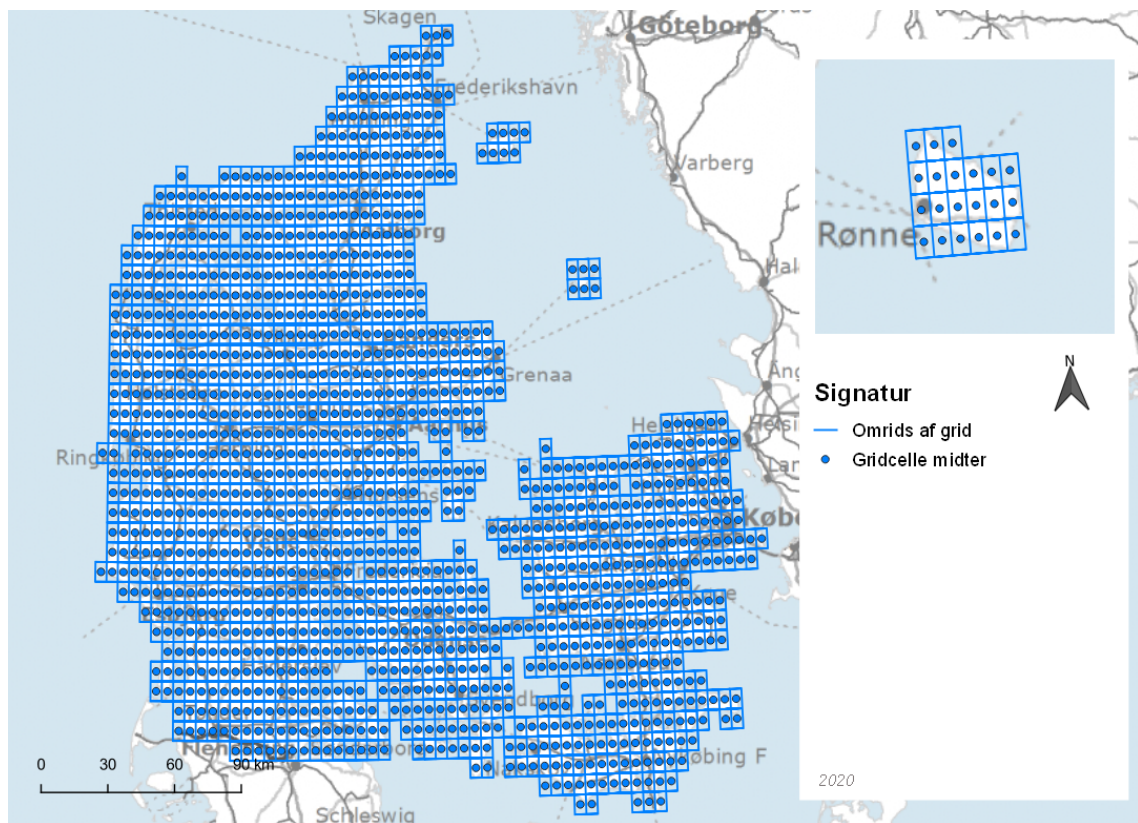
Ud fra en visuel inspektion af Netatmo Weather Map blev der d. 04.10.19 fundet 28 Netatmo stationer indenfor referenceområdet. Ved at anvende anmodningen "Getpublicdata" blev der returneret regndata fra 46 Netatmo stationer. På baggrund af dette resultat er det vurderet, at Netatmo Weather Map ikke kan anvendes til at verificere antallet af stationer indenfor referenceområdet. Det er derfor antaget at det antal Netatmo stationer, som returneres indenfor referenceområdet, som er illustreret på figur 3.5, er det antal Netatmo stationer, som det skal være muligt at returnere med et større geografiske område.

Antallet af Netatmo stationer, som blev returneret indenfor referenceområdet ved forskellige størrelser af det geografiske område, fremgår af tabel 3.3. Analysen er foretaget på forskellige dage, for at undersøge hvordan antallet af Netatmo stationer variere mellem dage.

Tabel 3.3: Antallet af returnerede Netatmo vejrstationer ved forskellige forøgelse af det geografiske område og differensen fra antallet indenfor referenceområdet.

Dato	Boks nr.	ΔLat	ΔLon	Antal returnerede	Areal [km ²]	Differens
04.10.19	Reference	0,039	0,083	46	22,49	-
	2	0,040	0,080	46	22,27	0
	3	0,080	0,080	46	44,52	0
	4	0,040	0,160	37	44,54	9
	5	0,040	0,120	37	33,41	9
	6	0,040	0,100	45	27,84	1
	7	0,120	0,080	35	66,74	11
	8	0,080	0,100	35	55,65	11
07.10.19	Reference	0,039	0,083	43	22,49	-
	2	0,040	0,080	43	22,27	0
	3	0,080	0,080	43	44,52	0
	4	0,040	0,160	33	44,54	10
	5	0,040	0,120	33	33,41	10
	6	0,040	0,100	43	27,84	0
	7	0,120	0,080	33	66,74	10
	8	0,080	0,100	33	55,65	10
09.10.19	Reference	0,039	0,083	46	22,49	-
	2	0,040	0,080	46	22,27	0
	3	0,080	0,080	46	44,52	0
	4	0,040	0,160	36	44,54	10
	5	0,040	0,120	36	33,41	10
	6	0,040	0,100	46	27,84	0
	7	0,120	0,080	36	66,74	10
	8	0,080	0,100	36	55,65	10

Det fremgår af tabel 3.3, at antallet af Netatmo vejrstationer varierer mellem dagene, hvilket ligeledes er tilfældet i tabel 3.1. Det fremgår af tabel 3.3, at de geografiske områder, præsenteret som boks nr. 2, 3 og 6, kan anvendes, da disse returnerer samme antal Netatmo stationer, som blev returneret med referenceområdet. Da det geografiske område ønskes størst mulig, er det vurderet, at en størrelse svarende til boks nr. 3 er fordelagtig, da denne ligeledes returnerer flest mulige Netatmo stationer. Danmark skal dermed inddeles i et grid bestående af gridceller af en størrelse svarende til boks. nr. 3. Dette grid består af 1314 bokse og er præsenteret på figur 3.6. Gridcellerne er nummereret efter hvilken række disse er placeret i fra nord mod syd, samt ud fra hvilket nummer gridcellen udgør fra vest mod øst (XX.XX). Gridcellerne på bornholm er tilsvarende nummereret, men er noteret med et B før nummeret (BXX.XX). Det nummererede grid er angivet i appendiks B.



Figur 3.6: Danmark inddelt i gridceller af en størrelse svarende til boks. nr. 3 i tabel 3.3.

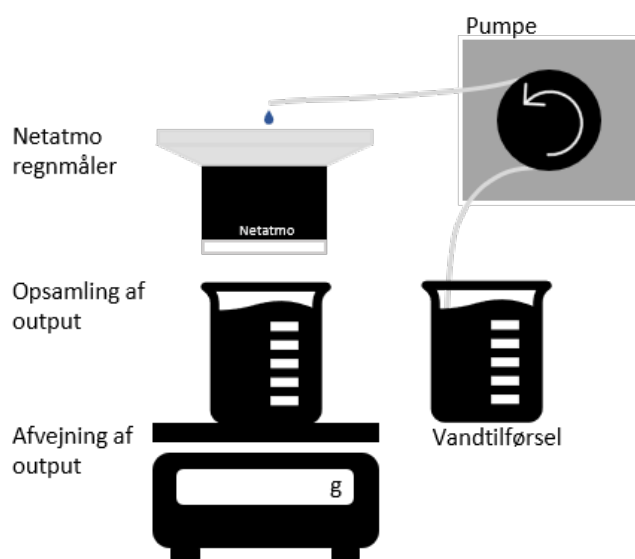
Det blev beskrevet i afsnit 3.2, at en bruger har 500 anmodninger per time. Det kræver 7.884 anmodninger per time med anmodningen "Getpublicdata" for at kunne downloade regndata på landsplan hvert 10. min fra Netatmos servere med dette grid. Hvis der skal hentes historisk regndata med anmodningen "Getmeasure" på landsplan, skal dette adderes med 26.100 anmodninger per time, hvilket resulterer i, at omkring 34.000 anmodninger er nødvendigt for at hente historisk regndata på landsplan i realtid. Dermed er det ikke muligt med én bruger at downloade regndata på landsplan hvert 10. min. Der er derfor i kapitel 5 udvalgt et område, hvorfra regndata downloades. Det er dermed antaget, at hvis der udvikles en procedure for kvalitetssikring og validering af regndataene, kan proceduren ligeledes blive anvendt på landsplan.

4. Bestemmelse af præcision af Netatmo regnmålere

I dette kapitel er de forsøg, som er foretaget med to Netatmo regnmålere præsenteret. Der er anvendt to Netatmo regnmålere for at undersøge, hvordan størrelsen af vippekar og registrering af nedbør kan variere for de enkelte stationer og imellem stationer for dermed at estimere usikkerheder, som er specifikke for Netatmo regnmålere. De forsøg, som er anvendt til at bestemme Netatmo specifikke usikkerheder, er som følger:

- Test af vippekarstørrelsen med og uden aftørring af vippekarrene efter hvert vip
- Betydningen af at kalibrere Netatmo regnmåleren for vippekarstørrelsen
- Betydningen af at regnmåleren er tildet i forskellige retninger for vippekarstørrelsen
- Test af Netatmo stationernes præstation i forhold til registrering af vip ved forskellige intensiteter
- Test af hukommelse i Netatmo stationer ved tab af internetforbindelse

Til disse forsøg er der anvendt den samme forsøgsopstilling, hvilken er illustreret på figur 4.1.



Figur 4.1: Illustration af forsøgsopstilling.

Til forsøgene er der anvendt en vandbeholder som vandtilførsel til pumpen. Pumpen fungerer ved, at der fastgøres en eller flere slanger (op til 4 slanger) af 1,02 mm i diameter til omdrejningsstykket på pumpen. Den ene ende af slangerne neddykkes i vandtilførslen, mens den anden ende føres over til regnmåleren. Pumpeydelsen fastsættes som en procentsats af pumpens maksimale omdrejningstal på 50 RPM. Forinden forsøgene er sat igang, er der foretaget en omregning fra RPM til en regnintensitet ved at omregne vægt til mm, og dividere det med tiden vandet i opsamlingsbægeret har akkumuleret over. Metoden fremgår af formel 4.1.

$$I = \frac{m}{A} \cdot \frac{1}{\text{tid}} \quad (4.1)$$

Hvor:

I	[mm/tid]	Regnintensitet
m	[g]	Masse af det opsamlede vand
ρ	[g/cm ³]	Vandets massefylde
A	[cm ²]	Tværsnitsareal af tragten til regnmåleren

På figur 4.1 er komponenterne, som indgår i forsøgsopstillingen illustreret. I de forsøg som er foretaget med regnmålerne, er vægten blevet nulstillet med regnmåleren hvilende på målebægeret. Dermed har det været muligt at afveje den totale vip forårsagende vandmængde, da en del af vandmængden opsamles i regnmålerens bund.

Test af vippekarstørrelsen med og uden aftørring er foretaget for at undersøge, om der er overensstemmelse mellem den faktiske vippekarstørrelse og den fabriksangivende størrelse. Forsøgene med aftørring er et estimat for den teoretiske størrelse, mens forsøgene uden aftørring er foretaget for at repræsentere størrelsen under et mere virkelighedsnært scenarie. Vægten af det opsamlede output fra regnmåleren er noteret efter hvert vip for at bestemme størrelsen af hver side af vippekarrene.

Det er muligt at foretage en kalibrering af Netatmo regnmålerne, og derfor er der foretaget undersøgelser, af hvad mulige resulterende vippekarstørrelser kan være. Estimerterne for kalibrerede vippekarstørrelser er sammenlignet med vippekarstørrelserne bestemt uden aftørring af regnmåleren for at undersøge, om der er overensstemmelse mellem disse.

Forsøgene, hvor regnmålerne er tiltet i forskellige retninger, er foretaget for at undersøge, om en upræcis opsætning kan have betydning for den regndybde, som resulterer til vip. Dette er undersøgt, ved at sammenligne vippekarstørrelsen når regnmåleren er tiltet med vippekarstørrelsen bestemt ud fra forsøgene uden aftørring af regnmåleren. Her er vægten ligeledes noteret efter hvert vip for at bestemme størrelsen af siderne i vippekarrene.

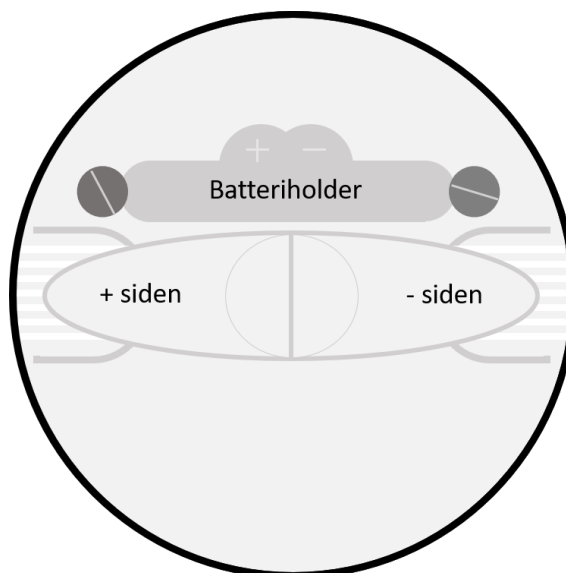
Forsøgene, hvor Netatmo stationernes præstation i forhold til registrering af vip ved forskellige intensiteter testes, har til formål at bestemme måleusikkerheder ved Netatmo stationerne. Måleusikkerhederne er estimeret ved at sammenligne antallet af vip, som er registreret af Netatmo stationen med antallet, som er manuelt registreret indenfor tidsrammen for hvert tidsstempel. De manuelle registreringer af vip er foretaget ved at notere tidspunktet for hvert vip, hvormed det kan sammenlignes, med de tidsstempler Netatmo definerer. Dette er, sammen med vippekarstørrelsen, bestemt med forsøgene uden aftørring, anvendt til at beregne en samlet fejl, som er specifik for Netatmo regnmålerne.

Testen af om der er hukommelse i Netatmo stationerne ved tab af internet er foretaget for at bestemme om regnhændelser, som forekommer under internetafbrud, går tabt eller om dette uploades til serverne, når internetforbindelsen igen er til stede. Dette er anvendt til at bestemme, om manglende data i Netatmo regnsrækkerne kan skyldes internetafbrydelse.

Inden projektets start havde Aalborg Universitet én Netatmo station. Denne regnmåler er i dette kapitel betegnet den gamle regnmåler, mens regnmåleren købt i forbindelse med projektets udarbejdelse er betegnet den nye regnmåler. Forsøgsdataene, som danner grundlaget for analyserne i dette kapitel, er præsenteret i elektronisk appendiks L.3.

4.1 Test af vippekarstørrelser med og uden løbende aftørring af regnmålerne

Størrelsen af vippekarrene er undersøgt med og uden aftørring af regnmåleren efter hvert vip. Forsøgene, hvor regnmåleren er blevet aftørret efter hvert vip, er foretaget for at bestemme den gennemsnitlige størrelse af vippekarrene. Dette er anvendt til at afklare, om den gennemsnitlige vippekarstørrelse er i overensstemmelse med den fabriksangivede størrelse. Det kan dog forekomme, at vippekarrene ikke tømmes helt for hvert vip, hvorfor der er foretaget forsøg uden aftørring af vippekarrene for at undersøge den gennemsnitlige størrelse af disse i et mere virkelighedsnært scenarie. Der er i dette kapitel anvendt betegnelserne + siden og - siden for vippekarrene, hvilke er illustreret på figur 4.2.



Figur 4.2: Illustration af betegnelser for vippekarrene.

Resultaterne af undersøgelserne af vippekarstørrelserne med og uden aftørring er præsenteret i tabel 4.1. Forsøgene er foretaget med en pumpe, som var sat til en ydelse, som svarer til 0,2 mm/5 min.

Det fremgår af tabel 4.1, at det generelt er - siden, som er større end + siden for begge regnmålere for forsøgene med og uden aftørring af regnmålerne. De mindste gennemsnit for + siden, - siden og vippekarrene som helhed er målt med den gamle regnmåler. Den største forskel mellem vippekarsiderne er målt med den nye regnmåler for forsøgene uden aftørring, mens den mindste forskel mellem vippekarsiderne er målt med den gamle regnmåler ligeledes med forsøgene uden aftørring.

Tabel 4.1: Gennemsnitlig størrelse af vippekarsiderne (hver beregnet ud fra 20 vip) samt den gennemsnitlige størrelse af vippekarrene (beregnet ud fra 40 vip).

	Gns. + side [mm/vip]	Gns. - side [mm/vip]	Gns. regnmåler [mm/vip]	Afvigelse fra standard [%]
Med aftørring				
Gammel regnmåler	0,069	0,082	0,076	- 25
Ny regnmåler	0,075	0,102	0,088	- 13
Uden aftørring				
Gammel regnmåler	0,068	0,071	0,069	- 32
Ny regnmåler	0,066	0,091	0,078	- 22

Det fremgår af tabel 4.1, at aftørring af regnmåleren efter hvert vip giver anledning til en større forskel mellem vippekarsiderne for den gamle regnmåler i sammenligning med forsøget uden aftørring. For den nye regnmåler ændres forskellen imellem vippekarsiderne ikke afhængigt af, om forsøgene er foretaget med eller uden aftørring af regnmåleren efter hvert vip. Dermed er der tilsyneladende ikke noget mønster i, om disse forsøg medvirker til at udligne eller øge forskellen mellem størrelserne af vippekarsiderne. Generelt er der opnået de mindste gennemsnit for + siden, - siden og vippekarrene som helhed for begge regnmålere med forsøgene uden aftørring. Forsøgene uden aftørring er mere virkelighedsnære i sammenligning med forsøgene med aftørring.

Det er på baggrund af resultater fra to regnmålere ikke muligt at drage nogle endegyldige konklusioner, da det er forventet, at der med andre regnmålere kan opnås andre afvigelser. På baggrund af forsøgene er det sandsynligt, at de fleste Netatmo stationer reelt har en mindre gennemsnitlig vippekarstørrelse, end hvad der er angivet som standard. Forskellene mellem vippekarsiderne kan muligvis give anledning til, at en jævn regn bliver registreret som værende mere varierende i tid, da + siden generelt vil vippe tidligere, hvilket er vurderet ud fra forsøgene foretaget på den gamle og nye regnmåler. At den gennemsnitlige vippekarstørrelse generelt er mindre end den angivende standardstørrelse på 0,101 mm/vip kan give anledning til, at regnhændelser bliver overestimeret. Dette er en udfordring, når regndata fra Netatmo stationer sammenlignes med SVK regndata, hvilket er foretaget i afsnit 6.5. Der bliver foretaget beregninger for den samlede fejl i mm/time grundet vippekarstørrelsen og eventuelle fejl i registrering af vip, som bliver belyst i afsnit 4.4, hvor Netatmo stationernes registrering af vip bliver testet ved forskellige intensiteter.

4.2 Betydning af kalibrering af regnmålere for vippekarstørrelsen

Der er foretaget forsøg, hvor regnmålerne er kalibreret på forskellig vis. Dette er anvendt til at undersøge, om den resulterende vippekarstørrelse igennem en kalibrering kan tilnærmes vippekarstørrelsen bestemt med forsøgene uden aftørring af regnmålerne efter hvert vip. Det er anbefalet at hælde 100 ml vand igennem regnmåleren og tælle antallet af vip. Den gennemsnitlige vippekarstørrelse kan derefter bestemmes med formel 4.2.

$$\left(\frac{\frac{100 \text{ ml}}{\text{Antal vip}}}{A} \right) \cdot 10 = \text{gns. regnmåler} \quad (4.2)$$

Hvor:

<i>Antal vip</i>	[-]	Antal vip imens 100 ml vand blev hældt igennem regnmåleren
<i>A</i>	[cm ²]	Tværsnitsareal af tragten til regnmåleren
<i>gns. regnmåler</i>	[mm/vip]	Den gennemsnitlige vippekarstørrelse

Det er forventet at de privatpersoner, som vælger at kalibrere stationen, foretager kalibreringen med håndkraft. Dermed er det forventet, at vandet hældes igennem regnmåleren forholdsvis hurtigt. Derfor er der for begge regnmålere foretaget forsøg, hvor denne metode er anvendt til at fastsætte den gennemsnitlige vippekarstørrelse. Resultatet af at kalibrere regnmålerne med håndkraft er præsenteret i tabel 4.2. Derudover er der foretaget et kalibreringsforsøg for begge regnmålere, hvor en pumpe er anvendt til at sikre jævn gennemstrømning af de 100 ml vand. Dette er præsenteret i tabel 4.3.

Tabel 4.2: Antal vip registreret ved håndkalibrering af regnmålerne og den resulterende gennemsnitlige vippekarstørrelse samt afvigelsen fra størrelsen, som er angivet som standard. Derudover er afvigelsen fra den gennemsnitlige vippekarstørrelse bestemt med forsøgene uden aftørring samt tiden brugt på at hælde de 100 ml vand igennem regnmåleren angivet.

Antal vip	Tid	Intensitet	Gns. regnmåler	Afvigelse fra standard	Afvigelse fra forsøg uden aftørring
[-]	[MM:ss:mmm]	[mm/min]	[mm/vip]	[%]	[%]
Gammel regnmåler					
94	03:00:34	2,67	0,085	-15,5	23,2
92	03:03:26	2,63	0,087	-13,7	26,1
38	00:13:49	37,0	0,211	109	206
Ny regnmåler					
91	02:45:26	2,92	0,088	-12,7	12,8
88	02:32:00	3,17	0,091	-9,77	16,7
83	01:51:03	4,34	0,097	-4,33	24,4

Resultatet af kalibreringen af de to regnmålere, hvor der er anvendt en pumpe, er præsenteret i tabel 4.3. Kalibreringerne med pumpe er foretaget med en ydelse, som svarer til 0,5 mm/5 min.

Tabel 4.3: Antal vip registreret ved kalibrering af regnmålerne med en pumpe og den resulterende gennemsnitlige vippekarstørrelse samt afvigelsen fra standardstørrelsen. Derudover er afvigelsen fra den gennemsnitlige vippekarstørrelse bestemt med forsøgene uden aftørring samt tiden brugt på at hælde de 100 ml vand igennem regnmåleren angivet.

Antal vip	Tid	Intensitet	Gns. regnmåler	Afvigelse fra standard	Afvigelse fra forsøg uden aftørring
[-]	[HH:MM:ss]	[mm/min]	[mm/vip]	[%]	[%]
Gammel regnmåler					
102	01:26:51	0,09	0,079	-22,2	14,5
Ny regnmåler					
99	01:24:49	0,09	0,081	-19,8	3,85

Det fremgår af tabel 4.2 og 4.3, at antallet af vip ved at hælde 100 ml vand igennem regnmåleren afhænger af hvor hurtigt, dette har foregået. Med den gamle regnmåler blev der en gang forsøgt at hælde de 100 ml igennem regnmåleren så hurtigt som muligt, uden vandet løb ud over kanten af tragtten. Dette resulterede i meget få vip, hvilket kan skyldes, at mere vand gik til spilde ved ikke at blive opsamlet af vippekarret. Derudover forekom vippene i korte intervaller, hvilket vanskeliggjorde optælling af vip. Det er formodet, at privatpersoner derfor vil vælge en hastighed, hvor optælling af vip er mulig.

Det fremgår af tabel 4.2 og 4.3, at antallet af vip for de håndkalibreringer, som tog omkring 3 minutter, ikke afviger meget fra antallet af vip opnået ved at anvende en pumpe til kalibreringen. Det fremgår ligeledes af tabellerne, at des færre vip som er optalt, des større bliver den gennemsnitlige vippekarstørrelse. Dette resulterer i mindre afvigelse mellem den gennemsnitlige vippekarstørrelse og standardstørrelsen med undtagelse for håndkalibreringen af den gamle regnmåler, hvor der blev talt 38 vip. De få vip resulterer i en vippekarstørrelse, der er større end standarden med omkring en faktor 2, hvilket illustrerer, at en ikke hensigtsmæssig kalibrering kan medvirke til større afvigelser i sammenligning med at anvende standardstørrelsen.

Af tabellerne fremgår det, at begge kalibreringsformer, for begge regnmålere, resulterer i gennemsnitlige vippekarstørrelser, som er mindre end den fabriksangivede vippekarstørrelse. De kalibrerede vippekarstørrelser er generelt større end de vippekarstørrelser, som blev bestemt med forsøget uden aftørring af vippekarrene efter hvert vip. Det fremgår dog ligeledes, at vippekarstørrelsen bestemt med pumpekalibreringen er i bedre overensstemmelse med disse.

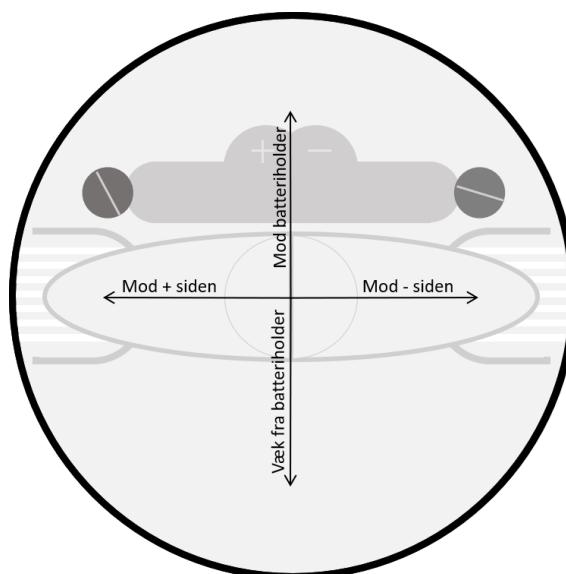
Det er vurderet sandsynligt, at privatpersoner vil kalibrere regnmålerne med intensiteter omkring 2,5 - 4,5 mm/min, hvilket er vurderet at give usikkerheder i forhold til antallet af vip og dermed den gennemsnitlige vippekarstørrelse. Disse intensiteter er tilsvarende dem anvendt i håndkalibreringsforsøgene. Det er dog vurderet, at kalibrering af Netatmo stationer er fordelagtigt, da det vil give bedre overensstemmelse med vippekarstørrelsen bestemt med forsøgene uden aftørring af måleren i sammenligning med at anvende standardstørrelsen. Der er indenfor projektlokaliteten, som er præsenteret i kapitel 5, 6 % af Netatmo stationerne, som er kalibreret, hvorfor det er vurderet, at der er risiko for, at hovedparten af Netatmo stationer indenfor området overestimerer regnhændelser. Dette vil blive undersøgt nærmere i afsnit 4.4. En station er vurderet kalibreret, når et vip i regndataene er forskellig fra den standardiserede vippekarstørrelse.

4.3 Betydning af tiltning af regnmåler for vippekarstørrelsen

Der er foretaget undersøgelser af hvordan monteringer, hvor regnmåleren hælder til forskellige sider, påvirker den gennemsnitlige vippekarstørrelse. Der er anvendt en hældning på 4,5 grader til forsøgene, da det er vurderet, at dette er den største hældning, hvor kan ligne, at regnmåleren er placeret i vatter. Der er foretaget fire forsøg for hver regnmåler, hvor regnmålerne har været tiltet i fire forskellige retninger. De fire retninger benyttet er som følger:

- Retning mod + siden
- Retning mod - siden
- Retning mod batteriholder
- Retning væk fra batteriholder

Retningerne er illustreret på figur 4.3.



Figur 4.3: Illustration af retninger som regnmålerne er tiltet i.

Resultaterne af undersøgelserne af vippekarstørrelsen hvor regnmåleren er tiltet i de fire forskellige retninger, for de to regnmålere, er angivet i tabel 4.4.

Tabel 4.4: Gennemsnitlig størrelse af siderne af vippekarrene samt den gennemsnitlige størrelse af vippekarrene. Derudover er afvigelsen fra vippekarstørrelsen bestemt med forsøgene uden aftørring angivet.

Tilt retning [-]	Gns. + side [mm/vip]	Gns. - side [mm/vip]	Gns. regnmåler [mm/vip]	Afvigelse fra forsøg uden aftørring [%]
Gammel regnmåler				
Retning mod + siden	0,049	0,113	0,081	16,8
Retning mod - siden	0,088	0,066	0,077	10,7
Retning mod batteriholder	0,063	0,082	0,072	4,11
Retning væk fra batteriholder	0,068	0,073	0,070	1,22
Ny regnmåler				
Retning mod + siden	0,053	0,120	0,087	10,8
Retning mod - siden	0,082	0,076	0,079	1,15
Retning mod batteriholder	0,071	0,097	0,084	6,68
Retning væk fra batteriholder	0,077	0,078	0,078	1,18

Det fremgår af tabel 4.4, at der generelt for begge regnmålere er opnået den største afvigelse fra forsøgene uden aftørring ved at tilte regnmålerne i retning mod + siden. Generelt for forsøgene med regnmålerne tiltet i denne retning er gennemsnittet for - siden øget mere, end gennemsnittet for + siden er blevet mindre, hvilket resulterede i, at det samlede gennemsnit af vippekarret for de to regnmålere blev større.

Det fremgår ligeledes af tabel 4.4, at gennemsnittet for + siden ikke øges i samme grad, når regnmålerne er tiltet mod - siden, som gennemsnittet for - siden blev øget ved, at regnmålerne er tiltet mod + siden. Derfor er afvigelserne ikke blevet lige så store når regnmålerne tiltes mod - siden. For den nye regnmåler blev gennemsnittet for + siden øget omkring lige så meget, som gennemsnittet for - siden blev mindre, hvilket resulterede i, at afvigelsen fra forsøgene uden aftørring af målerne blev begrænset.

Forsøgene, hvor regnmålerne er tiltet mod batteriholderne, har generelt øget gennemsnittet for + siden og - siden, hvilket giver anledning til, at det samlede gennemsnit øges for begge regnmålere. Forskellen mellem afvigelserne fra forsøgene uden aftørring for de to regnmålere er begrænset. I forsøgene, hvor regnmålerne er tiltet væk fra batteriholderen, er afvigelsen fra forsøgene uden aftørring begrænset. Forskellen mellem at tilte regnmåleren mod batteriholderen og væk fra batteriholderen er begrænset for den gamle regnmåler, mens der er en større forskel for den nye regnmåler.

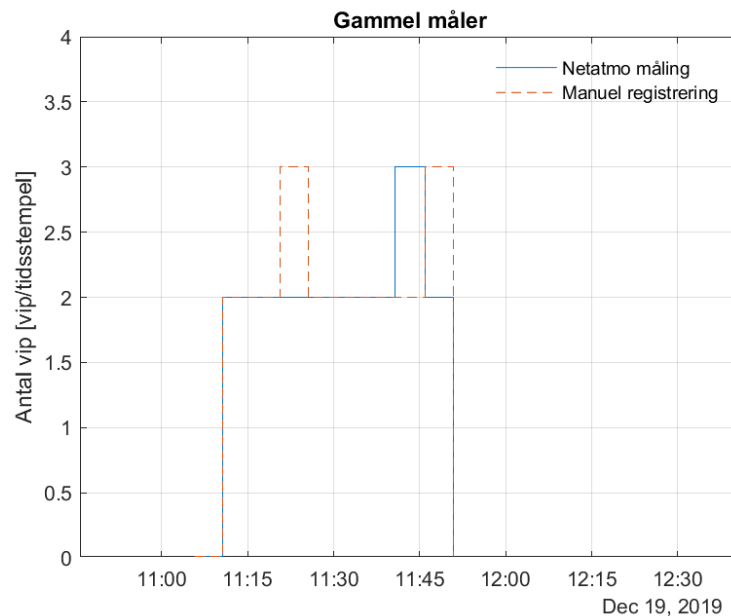
Generelt for forsøgene er den gennemsnitlige vippekarstørrelse øget ved at tilte regnmålerne med en hældning på 4,5 grader. De gennemsnitlige vippekarstørrelser er dog væsentligt mindre end den angivne standardstørrelse, og dermed vil regnhændelser ligeledes overestimeres med regnmålere tiltet i 4,5 grad, såfremt regnmålerne ikke er kalibrerede.

4.4 Test af stationers registrering af vip ved forskellige intensiteter

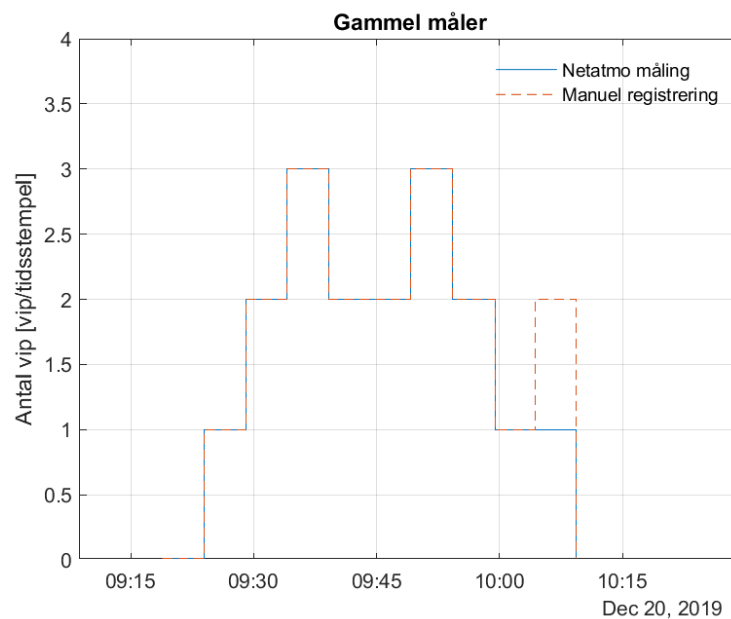
Der er foretaget forsøg, som har haft til formål at bestemme, hvor gode Netatmo stationer er til at måle nedbør med forskellige intensiteter. Derudover er disse forsøg anvendt til at undersøge, om der kan være forsinkelse i registreringen af vip. Det er undersøgt ved tre forskellige intensiteter 0,2 mm/5 min, 0,5 mm/5 min og 6,0 mm/5 min, hvor den sidstnævnte er den højeste intensitet, som var mulig med den anvendte pumpe. Regndataene, som efter forsøgene er sammenlignet med de manuelle registreringer, er hentet med anmodningen "Getmeasure", som kan hente historisk regndata, hvilket blev beskrevet i afsnit 3.2. Ydermere indeholder dette afsnit beregninger af den samlede fejl grundet vippekarstørrelsen og eventuelle fejlregistreringer i mm/time for hvert forsøg.

Med intensiteten på 0,2 mm/5 min er der foretaget to forsøg med den gamle regnmåler, hvilket er præsenteret på figur 4.4 og 4.5, mens der for den nye regnmåler er foretaget tre forsøg, da hovedparten af vip i det første forsøg ikke blev registreret. De tre forsøg med den nye regnmåler er præsenteret på figur 4.6, 4.7 og 4.8.

Forsøget illustreret på figur 4.4 indikerer, at der kan være forsinkelser i registreringen af vip. Der er registreret et vip mere, end der er målt med den gamle regnmåler omkring kl. 11:20 - 11:25. Det er muligt, at dette vip er tilskrevet tidsstempellet omkring kl. 11:40 - 11:45, hvor der er målt et vip mere, end hvad der er registreret manuelt. Dog er det ligeledes muligt, at det er grundet fejl i den manuelle registrering, at der er målt et vip mere omkring kl. 11:40 - 11:45. I forsøget illustreret på figur 4.5 er der målt et vip mindre med den gamle regnmåler, end der er registreret manuelt. Det manglende vip er ikke registreret i et senere tidsstempel. I begge forsøg er der registreret 18 vip manuelt.

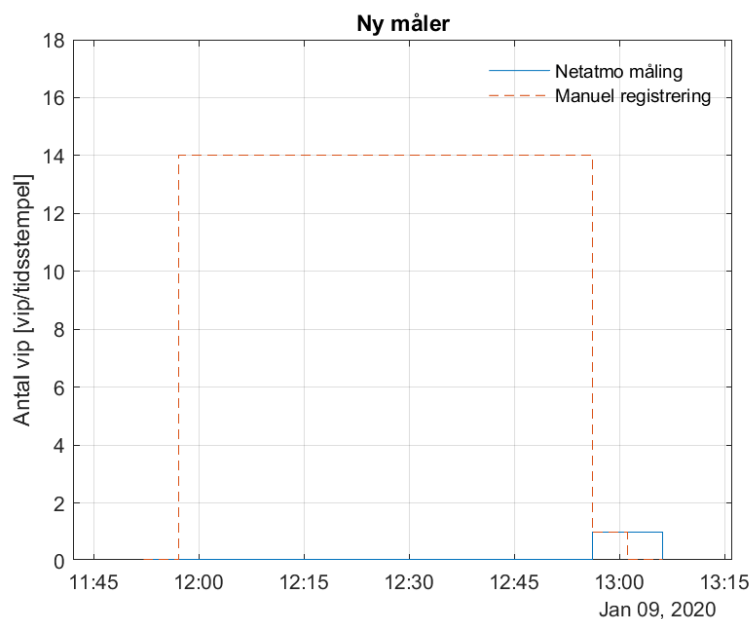


Figur 4.4: Manuel registrering af vip og Netatmo registrering af vip for den gamle regnmåler med en intensitet på 0,2 mm/5 min.



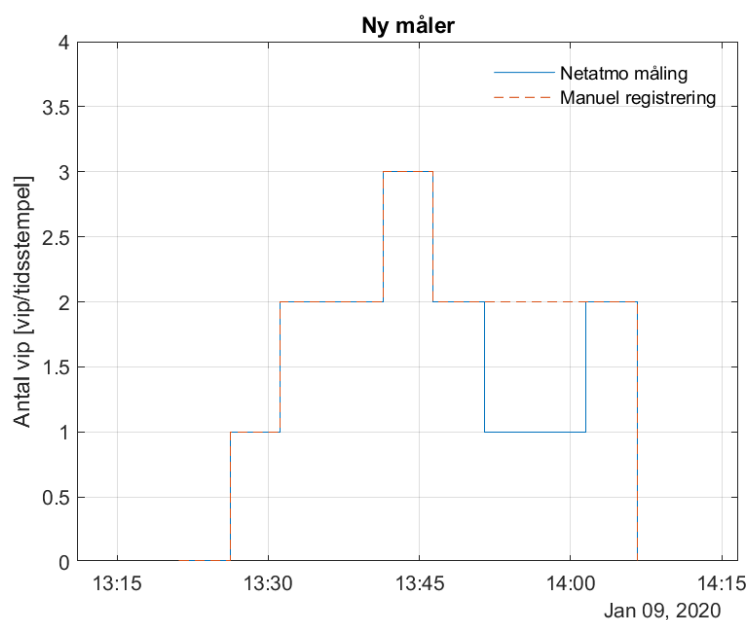
Figur 4.5: Manuel registrering af vip og Netatmo registrering af vip for den gamle regnmåler med en intensitet på 0,2 mm/5 min.

Det første forsøg med den nye regnmåler med intensiteten på 0,2 mm/5 min var ikke vellykket. Der var ikke en tidlig opløsning på de normale 5 min af det historiske regnprodukt. Forsøget er foretaget fra kl. 12:22 - 13:01, hvor hovedparten af de manuelle registreringer indenfor denne periode er placeret i et tidsstempel fra kl. 11:57 - 12:56, hvilket er et usædvanligt langt tidsstempel. Udover den udsædvanlige diskretisering i tid er der kun målt 2 vip ud af 16 vip med den nye regnmåler. Forsøget blev startet kort tid efter, at den nye regnmåler blev koblet til Netatmo stationen, og det er muligt, at dette er årsagen til det mislykkede forsøg.

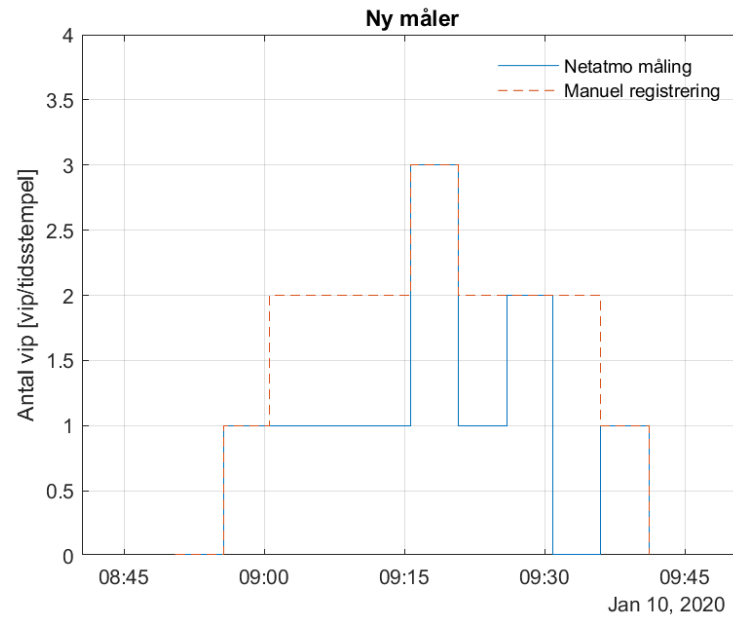


Figur 4.6: Manuel registrering af vip og Netatmo registrering af vip for den nye regnmåler med en intensitet på 0,2 mm/5 min.

I sammenligning med forsøgene med den gamle regnmåler er der målt færre vip, end der er manuelt registreret med den nye regnmåler for intensiteten på 0,2 mm/5 min. I forsøget med den nye regnmåler, som er præsenteret på figur 4.7, er der målt to færre vip, end hvad der er registreret manuelt. De to vip er ikke blevet tilskrevet senere tidsstempeller. I forsøget præsenteret på figur 4.8 er der målt 6 færre vip, hvilke ligeledes ikke er tilskrevet senere tidsstempeller. Der er manuelt registreret 16 og 17 vip for forsøget præsenteret på henholdsvis figur 4.7 og 4.8.

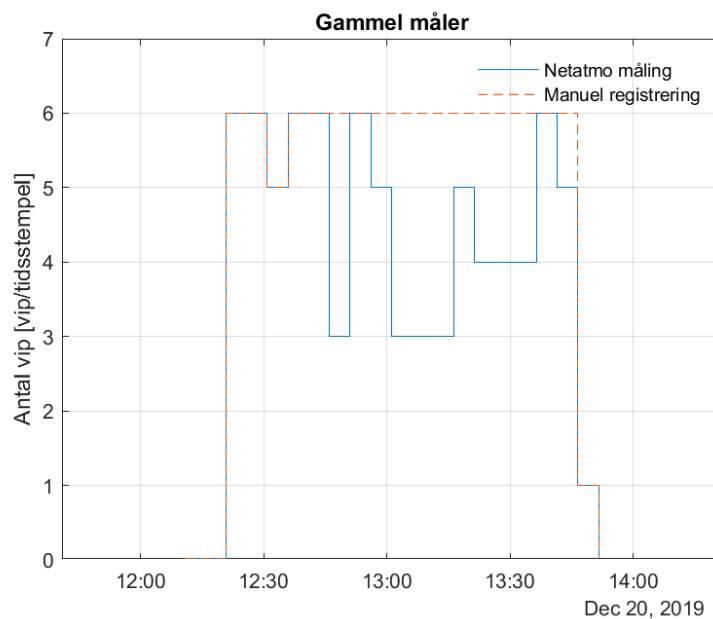


Figur 4.7: Manuel registrering af vip og Netatmo registrering af vip for den nye regnmåler med en intensitet på 0,2 mm/5 min.



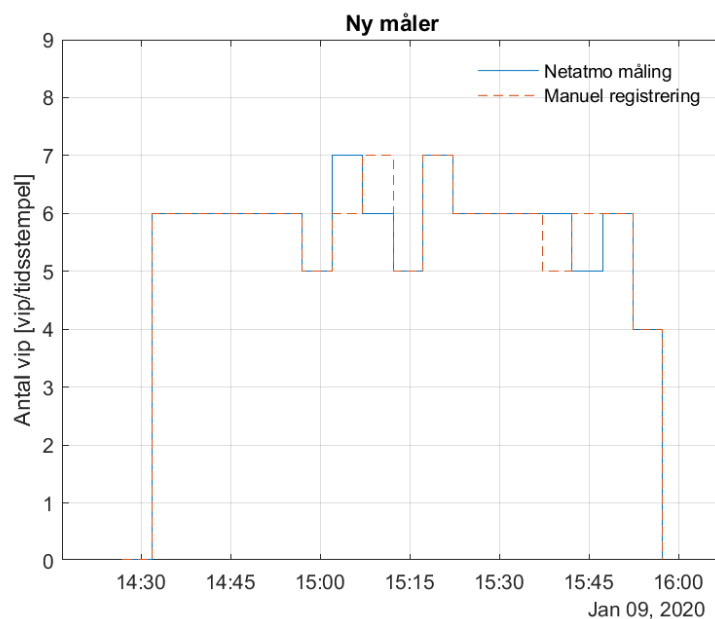
Figur 4.8: Manuel registrering af vip og Netatmo registrering af vip for den nye regnmåler med en intensitet på 0,2 mm/5 min.

Med intensiteten 0,5 mm/5 min er der foretaget et forsøg for henholdsvis den gamle regnmåler og den nye regnmåler. Forsøget med den gamle regnmåler er præsenteret på figur 4.9, hvor det fremgår, at der er målt 21 færre vip med Netatmo stationen, end der er registreret manuelt.



Figur 4.9: Manuel registrering af vip og Netatmo registrering af vip for den gamle regnmåler med en intensitet på 0,5 mm/5 min.

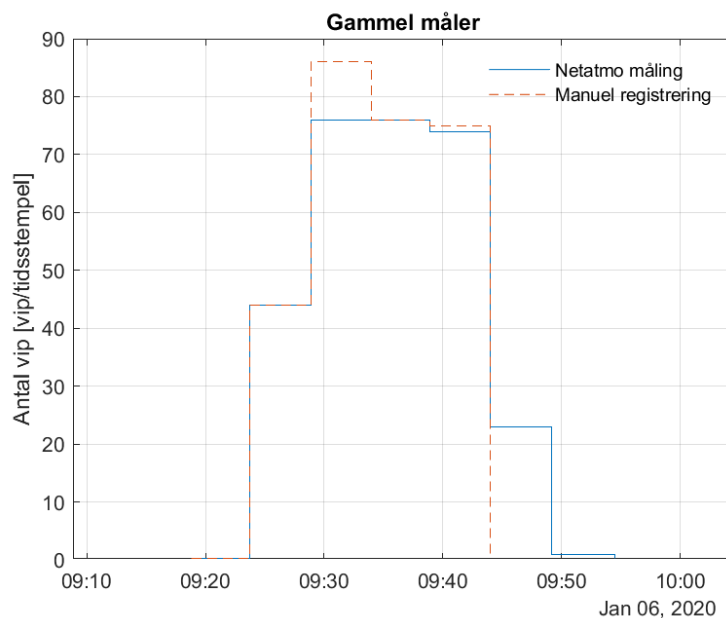
I forsøget præsenteret på figur 4.10 er der målt 99 vip med den nye regnmåler, hvilket er det samme, som der er registreret manuelt. Det fremgår dog, at der to gange i serien er målt et vip mere, end der er registreret i et tidsstempel, og der i det efterfølgende tidsstempel er målt et vip mindre. Dette indikerer, at der har været fejl i den manuelle registrering af vip.



Figur 4.10: Manuel registrering af vip og Netatmo registrering af vip for den nye regnmåler med en intensitet på 0,5 mm/5 min.

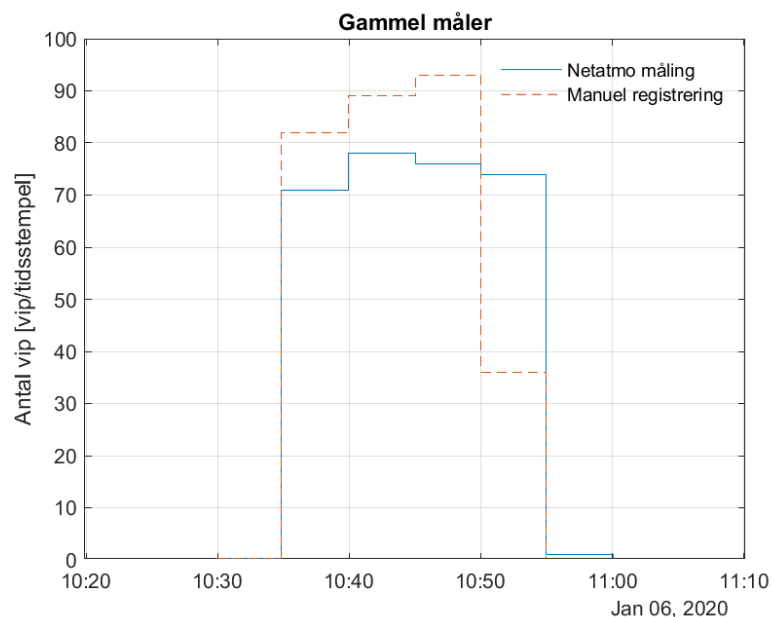
Med intensiteten 6,0 mm/5 min er der foretaget to forsøg med henholdsvis den gamle regnmåler og nye regnmåler. Forsøgene med den gamle regnmåler er præsenteret på figur 4.11 og 4.12.

Det fremgår af figur 4.11, at der har været forsinkelser i regnmålerens registreringer, da der er tilskrevet vip til senere tidsstemppler, end de tidsstemppler hvor der er foretaget manuel registrering indenfor. Den gamle regnmåler har målt 294 vip, mens der er registreret 291 vip manuelt. Dette indikerer, at der har været fejl i den manuelle registrering af vip.



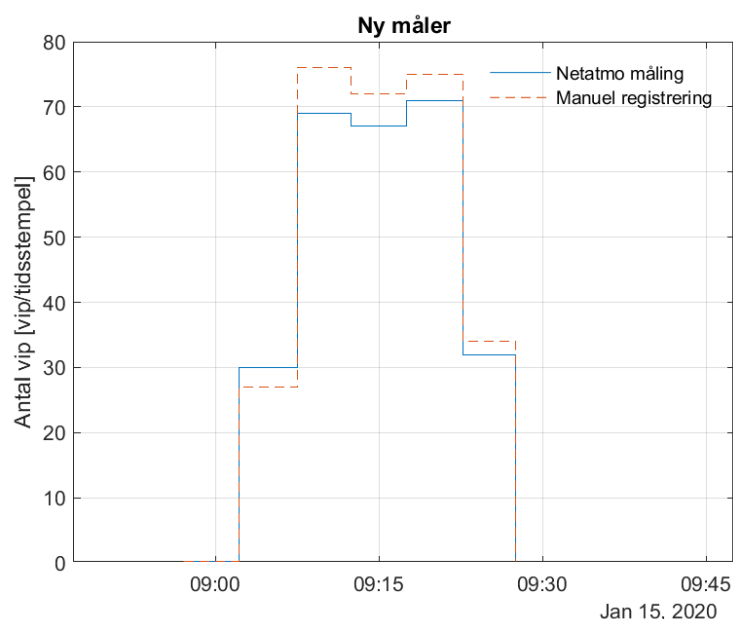
Figur 4.11: Manuel registrering af vip og Netatmo registrering af vip for den gamle regnmåler med en intensitet på 6,0 mm/5 min.

I forsøget præsenteret på figur 4.12 er der generelt målt for få vip med den gamle regnmåler, men i det sidste tidsstempel er der målt væsentligt flere vip, end der blev registreret manuelt. Dette kan skyldes, at der generelt i denne periode med den gamle regnmåler har været forsinkelser i registreringerne. Der er registreret 300 vip manuelt, hvor Netatmo stationen har registreret 299 vip.



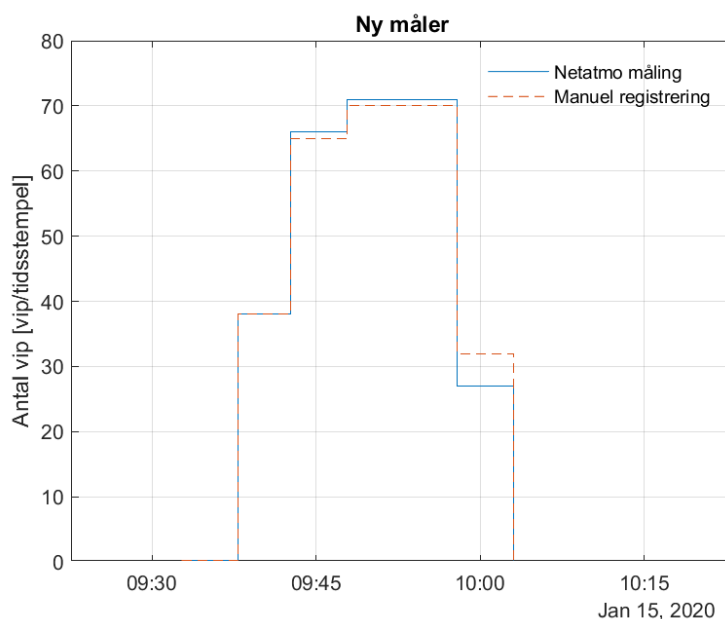
Figur 4.12: Manuel registrering af vip og Netatmo registrering af vip for den gamle regnmåler med en intensitet på 6,0 mm/5 min.

Forsøgene med den nye regnmåler med en intensitet på 6,0 mm/5 min er præsenteret på figur 4.13 og 4.14. Det fremgår af figur 4.13, at der i det første tidsstempel er målt flere vip med den nye regnmåler, end hvad der er registreret manuelt. Dette skyldes sandsynligvis fejl i den manuelle registrering af vip. Der er registreret 284 vip manuelt, mens der er målt 269 vip med den nye regnmåler.



Figur 4.13: Manuel registrering af vip og Netatmo registrering af vip for den nye regnmåler med en intensitet på 6,0 mm/5 min.

Der er ligeledes målt flere vip med den nye regnmåler i nogle tidsstemppler i forsøget præsenteret på figur 4.14. I sidste tidsstempel er der dog registreret væsentligt flere vip manuelt, i sammenligning med hvad der er målt med den nye regnmåler. I dette forsøg er der registreret 275 vip manuelt, mens der er målt 273 med regnmåleren.



Figur 4.14: Manuel registrering af vip og Netatmo registrering af vip for den nye regnmåler med en intensitet på 6,0 mm/5 min.

Der er blevet anvendt tre forskellige intensiteter i form af tre forskellige konstante pumpeydeler. Generelt for alle forsøgene afspejles dette ikke i serierne af vip, da serierne varierer. Forskellen imellem størrelsen af - siden og + siden for begge regnmålere samt den tidslige diskretisering af regndataene er formodentligt årsagen til, at en konstant regn repræsenteres som en varierende regn. Det fremgår af figurene, at der i nogle af forsøgene er målt væsentligt færre vip med regnmålerne i forhold til antallet, som blev registreret manuelt. I tabel 4.5 er der for de forskellige forsøg angivet forholdet mellem antal målte og manuelt registrerede vip.

Tabel 4.5: Forholdet mellem antallet af målte vip med regnmålerne og antallet af manuelt registrerede vip.

Intensiteten [mm/5 min]	Gammel regnmåler		Ny regnmåler	
	[Målte vip/registrerede vip]	[%]	[Målte vip/registrerede vip]	[%]
0,2	17/18	94,4	2/16	12,5
	17/18	94,4	14/16	87,5
			11/17	64,7
0,5	81/102	79,4	99/99	100
6,0	294/291	101	269/284	94,7
	299/300	99,7	273/275	99,3

Det fremgår af tabel 4.5, at der generelt bliver målt for få vip med Netatmo regnmålerne. Dette kan medvirke til at regnhændelser underestimeres. Derudover er det vist, at den gennemsnitlige vippekarstørrelse generelt er mindre, end hvad der er angivet som standard, hvilket kan give anledning til overestimering af regnhændelser.

Derfor er der beregnet en samlet fejl i mm/time, for at undersøge om disse fejl udligner hinanden eller om regnhændelser generelt under- eller overestimeres. Metoden til at beregne den samlede fejl er præsenteret med formel 4.3.

$$F_{samlet} = (Vip_{Netatmo} \cdot 0,101 \text{ mm/vip}) - (Vip_{Manuel} \cdot gns. \text{ regnmåler}) \quad (4.3)$$

Hvor:

F_{samlet}	[mm/time]	Samlet fejl grundet vippekarstørrelse og fejl i registrering af antal vip
$Vip_{Netatmo}$	[vip/time]	Antal vip målt med Netatmo stationen per time
Vip_{Manuel}	[vip/time]	Antal manuelt registrerede vip per time
$gns. \text{ regnmåler}$	[mm/vip]	Den gennemsnitlige vippekarstørrelse

Den beregnede samlede fejl, som resultat af en mindre vippekarstørrelse end angivet og manglende registreringer af vip, er præsenteret i tabel 4.6. Derudover er den samlede fejl beregnet, hvor standardstørrelsen på 0,101 mm/vip er udskiftet med den gennemsnitlige vippekarstørrelse bestemt med pumpekalibreringen for den pågældende regnmåler, hvilke blev præsenteret i tabel 4.3. Denne fejl er ligeledes præsenteret i tabel 4.6.

Tabel 4.6: Den samlede fejl grundet mindre vippekarstørrelse i sammenligning med standardstørrelsen og grundet manglende registreringer af vip. Den samlede fejl, hvor den gennemsnitlige vippekarstørrelse for regnmåleren bestemt med pumpekalibrering er anvendt, er ligeledes angivet.

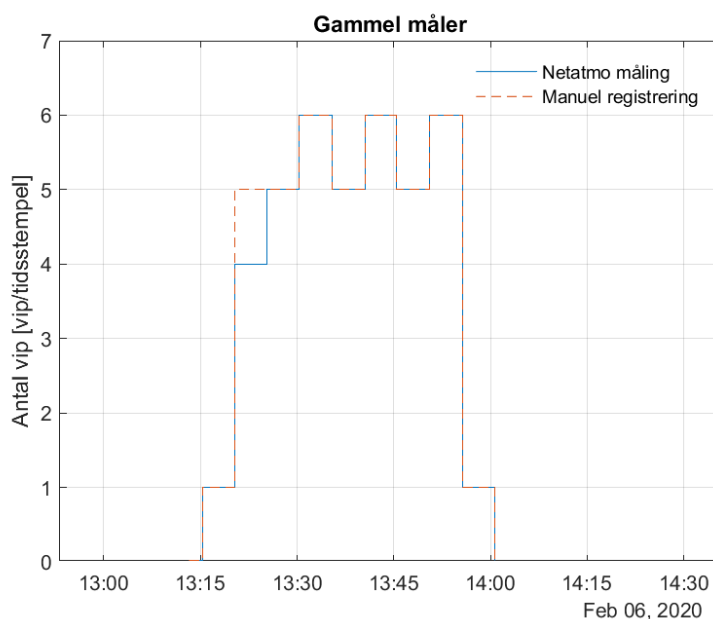
Intensiteten [mm/5 min]	F_{samlet} [mm/time]		F_{samlet} [mm/time]	
	Standard	Kalibreret	Standard	Kalibreret
	Gammel regnmåler		Ny regnmåler	
0,2	0,72	0,15	-1,62	-1,68
	0,70	0,14	0,24	-0,19
			-0,34	-0,68
0,5	0,76	-0,47	1,54	0,17
6,0	33,6	10,74	14,7	-1,48
	33,2	9,93	18,0	1,61

Den angivende præcision for Netatmo regnmålerne er 1 mm/time [Netatmo, 2020, afs. Specifikationer for smart regnmåler - Sensorer og målinger]. Det er ikke angivet, om denne værdi er intensitetsafhængig, og derfor er der ikke foretaget en sammenligning med præcisionen for SVK og DMI systemet. Af tabel 4.6 fremgår det, at det er fejl af størrelsesordenen på 1 mm/time, som forekommer i forsøgene med en intensitet på 0,2 - 0,5 mm/5 min, og hvor den standardiserede vippekarstørrelse er anvendt. Det fremgår ligeledes af tabel 4.6, at der er opnået væsentligt større fejl ved en intensitet på 6,0 mm/5 min. Denne intensitet svarer til 72 mm/time, hvilket er indenfor det angivende gyldige måleinterval på 150 mm/t for Netatmo regnmålerne [Netatmo, 2020, afs. Specifikationer for smart regnmåler - Sensorer og målinger]. Generelt for forsøgene med forskellige intensiteter, hvor den standardiserede vippekarstørrelse er anvendt, overestimerer Netatmo stationerne i sammenligning med, hvad der burde være målt. Denne overestimering øges væsentligt ved højere intensiteter og overskrider den angivende præcision også for intensiteter, som er indenfor regnmålerens måleinterval. Generelt reduceres den samlede fejl væsentligt, når de pumpekalibrerede vippekarstørrelse er anvendt frem for den standardiserede.

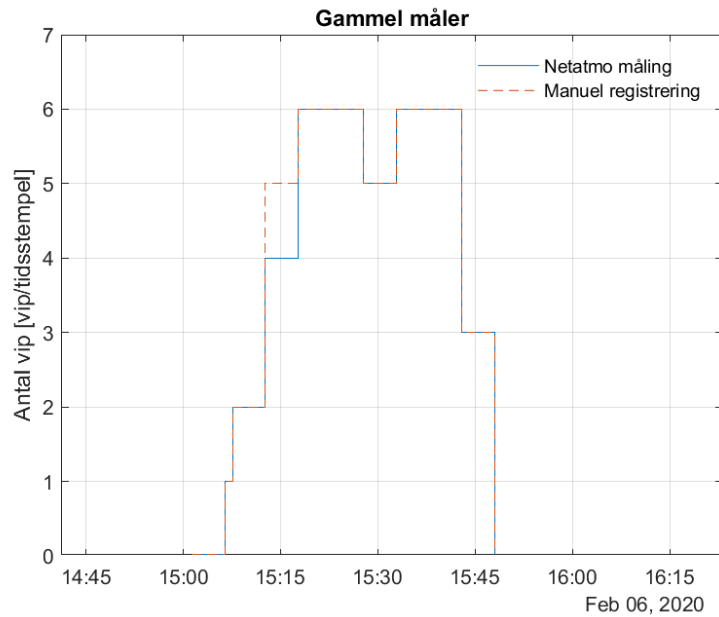
4.5 Test af hukommelse i stationer ved tab af internetforbindelse

Der er foretaget forsøg, som har haft til formål at bestemme, om der er lagringskapacitet i Netatmo stationerne, som kan udnyttes, hvis internetforbindelsen er nede. Hvis dette er tilfældet, er forsøgene anvendt til at undersøge, hvilke tidsstemppler regndataene tilskrives, altså hvorvidt regndataene vil være forskudt, med den tid internetforbindelsen har været nede. Forsøgene er udført ved, at internetforbindelsen blev slået fra, hvilket forhindrede Netatmo stationen fra at uploade regndata til serverne. Kort tid efter internetforbindelsen er frakoblet, er forsøgene startet, hvor der er blevet foretaget manuelle registreringer af vip. Efter forsøgene er afsluttet, er der gået minimum 30 minutter, til internetforbindelsen blev tilsluttet igen. Til disse forsøg er den gamle regnmåler anvendt, og der er anvendt en intensitet på 0,5 mm/5 min.

Der er foretaget to forsøg med en varighed på omkring 35 minutter, et forsøg med en varighed på omkring 2 timer og et forsøg på omkring en uge. Varighederne på 35 minutter og 2 timer er valgt, da det er vurderet mest sandsynligt, at længerevarende internetproblemer har en varighed svarende til dette. Forsøgene med en varighed på omkring 35 min er præsenteret på figur 4.15 og 4.16. Det fremgår af figurene, at der i begge forsøg er målt et vip for lidt i sammenligning med antallet af vip, som blev manuelt registreret. Derudover er der fuld overensstemmelse mellem antallet af målte og manuelt registrerede vip.

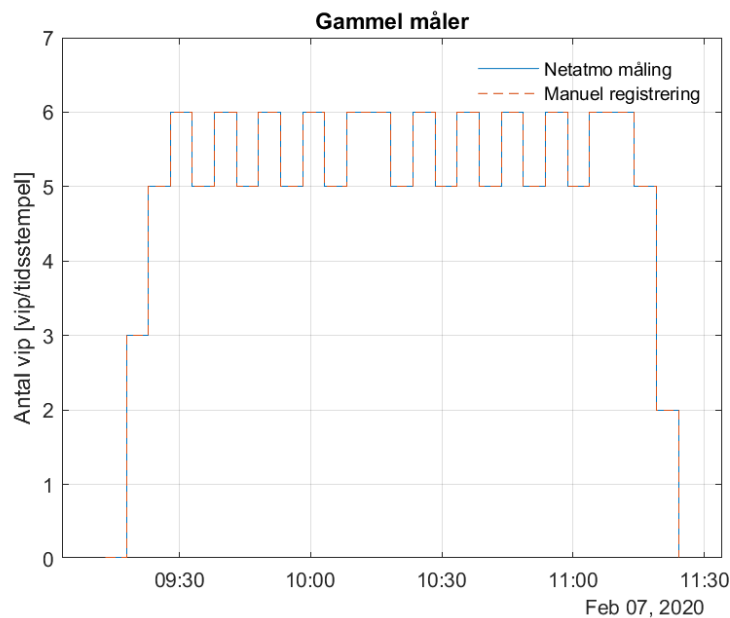


Figur 4.15: Manuel registrering af vip og Netatmo registrering af vip for den gamle regnmåler i et af hukommelsesforsøgene med en varighed på 35 min.



Figur 4.16: Manuel registrering af vip og Netatmo registrering af vip for den gamle regnmåler i et af hukommelsesforsøgene med en varighed på 35 min.

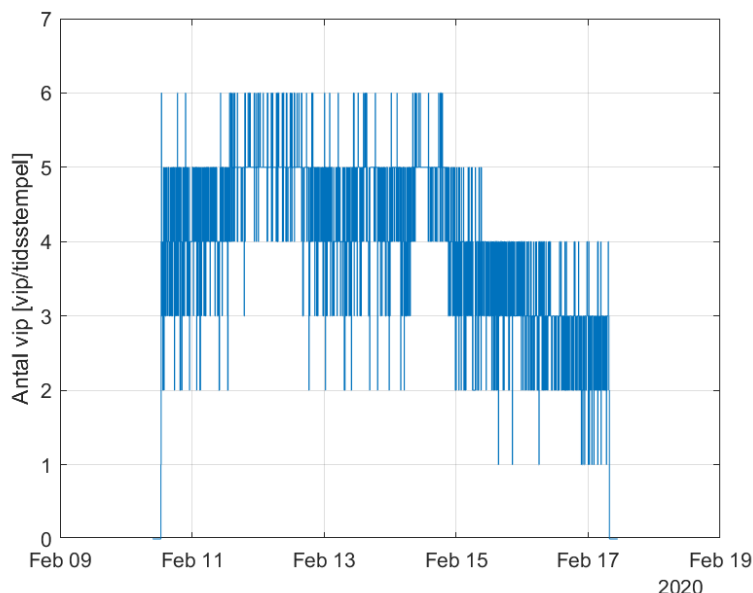
På figur 4.17 er forsøget med en varighed på 2 timer præsenteret. Det fremgår af figuren, at der er fuld overensstemmelse mellem antallet af vip målt med den gamle regnmåler og antallet, som blev registreret manuelt.



Figur 4.17: Manuel registrering af vip og Netatmo registrering af vip for den gamle regnmåler i hukommelsesforsøget med en varighed på 2 timer.

Der er foretaget et forsøg med en varighed på omkring en uge for at undersøge, om Netatmo stationen har lagerkapacitet til perioder af denne varighed. Der er ikke blevet foretaget manuelle registreringer i denne periode, men den samme intensitet på 0,5 mm/5 min er blevet anvendt.

Dermed er det forventet, at regnserien er tilsvarende de tre andre hukommelsesforsøg. Det fremgår at figur 4.18, at regnserien er tilsvarende de øvrige hukommelsesforsøg, dog blev intensiteten mindre omkring d. 15.02.20, hvilket er forventet at skyldes lækage fra den anvendte slange. Dette har medført, at mindre vand er blevet pumpet i regnmåleren.



Figur 4.18: Netatmo registrering af vip for den gamle regnmåler i hukommelsesforsøget med en varighed på en uge.

Dermed har der for forsøgene med en varighed på omkring 35 min været en overensstemmelse på 98 % mellem antallet af målte vip og antallet registreret manuelt. For forsøget som havde en varighed på 2 timer, har der været en overensstemmelse på 100 %. Derudover er der hukommelse til regndata fra en periode på en uge og sandsynligvis mere. Det er bemærkelsesværdigt, at der tilsyneladende er bedre overensstemmelse mellem antallet af målte og manuelt registrerede vip, når internettet er frakoblet. Med de varigheder som er blevet undersøgt, har der dermed ikke været problemer med lagerplads, samt regndataene er blevet tilskrevet de rigtige tidsstempler.

Opsummering

Det er i dette kapitel vist, at der forekommer store afvigelser imellem den gennemsnitlige vippekarstørrelse og den angivende standardstørrelse. Dette er tilfældet for forsøgene med og uden aftørring af regnmålerne efter hvert vip samt forsøgene, hvor regnmålerne var tiltet 4,5 grader i fire forskellige retninger. Det fremgik ligeledes af forsøgene, hvor regnmålerne var tiltet i retningen mod + siden, at dette kunne øge forskellen mellem vippekarsiderne. Det er vurderet at dette kan påvirke timingen af vip og dermed repræsentationen af regnhændelser. Placeringen og kvaliteten af opsætningen af regnmålerne er ukendte, og derfor er det ikke muligt at bestemme usikkerhederne relateret til dette for den enkelte Netatmo station.

Det er vurderet, at kalibrering af Netatmo stationerne generelt vil give anledning til en nedjustering af vippekarstørrelsen i sammenligning med den angivende standardstørrelse. De opnåede vippekarstørrelser, ved at kalibrere regnmålerne er mere sammenlignelige med den gennemsnitlige vippekarstørrelse bestemt ved forsøgene uden aftørring af vippekarrene efter hvert vip. Det fremgår ligeledes af beregningerne for den samlede fejl, hvor pumpekalibrerede vippekarstørrelser er anvendt frem for den standardiserede vippekarstørrelse, at det er fordelagtigt at foretage kalibreringer af Netatmo stationer. Det er dog afhængigt af udførelsen af kalibreringerne, om kalibrering af stationerne er fordelagtig. Indenfor projektlokaliteten, som er præsenteret i kapitel 5, er omkring 6 % af Netatmo stationerne kalibreret. Da kalibreringsprocenten er lav, og det er vurderet, at kalibrering af Netatmo stationer generelt har en positiv effekt på Netatmo stationsdataene, er det vurderet, at der er et potentiale for at forbedre Netatmo regndata ved at foretage en kalibrering.

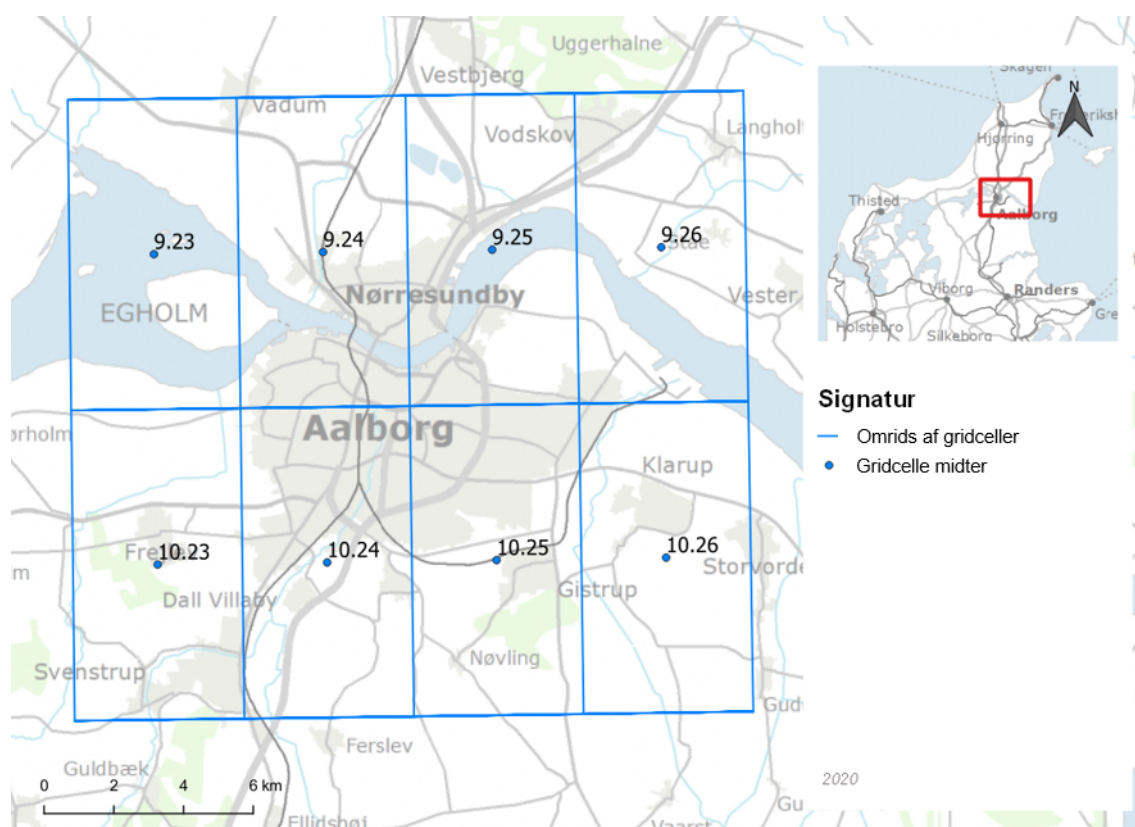
Det er igennem forsøg med forskellige regnintensiteter vist, at der kan være målt for få vip med Netatmo stationerne, hvilket kunne medvirke til at regnhændelser underestimeres. Der blev dog foretaget en samlet beregning for fejlen i mm/time, ved at standardstørrelsen for vippekarrene er anvendt, samt at Netatmo stationerne kan måle for få vip. På baggrund af disse beregninger er det vurderet, at der er risiko for, at Netatmo stationerne generelt overestimerer regnhændelser, og at denne overestimering øges væsentligt ved højere intensitet, som dog er indenfor det angivende måleinterval. Da der forekommer store stationsspecifikke usikkerheder, er det vurderet, at Netatmo stationerne ikke kan anvendes som egenstående værdier, før der er foretaget en kvalitetssikring af stationsdataene. Det er ligeledes vurderet, at der kan være potentiale for at kombinere Netatmo regndata til et samlet regnprodukt, da antallet af Netatmo stationer er højt.

De Netatmo specifikke fejl er bestemt på baggrund af to regnmålere, hvilket giver anledning til usikkerheder. Derfor er der forinden udarbejdelsen af kvalitetssikringsproceduren foretaget en analyse af, hvor meget døgnsummer målt med Netatmo stationer indenfor et afgrænset område afviger fra den nærmeste SVK station. Denne analyse er foretaget i kapitel 8 og er blandt andet anvendt til at analysere, om Netatmo stationer generelt overestimerer regnhændelser i sammenligning med SVK stationer. Forinden denne analyse er der foretaget en analyse i kapitel 6, som har til formål at udvælge det Netatmo regnprodukt, som er fordelagtig at anvende i videre analyser.

I dette kapitel er det ligeledes vist, at afbrydelser i internetforbindelsen sandsynligvis ikke vil give anledning til manglende regndata i regnserierne fra de enkelte Netatmo stationer, da regndataene uploades til serverne, når der igen er forbindelse. Derudover blev det vist, at der er lagerkapacitet til en uge, og det er vurderet, at den egentlige lagerkapacitet sandsynligvis ville kunne bestemmes, hvis der blev foretaget en inspektion af mikrochippen i stationen ved at skille den ad. Da der forekommer hukommelse i Netatmo stationer, er det dermed ikke internetafbrydelser, som giver anledning til, at der kan forekomme manglende data eller lange tidsstempler i Netatmo regnserierne. Disse fejl må dermed tilskrives andre kilder, som muligvis kan være manglende batteri, udendørsmodul har en placering med dårlig radiosignal til indendørsmodul eller tilstopning af regnmåleren.

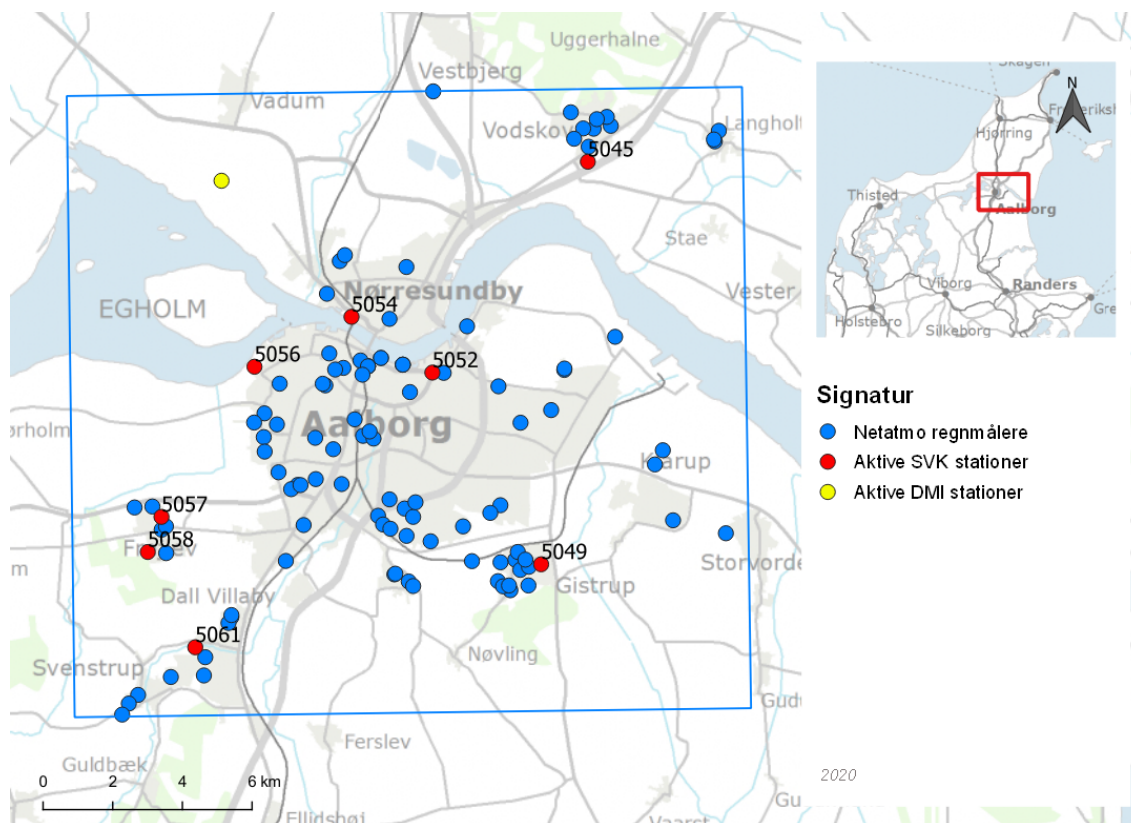
5. Projektlokalitet og data til sammenligning

I dette kapitel er det område, hvor der er indhentet regndata fra, til vurdering af hvilket Netatmo regnprodukt, som er fordelagtigt at anvende, beskrevet. Det er valgt at have fokus på Aalborg og omegn, da det er igennem Aalborg Universitet, at projektgruppen har fået adgang til en Netatmo station med tilkoblet regnmåler. Det udvalgte område inkluderer Aalborg og Nørresundby samt de større byer i omegnen, hvilke er Vodskov, Klarup, Gistrup, Svenstrup og Frejlev. De gridceller som er anvendt til at indhente regndata fra Netatmo stationer med tilkoblet regnmåler fremgår af figur 5.1.



Figur 5.1: Gridceller som er anvendt til at indhente regndata fra Netatmo stationer med tilkoblet regnmåler i Aalborg og omegn.

Der er i Aalborg og Nørresundby placeret tre SVK stationer. Der er placeret en SVK station i hver af byerne Vodskov, Gistrup og Svenstrup, og i Frejlev er der placeret to SVK stationer. Placeringen af SVK stationer indenfor det udvalgte område fremgår af figur 5.2. Placeringen af DMI nedbørstationerne er ligeledes angivet, og det fremgår af figuren, at disse hovedsageligt er placeret nær SVK stationerne. Derudover er placeringen af Netatmo stationer med tilkoblet regnmåler angivet på figuren.



Figur 5.2: Placering af Netatmo stationer med tilkøbt regnmåler (d. 01.11.19), SVK stationer samt DMI nedbørsstationer. [Sarup, 2019; Vilic, 2013, tab. 2; kap. 6]

Det totale antal Netatmo stationer med tilkøbt regnmåler samt antallet indenfor de anvendte gridceller d. 01.11.19 fremgår af tabel 5.1. Derudover er antallet af SVK stationer og DMI nedbørsstationer indenfor de enkelte gridceller angivet i tabel 5.1.

Tabel 5.1: Det totale antal Netatmo stationer, SVK stationer samt DMI nedbørsstationer samt antallet indenfor de anvendte gridceller.

Gridcelle	Antal Netatmo stationer	Antal SVK stationer	Antal DMI stationer
9.23	0	0	1
9.24	22	2	0
9.25	8	1	0
9.26	11	1	0
10.23	14	3	0
10.24	28	0	0
10.25	21	1	0
10.26	4	0	0
Sum	108	8	1

Der er i dette projekt foretaget sammenligninger imellem Netatmo regndata og SVK regndata samt DMI klimagrid 10x10 km. Der er fra DMI's pluvio regnmålere regndata fra 2010, og for SVK stationerne indenfor området præsenteret på figur 5.2 er der regndata fra 1979. [Wang, 2010; Sarup, 2019, kap. 2; tab. 2]

DMI klimagrid 10x10 km er sammenlignet med gridværdier baseret på Netatmo regndata i afsnit 10.1, hvor der er anvendt DMI klimagrid 10x10 km data fra år 2019 på time- og døgnbasis. DMI klimagrid 10x10 km er præsenteret i appendiks C. Afsnittene, hvor der er anvendt SVK regndata i en analyse, er præsenteret i tabel 5.2.

Tabel 5.2: Afsnit nummer samt beskrivelse af analyse hvor SVK regndata er anvendt.

Afsnit	Analyse
6.4	Analyse af korrelation mellem SVK regndata
6.5	Analyse af korrelation mellem SVK 5049 regndata og Netatmo regndata
8.3	Analyse af den procentuelle afvigelse mellem Netatmo og SVK døgnsummer
8.4	Analyse af den procentuelle afvigelse fra omkringliggende stationer
10.2	Sammenligning af SVK og Netatmo regnprodukter
10.3	Sammenligning af afvigelser i årsnedbør
10.4	Sammenligning af live og døgn kvalitetssikringsprocedurerne
10.5	Vurdering af Netatmo regnprodukter

Der er anvendt SVK regndata fra stationerne præsenteret på figur 5.2 og i tabel 5.1 fra perioden 01.01.2016 - 11.03.2020.

6. Analyser til udvælgelse af et Netatmo regnprodukt

Dette kapitel indeholder tre analyser, hvilke er anvendt til at vurdere hvilket af de fire regnprodukter, som er offentligt tilgængeligt med Netatmo API'en, som er fordelagtigt at anvende. De fire regnprodukter blev beskrevet i kapitel 3. I det følgende er de fire regnprodukter, som kan returneres med Netatmo API'en præsenteret:

- Historisk regndata returneret med anmodningen "Getmeasure" i en enhed svarende til regndybden målt over tidsperioden mellem to tidsstempler. Dette vil fremadrettet blive betegnet som *historisk regndata*.
- Akkumuleret regndata returneret med anmodningen "Getpublicdata" i en enhed svarende til regndybden siden sidste tidsstempel. Dette vil fremadrettet blive betegnet som *live regndata*.
- Akkumuleret regndata returneret med anmodningen "Getpublicdata" i en enhed svarende til regndybden siden sidste hele time. Dette vil fremadrettet blive betegnet som *time regndata*.
- Akkumuleret regndata returneret med anmodningen "Getpublicdata" i en enhed svarende til regndybden siden midnat. Dette vil fremadrettet blive betegnet som *24t regndata*.

Den første analyse har til formål at sammenligne de fire regnprodukter ud fra sumkurver og den tidslige opløsning af regnprodukterne for at udvælge et par af regnprodukterne. Den anden analyse har til formål at bestemme hvor god korrelation, som kan forventes imellem Netatmo og SVK regndata baseret på krydskorrelationsanalyser imellem SVK regndata, hvilket vil blive anvendt i den tredje analyse. Den tredje analyse har til formål, at bestemme hvor god korrelation der er mellem regndata fra udvalgte Netatmo stationer og en SVK station. På baggrund af den tredje analyse er det vurderet hvilket af de fire Netatmo regnprodukter, som er fordelagtig at anvende fremadrettet. Sammenligningen af de fire regnprodukter i den første analyse samt sammenligningen mellem udvalgte Netatmo regnprodukter og SVK regndata i den tredje analyse er foretaget med regndata fra udvalgte Netatmo stationer og en udvalgt SVK station. Udvælgelsen af Netatmo stationer og en enkelt SVK stationer er foretaget forinden de tre analyser. Sammenligningsparametrene TSE (Total square error) og R^2 -værdier, som er anvendt i den anden og tredje analyse, er præsenteret forinden disse analyser. Derudover er der anvendt nedbørsummer, sumkurver, den maksimale 10 min intensitet i udvalgte regnhændelser og scatterplot i sammenligningerne af regndataene. Dermed indeholder dette kapitel følgende:

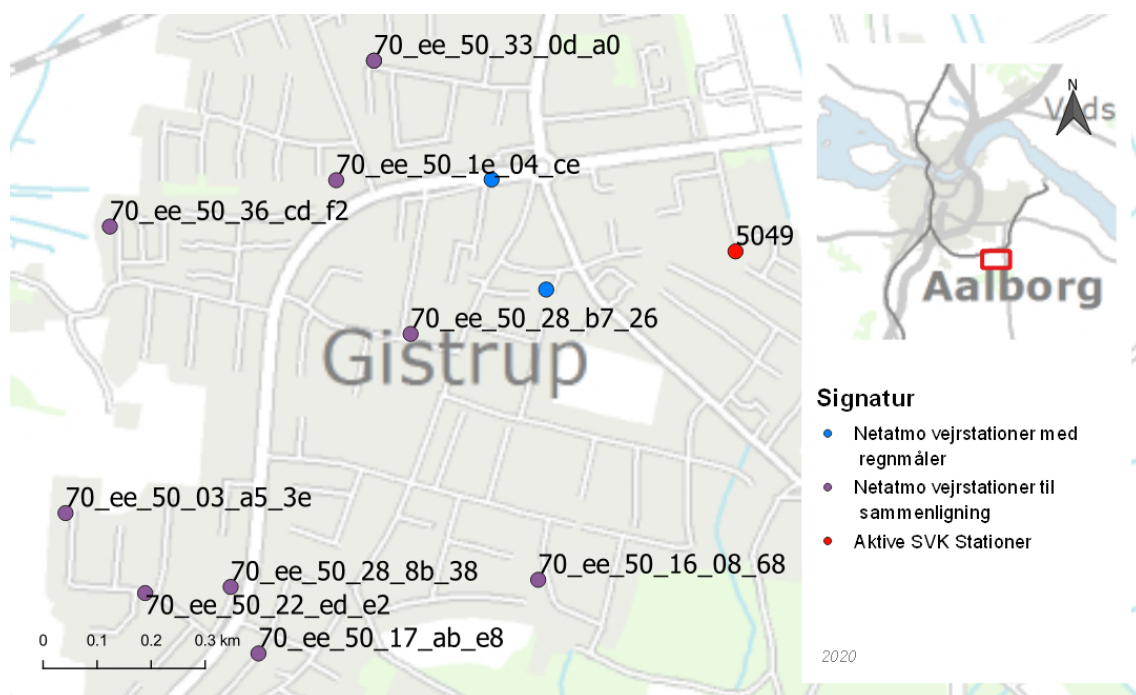
- Udvælgelse af Netatmo stationer og en SVK station
- Sammenligning af Netatmo regnprodukter (1. Analyse)
- Sammenligningsmetoder til analyse af korrelation mellem stationsdata
- Krydskorrelationsanalyser mellem SVK regndata (2. Analyse)
- Analyse af korrelation mellem udvalgte Netatmo regnprodukter og SVK regndata (3. Analyse)

6.1 Udvalgelse af Netatmo stationer og en SVK station til sammenligning

Der er til analysen af Netatmo regnprodukterne udvalgt en SVK station indenfor projektlokaliteten med flest Netatmo stationer i nærområdet. Netatmo stationerne er yderligere udvalgt, således den interne afstand er lille for at mindske betydningen af den spatiale variabilitet af regn for sammenligningen imellem stationsdataene. Derudover er Netatmo stationerne udvalgt ud fra, at de fire datatyper skal være tilgængelig for samme perioder.

Aalborg Universitet har i perioden 08.10.2018 - 19.02.2019 indsamlet regndata med enkelte afbrydelser indenfor et område svarende til projektlokaliteten præsenteret i kapitel 5. Materialet er blevet udleveret til projektgruppen og er blevet anvendt til at udvælge Netatmo stationer, hvor der er blevet indsamlet regndata i denne periode med anmodningen "Getpublicdata".

SVK station 5049 er den SVK station indenfor projektlokaliteten, hvor der er placeret flest Netatmo stationer med de fire regnprodukter tilgængeligt i nærheden. Derfor er denne SVK station udvalgt til sammenligningen. Placeringen af SVK station 5049 fremgår af figur 5.2 og figur 6.1. Der er 9 Netatmo stationer indenfor en radius af 1,4 km, hvor der er hentet regndata for perioden 08.10.2018 - 19.02.2019 med anmodningen "Getpublicdata".



Figur 6.1: Placering af Netatmo stationer samt den udvalgte SVK station til sammenligning af regnserier. Netatmo stationer markeret med lilla er udvalgt til sammenligning, da det nødvendige regndata er tilgængeligt. Netatmo stationer markeret med blå har ikke det nødvendige data til sammenligning af regnprodukter.

Afstanden mellem de udvalgte Netatmo stationer og SVK station 5049 Gistrup er angivet i tabel 6.1.

Tabel 6.1: Afstand mellem de udvalgte Netatmo stationer og SVK station 5049 Gistrup.

Netatmo station	Afstand til SVK [m]
70_ee_50_33_0d_a0	760
70_ee_50_1e_04_ce	750
70_ee_50_36_cd_f2	1.160
70_ee_50_28_b7_26	620
70_ee_50_03_a5_3e	1.340
70_ee_50_28_8b_38	1.120
70_ee_50_16_08_68	710
70_ee_50_22_ed_e2	1.260
70_ee_50_17_ab_e8	1.150

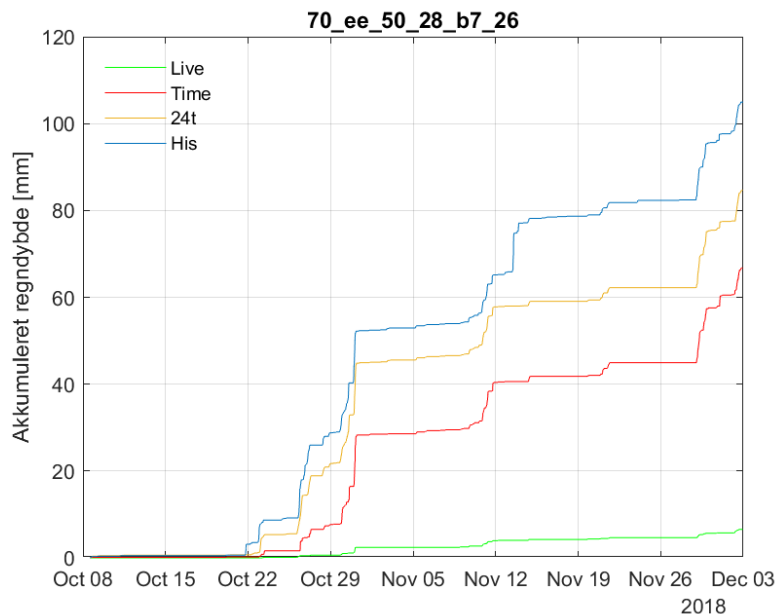
De fire Netatmo regnprodukter for de udvalgte Netatmo stationer er sammenlignet i følgende afsnit for at vurdere, hvilket af regnprodukterne som er fordelagtig at anvende i de videre analyser.

6.2 Sammenligning af Netatmo regnprodukter

Netatmo regndata fra flere stationer er analyseret for at reducere betydningen af stationsspecifikke usikkerheder. Det er vurderet, om et regnprodukt er fordelagtigt ud fra den tidslige opløsning af regndataene samt ud fra sumkurver for de fire regnprodukter. Sumkurverne er anvendt til at undersøge, om der er manglende registreringer i nogle af regnprodukterne samt til at sammenligne nedbørsummer. Det blev i kapitel 4 fastsat, at der kan være manglende registreringer i regnserierne for Netatmo regnprodukterne.

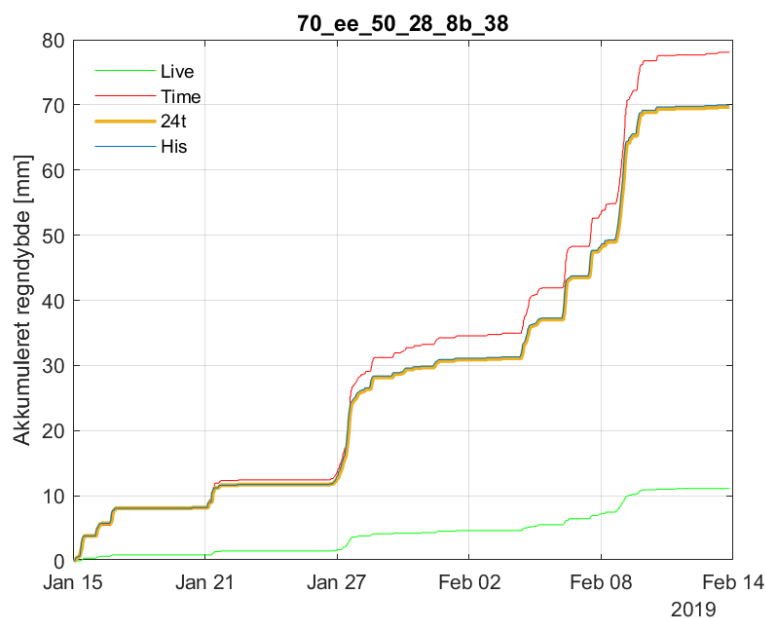
Sumkurverne baseret på de fire forskellige Netatmo regnprodukter for de udvalgte Netatmo stationer er angivet i elektronisk appendiks L.4. Sumkurverne er baseret på regndata indsamlet af Aalborg Universitet i perioden 08.10.18 - 19.02.19. Der har dog været en pause i dataindsamlingen med anmodningen "Getpublicdata", hvilket har resulteret i manglende data for live, time og 24t regnprodukterne fra d. 04.12.18 - 14.01.19. Derfor er sumkurverne baseret på regndata fra to perioder 08.10.18 - 03.12.18 og 15.01.19 - 14.02.19. Derudover er der to stationer, hvor regndata ikke har været tilgængeligt for perioden i 2018. Dette kan muligvis skyldes, at disse stationer blev sat i drift i tiden imellem de to perioder.

Sammenligningerne af sumkurverne er foretaget stationsvist hvorfor det er forventet, at sumkurverne for de fire regnprodukter er sammenfaldende. Det fremgår dog af elektronisk appendiks L.4, at dette ikke er tilfældet. Sumkurverne for live regndata underestimerer generelt nedbør i sammenligning med de øvrige Netatmo regnprodukter. Det fremgår af sumkurverne, at der er flere stationer, hvor der er manglende registreringer af regn for live regndata ved, at summen ikke øges på samme tidspunkter som de øvrige regnprodukter, og at nedbørsummeren er væsentligt lavere. Sumkurverne baseret på time, 24t og det historiske regndata følger ofte samme forløb, men er mere eller mindre forskudt i y-aksens retning. Forskydningerne skyldes, at der er registreret forskellige mængder nedbør i de tre regnprodukter eller, at en eller to af regnprodukterne ikke har registreret nedbør. Dette fremgår af figur 6.2.



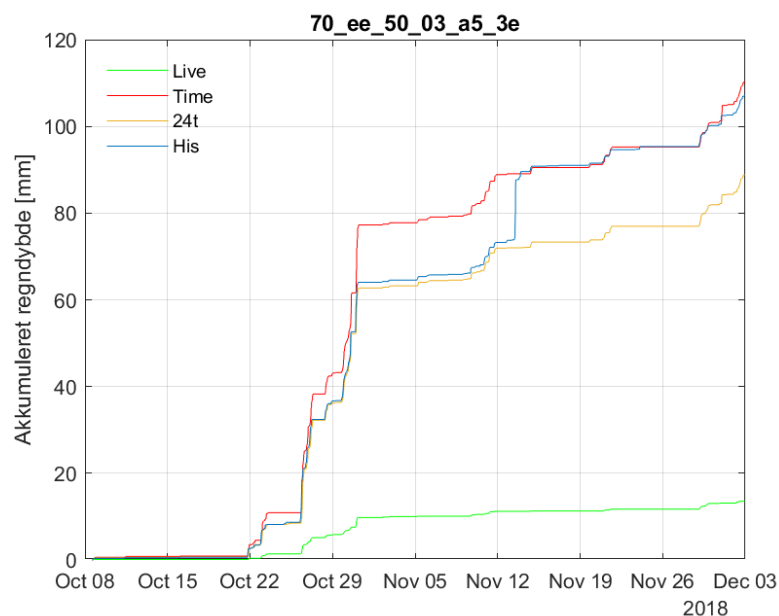
Figur 6.2: Illustration af at time, 24t og det historiske regndata følger det samme forløb, men er mere eller mindre forskudt i y-aksens retning, grundet der tilskrives forskellige nedbørsmængder til de tre regnprodukter.

Der er også tilfælde, hvor 24t og det historiske regndata er sammenfaldende og hvor time regndataene overestimerer i sammenligning med disse, hvilket er illustreret på figur 6.3. De tre regnprodukter følger samme forløb, men der er enkelte tilfælde, hvor der er tilskrevet en større nedbørsmængde til time regnproduktet, hvilket resulterer i differensen mellem regnprodukterne.



Figur 6.3: Illustration af sammenfald mellem 24t og det historiske regndata, hvor time regndata overestimerer.

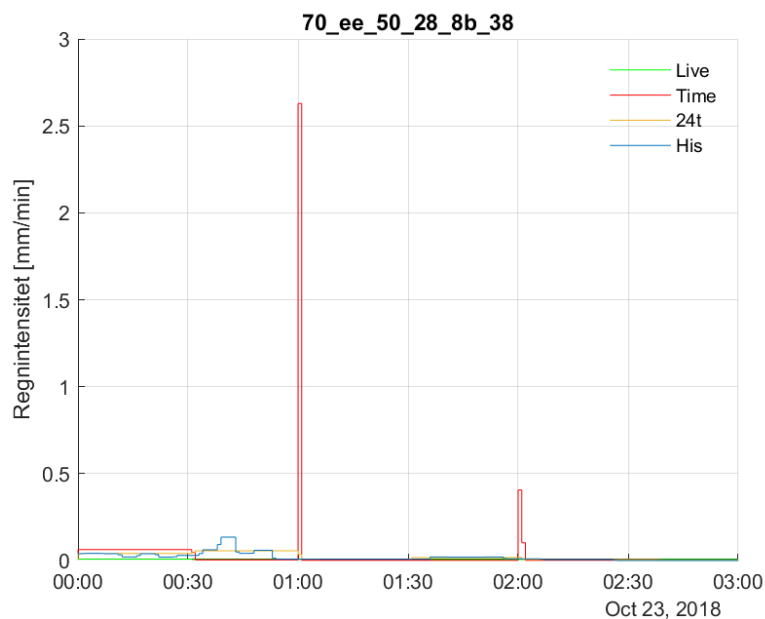
Det kan forekomme, at der i det historiske regndata kan være registreret nedbør, mens der for time og 24t regndataene ikke er registreret nedbør, hvilket fremgår af figur 6.4. Det fremgår af figuren, at det er en større regnhændelse d. 13.11.18, hvor der ikke er tilskrevet nedbør i time og 24t regndataene. Denne regnhændelse er registreret i det historiske regndata for denne station samt de øvrige udvalgte Netatmo stationer. Frem til denne regnhændelse har 24t og det historiske regndata været sammenfaldende, og dermed er det manglen på registrering af nedbør i time og 24t regndataene, som medfører, at time og det historiske regndata er i bedre overensstemmelse til sidst i perioden.



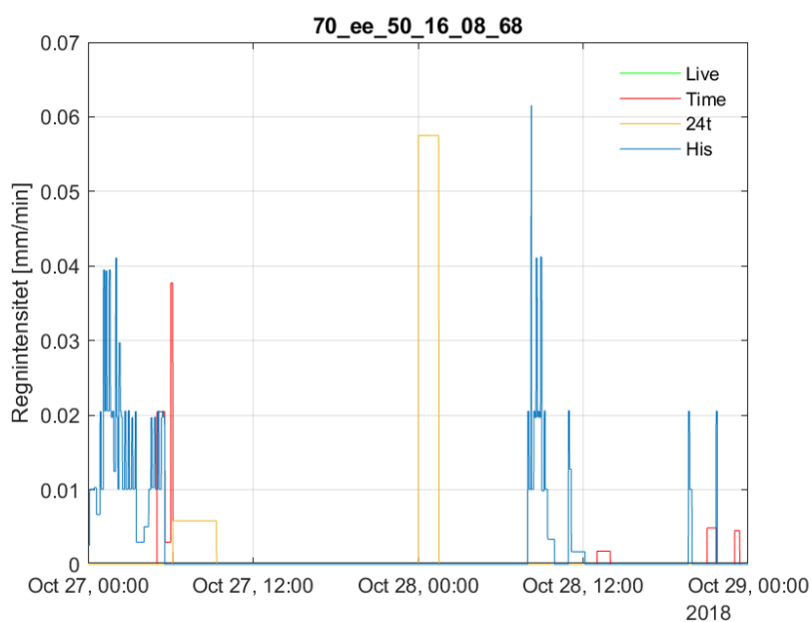
Figur 6.4: Sammenfald mellem 24t og det historiske regndata i den første del af perioden, hvor manglende registrering af regn i time og 24t regndataene medfører, at det historiske regndata bliver sammenfaldende med time regnproduktet i den sidste del af perioden.

Der kan forekomme forhøjede registreringer af nedbør i time regndataene, hvilket fremgår af figur 6.5. Metoden til konstruering af regnserien er beskrevet i appendiks D. De forhøjede registreringer kan forekomme efter timeskift, hvilket skyldes måden, hvormed Netatmo stationen akkumulerer regn. For time regndata angives regndybden målt fra sidste hele time, hvilket blev beskrevet i kapitel 3. Hvis stationen ikke nulstiller, som den bør, kan regn blive akkumuleret hen over timeskift, hvilket medfører, at denne akkumulering af regn bliver tilskrevet for kort en periode.

Der kan ligeledes forekomme høje registreringer af nedbør i 24t regndataene, hvilket fremgår af figur 6.6. Denne regnserie er ligeledes konstrueret med metoden beskrevet i appendiks D. De høje registreringer kan forekomme efter midnat, hvilket skyldes måden hvormed regn akkumuleres på i 24t regndataene. 24t regnproduktet angiver mængden af akkumuleret regn siden midnat, hvilket blev beskrevet i kapitel 3. Regndata akkumuleret over midnat kan blive tilskrevet for kort en periode på tilsvarende vis som for time regndataene.



Figur 6.5: Illustration af overestimering af regnintensiteten efter sidste hele time, som kan forekomme i time regndataene.



Figur 6.6: Illustration af overestimering af regnintensiteten efter midnat, som kan forekomme i 24t regndataene.

I det historiske regndata forekommer der ikke nulstillingsfejl. Det historiske regndata har en høj og stabil tidsopløsning i sammenligning med de øvrige regnprodukter. Den tidlige opløsning er på omkring 5 min, hvor afvigelserne forekommer på sekundbasis. Tidsopløsningen af det historiske regnprodukt medvirker til, at dette regnprodukt bedre kan anvendes til at beskrive de temporale variationer af regnhændelser. Derudover er der større sikkerhed for indhentning af historisk regndata, da det ikke nødvendigvis skal downloades i realtid. Ydermere er der ofte overensstemmelse mellem 24t og det historiske regndata, hvorfor det er vurderet fordelagtigt at anvende det historiske regnprodukt til sammenligning med SVK regndata.

Tidsopløsningen af live, time og 24t regnprodukterne er varierende, men oftest omkring 30 min, hvilket er en grov tidsopløsning i sammenligning med det historiske regndata. Dette reducerer muligheden for at beskrive temporale variationer af regnhændelser med disse regnprodukter. Det fremgår dog af sumkurverne i elektronisk appendiks L.4, at sumkurven baseret på 24t regndataene ofte er sammenfaldende med det historiske regndata. Derfor er det valgt ligeledes at anvende 24t regndataene til sammenligning med SVK regndata.

De regnprodukter, som er vurderet fordelagtige, er for hver af de udvalgte Netatmo stationer anvendt i en sammenligning med regndata fra den udvalgte SVK station, for at undersøge hvor god overensstemmelse der er mellem Netatmo regnmålinger og SVK regnmålinger. Sammenhængen mellem de udvalgte Netatmo regnprodukter og SVK regndata er kvantificeret med TSE, R^2 , sammenligning af nedbørsummer, den maksimale 10 min regnintensitet i de udvalgte regnhændelser, scatterplot og sumkurver. Sammenligningerne mellem de udvalgte Netatmo regnprodukter og SVK regndata er ligeledes foretaget for en tidsskala på henholdsvis 5 min og 30 min, hvor 5 min er den mindste tidsskala, der kan sammenlignes over grundet den tidslige opløsning af det historiske regndata. En tidsskala på 30 min er anvendt da dette er en hyppigt forekommende tidslig diskretisering i 24t regndataene. Sammenligningsmetoderne anvendt til at sammenligne SVK regndata med regndata fra andre SVK stationer og til at sammenligne 24t og det historiske regndata med regndata fra SVK station 5049 er beskrevet i følgende afsnit.

6.3 Sammenligningsmetoder til analyse af korrelation mellem stationsdata

Overensstemmelsen mellem regndataene er kvantificeret med parametrene TSE, R^2 , sammenligning af nedbørsummer, den maksimale 10 min regnintensitet indenfor de udvalgte regnhændelser, scatterplot og sumkurver. Det er derudover antaget, at SVK regndata udgør sande værdier.

TSE, 'total square error', er et mål for den akkumulerede forskel mellem to datapunkter eller to datasæt. Dermed giver store afvigelser anledning til en større TSE. TSE er beregnet med formel 6.1.

$$TSE = \sum_{n=1}^n (O_{SVK} - O_{Netatmo})^2 \quad (6.1)$$

Hvor:

O_{SVK}	[mm/tidsskala]	Observeret regnintensitet med SVK station
$O_{Netatmo}$	[mm/tidsskala]	Observeret regnintensitet med Netatmo station
n	[-]	Antal datapunkter

R^2 er et mål for, hvor godt regndataene fra den ene station repræsenterer variansen i regndataene ved den anden station. En R^2 -værdi der går mod 1 betyder dermed, at variansen i stationsdataene fra den ene station kan beskrives med stationsdataene fra den anden station. R^2 -værdier er beregnet med formel 6.2.

$$R^2 = \left(\frac{\frac{1}{n} \sum (O_{SVK,i} - \overline{O_{SVK}})(O_{Netatmo,i} - \overline{O_{Netatmo}})}{s(O_{SVK}) s(O_{Netatmo})} \right)^2 \quad (6.2)$$

Hvor:

$s(O_{SVK})$	[mm/tidsskala]	Standardafvigelsen af O_{SVK}
$s(O_{Netatmo})$	[mm/tidsskala]	Standardafvigelsen af $O_{Netatmo}$

Derudover er overensstemmelsen mellem regndataene kvantificeret ved sammenligning af nedbørsummer, de maksimale 10 min regnintensiteter for de udvalgte regnhændelser, scatterplot og sumkurver.

6.4 Analyse af korrelation mellem SVK regndata

Der er anvendt kvantitative sammenligningsparametre, som afhænger af timingen for de sammenlignede regnhændelser. Derfor er sammenligninger af SVK regndata med SVK regndata anvendt til at estimere hvor god korrelation, som kan forventes ved forskellige afstande mellem stationer. Dette er blevet anvendt til at vurdere hvor god overensstemmelse, der er mellem de udvalgte Netatmo regnprodukter og SVK regndata.

Der er i det følgende sammenlignet regndata fra de 8 SVK stationer placeret indenfor projektlokaliteten, som blev præsenteret i kapitel 5. Afstanden mellem de 28 forskellige kombinationer af krydskorrelleringer af stationsdata er præsenteret i tabel 6.2. Der er anvendt krydskorrelationsanalyser for at bestemme korrelationen mellem stationsdataene uafhængigt af tidsforskydningen imellem regnhændelser målt ved de enkelte SVK stationer. Dette medvirker til at isolere effekten af den spatiale variabilitet af regnhændelser. Resultatet af krydskorrelationsanalyserne imellem stationsdata er grafer, hvor R^2 -værdien er præsenteret som funktion af tidsforskydningen. Dette er anvendt i afsnit 6.5 som referenceværdier, for at kunne vurdere hvor god korrelationen er mellem de udvalgte Netatmo regnprodukter og SVK stationen.

Tabel 6.2: Afstand mellem stationer for de forskellige kombinationer af krydskorreleleringer mellem de 8 SVK stationer indenfor projektlokaliteten.

[km]	5045	5049	5052	5054	5056	5057	5058	5061
5045	0	11,6	7,5	8,1	11,2	15,9	16,8	17,9
5049		0	6,3	8,9	10,0	11,0	11,2	10,2
5052			0	2,8	5,1	8,8	9,6	10,4
5054				0	3,1	7,9	8,9	10,5
5056					0	5,1	6,1	8,2
5057						0	1,1	3,9
5058							0	3,1
5061								0

Navnene på stationerne tilknyttet de enkelte stationsnumre er som følger:

- (5045) Vodskov
- (5049) Gistrup
- (5052) Aalborg Østerport Pumpestation
- (5054) Nørresundby Søvangen Pumpestation
- (5056) Aalborg Renseanlæg Vest
- (5057) Frejlev Nord
- (5058) Frejlev Syd
- (5061) Svenstrup

Tidsopløsningen af SVK regndata er 1 min, hvorfor den benyttede tidsskala for krydskorrellering mellem stationsdata er 1 min. Der er efterfølgende foretaget en analyse af, hvad en tidsskala på 5 min og 30 min har af betydning for R^2 -værdien for den sammenligningskombination, hvor afstanden imellem stationerne er mindst.

Da krydskorrelationsanalyser tager hensyn til tidsforskydningen mellem det sammenlignede data, vil betydningen af den spatiale variabilitet af regnhændelser være mere fremtrædende. Dermed vil analysen ligeledes blive anvendt til, at undersøge hvordan den spatiale variabilitet af regnhændelser påvirker R^2 -værdien. Krydskorrelationsanalysen er derfor ligeledes anvendt til, at vurdere hvorledes der skal foretages en analyse, af hvordan R^2 -værdien afhænger af afstanden, og dermed til at bestemme hvor stor en afstand stationer kan sammenlignes indenfor.

Der er udvalgt regnhændelser fra årene 2017 - 2019 til analysen ud fra, at de 8 SVK stationer har målt 7,5 mm nedbør eller derover. Dette er valgt, da det er forventet, at større regnhændelser er registreret ved alle stationerne. Det resulterede i 39 regnhændelser, hvoraf 12 er fra sommermånederne, 8 er fra vintermånederne, 8 er fra forårmånederne, og 11 er fra efterårmånederne. Regnhændelserne er defineret således, starttidspunktet er fastsat til det tidligste tidspunkt, hvor der er målt nedbør ved de 8 SVK stationer, og sluttidspunktet er fastsat til det seneste tidspunkt, hvor der ikke længere er målt nedbør. Dermed består regnserierne ligeledes af nul-værdier for at sikre samme længde af regnserierne.

Start- og stoptidspunkter for de udvalgte 39 regnhændelser i perioden 2017 - 2019 er angivet i tabel 6.3. Der er medtaget regnhændelser fra forskellige årstider, da typer af regnhændelser kan variere med årstiderne. Derfor er regnhændelser fra forskellige årstider anvendt til, at undersøge om korrelationen mellem stationsdata kan afhænge af årstiden. Dette er anvendt til at bestemme, om senere analyser skal opdeles i analyser på årstidsbasis. Det er valgt at fjerne første vip i de udvalgte regnhændelser, da disse typisk udgør høje værdier i regnserierne i sammenligning med værdierne i de øvrige tidsstempler, hvilket resulterer i dårligere korrelation mellem stationsdataene. Typisk blev de bedste R^2 -værdier opnået ved den tidsforskydning, som er svarende til tiden mellem de første vip i de sammenlignede regnserier.

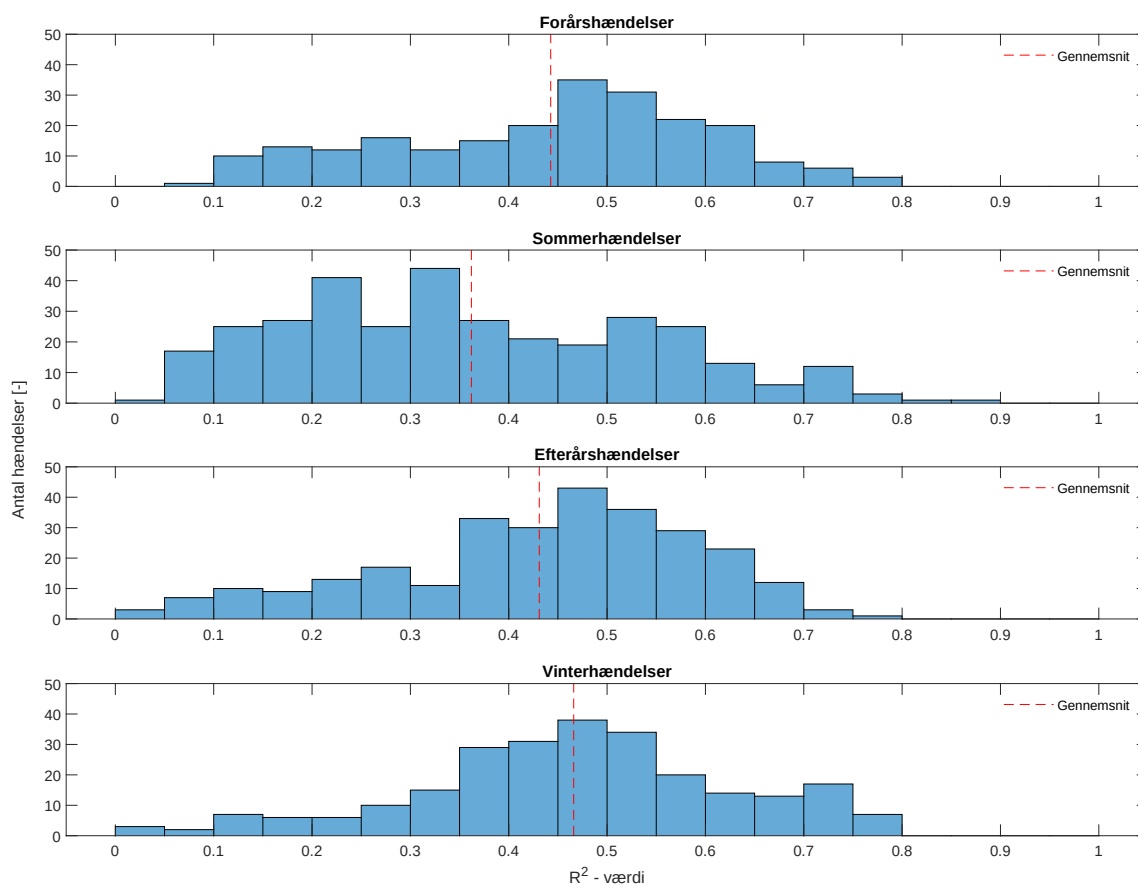
Tabel 6.3: Regnhændelser anvendt i krydskorrelationsanalysen.

Regnhændelser			
Start	Stop	Start	Stop
Sommer		Vinter	
06.06.17 18:26:00	07.06.17 01:40:00	11.01.17 04:58:00	11.01.17 10:11:00
09.06.17 13:02:00	09.06.17 20:17:00	14.12.17 06:28:00	14.12.17 15:07:00
29.06.17 03:50:00	29.06.17 10:34:00	01.01.18 03:51:00	01.01.18 15:24:00
20.07.17 16:41:00	20.07.17 23:54:00	29.01.18 00:48:00	29.01.18 07:33:00
23.07.17 08:09:00	23.07.17 13:16:00	07.12.18 12:19:00	07.12.18 22:23:00
03.08.17 08:16:00	03.08.17 13:14:00	21.12.18 12:32:00	22.12.18 01:52:00
15.08.17 18:14:00	15.08.17 21:09:00	08.02.19 14:59:00	09.02.19 03:08:00
17.08.17 14:28:00	17.08.17 19:13:00	15.12.19 08:25:00	15.12.19 14:20:00
09.08.18 20:51:00	09.08.18 23:37:00		
13.08.18 18:30:00	14.08.18 06:48:00		
19.08.18 07:39:00	19.08.18 23:22:00		
07.08.19 13:24:00	07.08.19 17:11:00		
Forår		Efterår	
15.04.17 07:43:00	16.04.17 00:51:00	06.09.17 12:53:00	07.09.17 02:23:00
04.04.18 00:37:00	04.04.18 05:56:00	24.10.17 11:51:00	24.10.17 21:30:00
30.04.18 11:18:00	30.04.18 14:40:00	25.10.17 05:02:00	25.10.17 12:58:00
06.03.19 13:40:00	07.03.19 00:56:00	21.11.17 22:43:00	22.11.17 07:59:00
16.03.19 15:37:00	17.03.19 02:20:00	07.09.18 11:25:00	07.09.18 16:25:00
27.04.19 05:01:00	27.04.19 10:34:00	04.09.19 08:56:00	04.09.19 16:33:00
08.05.19 20:18:00	09.05.19 08:38:00	10.09.19 00:00:00	10.09.19 22:44:00
17.05.19 09:55:00	17.05.19 20:12:00	13.10.19 15:10:00	13.10.19 21:52:00
		25.10.19 19:41:00	26.10.19 06:11:00
		26.10.19 06:52:00	26.10.19 21:59:00
		03.11.19 05:54:00	03.11.19 14:31:00

Resultaterne af krydskorrelationsanalysen er præsenteret i elektronisk appendiks L.5. For at kvantificere hvordan årstiden påvirker korrelationen mellem stationsdata, er der konstrueret en fordeling for hver årstid med den højeste R^2 -værdi for hver sammenligningskombination, hvilket er præsenteret på figur 6.7. Da der er 28 stationskombinationer og 39 regnhændelser, er fordelingen konstrueret med 1092 R^2 -værdier fordelt på de fire årstider.

Det fremgår af figur 6.7, at den højeste gennemsnitsværdi af de højeste R^2 -værdier fra de forskellige krydskorreleringer forekommer i vinterperioden. Dernæst kommer gennemsnittet for forårsperioden og derefter efterårsperioden. Gennemsnittet for sommerperioden er omkring 0,1 mindre end gennemsnittet for vinterperioden, dog er det denne årstid, hvor der er opnået R^2 -værdier på over 0,8.

Årsagen til at gennemsnittet er højere i vinterperioden kan være måden hvormed nedbør dannes, falder og henfalder på for de forskellige årstider. I vinterperioden kan dannelsen af nedbør forekomme over længere tid, og skyformationerne kan have større udbredelse, hvilket giver anledning til mere stratiform nedbør med stor udstrækning. Dette kan resultere i større overensstemmelse mellem stationsdata. Derimod kan nedbør i sommermånederne dannes, falde og henfalde hurtigt. Dette resulterer ofte i konvektiv nedbør, hvilket kan være medvirkende til mindre korrelation mellem stationsdata.



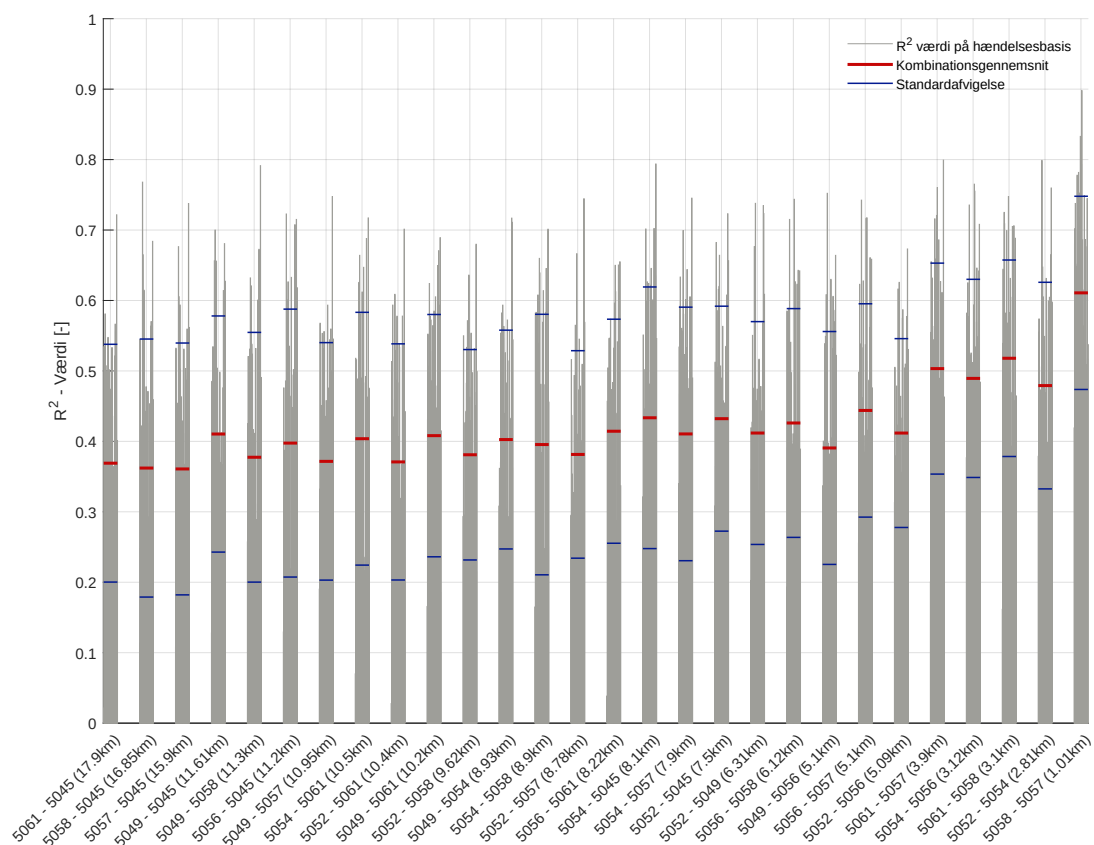
Figur 6.7: Fordelingen af de højeste R^2 -værdier fra korrelationsanalyserne baseret på de 28 stationskombinationer og 39 regnhændelser.

Grunden til at gennemsnittet ikke overskrider 0,5 for nogle af årstiderne kan være, at krydskorrelationsanalysen er foretaget ved at sammenligne 1 min værdier, da dette er tidsopløsningen for SVK regndataene. Dette giver anledning til, at selv begrænsede afvigelser imellem 1 min værdierne kan give anledning til en lav R^2 -værdi. Derudover har afstanden, imellem stationerne som sammenlignes, sandsynligvis ligeledes en betydning for R^2 -værdierne.

Tabel 6.4 og figur 6.8 angiver gennemsnittet af de højeste R^2 -værdier opnået for de forskellige regnhændelse for de forskellige kombinationer af SVK stationer. Det fremgår af figuren, at gennemsnittet er større, hvor afstanden mellem SVK stationerne er mindre. Afstanden mellem SVK stationerne for de forskellige stationer er angivet i tabel 6.2. Standardafvigelserne (SD) er ligeledes angivet i tabel 6.4 og på figur 6.8, og det fremgår af disse, at der er stor spredning omkring de beregnede gennemsnit af R^2 -værdier for de 28 kombinationer af stationer også for kombinationen Frejlev Syd - Frejlev Nord, som har opnået det højeste gennemsnit. Den største og mindste standardafvigelse for de beregnede kombinationsgennemsnit er henholdsvis 0,190 og 0,134.

Tabel 6.4: Kombinationsgennemsnit af R²-værdier og standardafvigelseerne opnået med de 28 kombinationer af SVK stationer indenfor projektlokaliteten.

Gns. R ² (SD)	5045	5049	5052	5054	5056	5057	5058	5061
5045	0 (0)	0,410 (0,168)	0,432 (0,160)	0,433 (0,186)	0,398 (0,190)	0,361 (0,179)	0,362 (0,183)	0,369 (0,169)
5049		0 (0)	0,412 (0,158)	0,403 (0,155)	0,391 (0,165)	0,372 (0,169)	0,377 (0,177)	0,408 (0,172)
5052			0 (0)	0,479 (0,147)	0,412 (0,134)	0,381 (0,147)	0,381 (0,149)	0,371 (0,168)
5054				0 (0)	0,489 (0,141)	0,411 (0,180)	0,395 (0,185)	0,404 (0,179)
5056					0 (0)	0,444 (0,151)	0,426 (0,162)	0,414 (0,159)
5057						0 (0)	0,611 (0,137)	0,503 (0,150)
5058							0 (0)	0,518 (0,139)
5061								0 (0)



Figur 6.8: R^2 -værdier for stationskombinationerne på hændelsesbasis, gennemsnitlig R^2 -værdi for stationskombinationerne og standardafvigelsen.

På baggrund af figur 6.7 og 6.8 samt tabel 6.4 er det vurderet, at selvom tidsopløsningen af SVK regndataene er på 1 min, er dette ikke fordelagtigt at anvende som tidsskala for sammenligning af regndata. Dette er vurderet, da der i krydskorrelationsanalysen er beregnet væsentlige spredninger af R^2 -værdier for de forskellige stationskombinationer. Dermed er det på baggrund af resultaterne i krydskorrelationsanalysen vurderet, at for at opnå entydige resultater, bør sammenligninger af regndata foretages over en større tidsskala. Derudover er det vurderet, at der bør foretages en yderligere analyse, af hvordan korrelationen afhænger af afstanden imellem stationerne. Det fremgår af figur 6.8, at korrelationen aftager med afstande op til 5 - 7 km, hvorefter korrelationen ikke ændres væsentligt. Analysen, af hvordan korrelationen afhænger af afstanden imellem stationerne, vil fremadrettet blive anvendt i en kvalitetssikringsprocedure, hvor stationsdata sammenlignes med stationsdata fra andre stationer indenfor en bestemt afstand. Der er fundet sæsonafhængighed af korrelationen imellem stationsdata, hvorfor der bør tages hensyn til dette ved eksempelvis at foretage sæsonbestemte procedure for kvalitetssikring af Netatmo regndataene.

De Netatmo stationer, som er udvalgt til at sammenligne 24t og det historiske regndata med regndata fra SVK station 5049, er placeret omkring 1 km fra denne SVK station. Derfor er der for stationskombinationen Frejlev Syd - Frejlev Nord foretaget beregninger af R^2 -værdier, da afstanden imellem disse SVK stationer ligeledes er omkring 1 km. Dette er valgt for at have en reference for R^2 -værdier, som vil blive anvendt i sammenligningen mellem de udvalgte Netatmo regnprodukter og regndata fra SVK station 5049.

R^2 -værdierne er beregnet for en tidsskala på henholdsvis 5 min og 30 min. Disse tidsskalaer er ligeledes anvendt i sammenligningen mellem de udvalgte Netatmo regnprodukter og regndata fra SVK station 5049. De beregnede R^2 -værdier er præsenteret i tabel 6.5.

Tabel 6.5: R^2 -værdierne for de to tidsskalaer for Frejlev Syd - Frejlev Nord sammenligningen baseret på regndata fra 2018.

Frejlev Syd - Frejlev Nord		
	5 min	30 min
R^2	0,765	0,891

De beregnede R^2 -værdier for Frejlev Syd - Frejlev Nord kombinationen vil blive anvendt som referenceværdi for sammenligningen af 24t og det historiske regndata med regndata fra SVK station 5049 i afsnit 6.5.

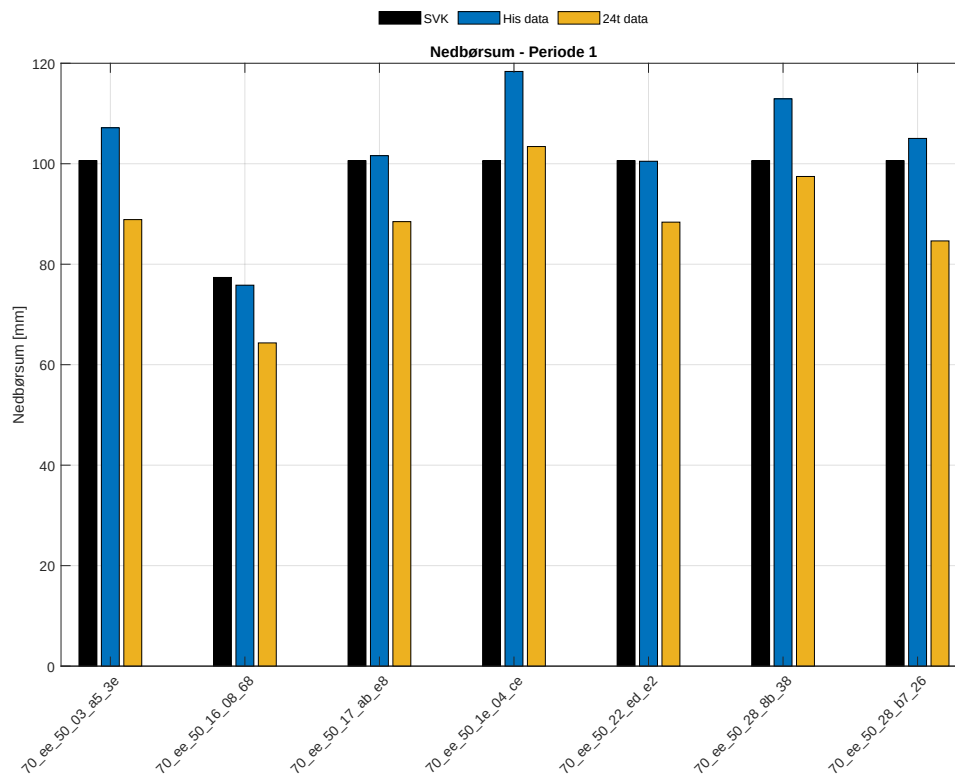
6.5 Analyse af korrelation mellem SVK 5049 regndata og 24t og det historisk regndata

TSE, R^2 -værdier og nedbørsummen er i det følgende anvendt som kvantitative sammenligningsparametre. R^2 -værdier blev i afsnit 6.4 beregnet for stationsdata fra SVK station 5057 Frejlev Nord og SVK station 5058 Frejlev Syd. R^2 -værdien er i dette afsnit anvendt som referenceværdi, da afstanden imellem de to SVK stationer er tilsvarende afstanden imellem de udvalgte Netatmo stationer og SVK station 5049. Det er antaget, at regndataene fra SVK station 5049 udgør den sande repræsentation af regnhændelser. Sammenligningerne er foretaget med en tidsskala på henholdsvis 5 min og 30 min. De beregnede værdier for TSE, R^2 og nedbørsum er angivet på figurer. Til sammenligningen er der derudover anvendt scatterplot og sumkurver. Der har været pause imellem, hvornår Aalborg Universitet har indhentet 24t regndata. Dette har resulteret i at der generelt er 24t regndata for perioderne 08.10.18 - 03.12.18 (periode 1) og 15.01.19 - 14.02.19 (periode 2). Det er vurderet, at periode 2 ikke er fordelagtig at anvende, da der i perioden har været flere dage hvor SVK station 5049 får markeringen 's', hvilket indikerer, at varmeelementet i SVK stationen var aktiveret. Intervallet i periode 1, hvor der har været tilgængeligt 24t regndata for de udvalgte Netatmo stationer, er angivet i tabel 6.6. 24t og det historiske regndata fra de udvalgte Netatmo stationer er sammenlignet med regndata fra SVK station 5049 i periode 1.

Tabel 6.6: Perioder med tilgængeligt 24t regndata. 24t og det historiske regndata fra de udvalgte Netatmo stationer er sammenlignet med regndata fra SVK station 5049 i disse perioder.

Station	Periode 1
70_ee_50_1e_04_ce	08.10.18 - 03.12.18
70_ee_50_03_a5_3e	08.10.18 - 03.12.18
70_ee_50_16_08_68	26.10.18 - 03.12.18
70_ee_50_17_ab_e8	08.10.18 - 03.12.18
70_ee_50_22_ed_e2	08.10.18 - 03.12.18
70_ee_50_28_8b_38	08.10.18 - 03.12.18
70_ee_50_28_b7_26	08.10.18 - 03.12.18

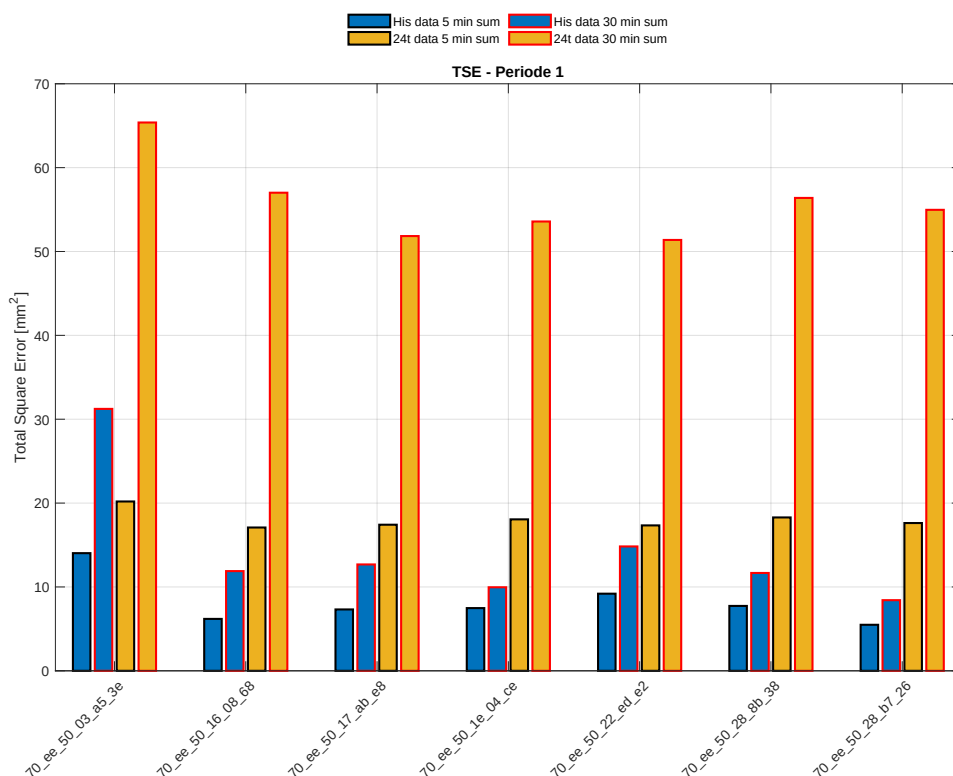
Nedbørsummerne for de udvalgte Netatmo stationer og SVK station 5049 for periode 1 er præsenteret på figur 6.9. Den største overensstemmelse mellem nedbørsummer målt med SVK station 5049 og en Netatmo station er for 5 ud af 7 stationer opnået med det historiske regndata. Generelt underestimeres nedbørsummeren med 24t regndataene. Det fremgår af sumkurverne i elektronisk appendiks L.6, at det typisk er manglende registrering af nedbør omkring d. 13.11.18, som primært er årsagen til underestimeringen med 24t regndataene. Generelt følger sumkurverne for 24t, det historiske regndata og SVK det samme mønster. Der dog opnået væsentligt bedre overensstemmelse imellem sumkurverne for det historiske regndata og SVK regndata.



Figur 6.9: Nedbørsummerne for de udvalgte Netatmo stationer og SVK station 5049 for periode 1.

Der er i periode 1 opnået overestimeringer på op til 10 - 15 mm i nedbørsummer med det historiske regndata i sammenligning med nedbørsummeren for SVK station 5049. Dette er vurderet at være væsentlige overestimeringer i forhold til periodens længde, hvilket kan give anledning til forringet korrelation imellem Netatmo regnprodukterne og regndata fra SVK station 5049. En årsag til overestimeringerne kan være at vippekarstørrelsen er mindre end hvad regndataene angiver, hvilket blev beskrevet i kapitel 4. Dog er der for hovedparten af Netatmo stationerne overensstemmelse med SVK nedbørsummeren.

TSE beregnet for 24t og det historiske regndata for begge tidsskalaer er angivet på figur 6.10. For den første periode er der for 7 ud af 7 stationer opnået den mindste TSE ved at anvende det historiske regndata, hvilket er gældende for 5 min tidsskalaen såvel som for 30 min tidsskalaen. Det er på baggrund af denne periode vurderet, at der er mindre afvigelser imellem det historiske regndata og SVK regndataene.

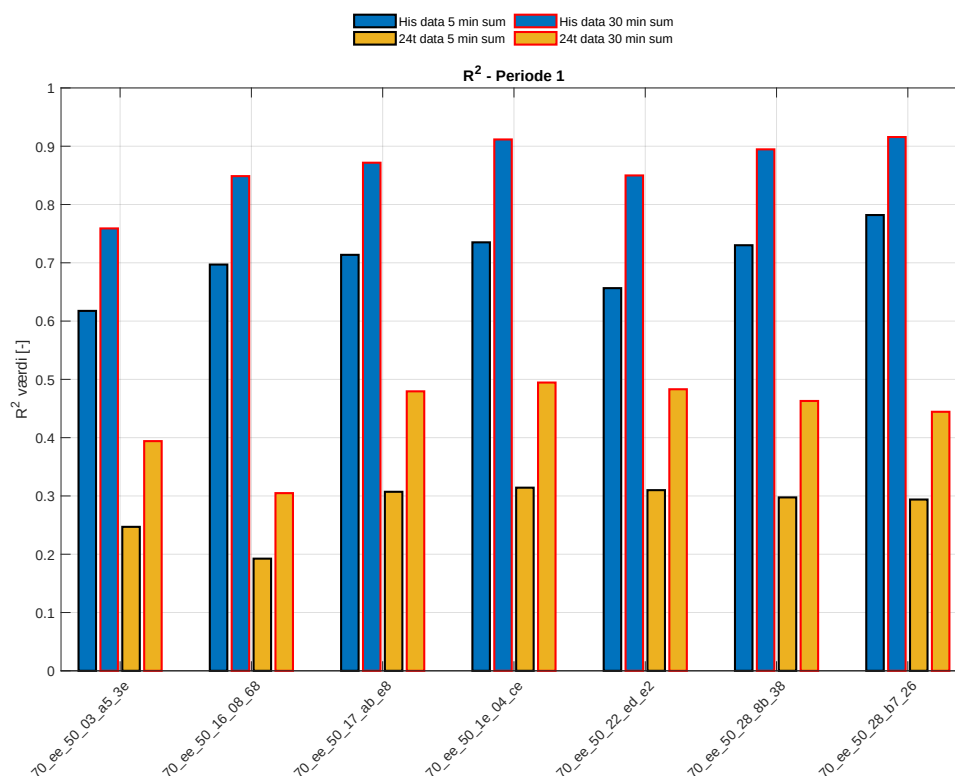


Figur 6.10: TSE for 24t og det historiske regndata og regndata fra SVK station 5049 for periode 1.

De beregnede R^2 -værdier er angivet på figur 6.11. Den højeste R^2 -værdi er for 7 ud af 7 stationer opnået ved at anvende det historiske regndata med begge tidsskalaer. Det fremgår af figur 6.11, at R^2 -værdierne baseret på det historiske regnprodukt er væsentligt højere end R^2 -værdierne baseret på 24t regndataene. 30 min tidsskalaen giver en højere R^2 -værdi i sammenligning med 5 min tidsskalaen. Det er på baggrund af første periode vurderet, at der er bedre korrelation imellem det historiske regndata og SVK regndataene.

I elektronisk appendiks L.6 er der for hver af de 9 udvalgte Netatmo stationer angivet scatterplot. Der er angivet scatterplot for 5 min og 30 min tidsskalaerne for 24t og det historiske regndata for periode 1. Dette resulterer i fire scatterplot. Generelt er der større spredning af scatterpunkterne for de scatterplot, som er baseret på 24t regndata i sammenligning med de scatterplot, som er baseret på det historiske regndata.

Generelt for begge datatyper er der større spredning af scatterpunkterne, når en tidsskala på 5 min er anvendt i sammenligning med, når en tidsskala på 30 min er anvendt. Tendensen for de enkelte stationer varierer, og dermed er det stationsspecifikt, om nedbørsregistreringerne er i overensstemmelse med eller under- eller overestimerer i sammenligning med regndata fra SVK station 5049. Derudover varierer det, hvor godt de enkelte Netatmo stationer repræsenterer regnhændelser af forskellige størrelser. Der er varierende spredning af scatterpunkterne, som repræsenterer mindre regnintensiteter. Generelt er der for regnintensiteter $> 0,5$ mm/5 min en tendens til, at regnhændelserne underestimeres af Netatmo stationer.



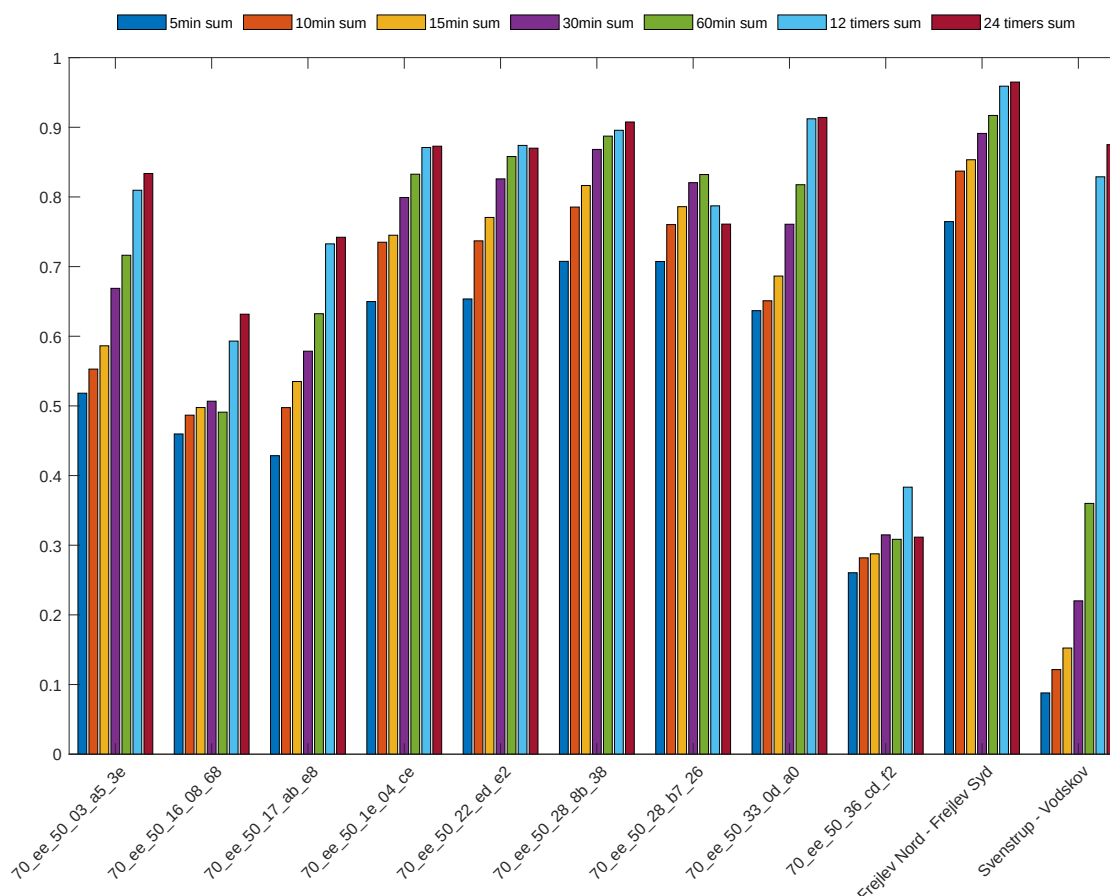
Figur 6.11: R^2 for 24t og det historiske regndata og regndata fra SVK station 5049 for periode 1.

R^2 -værdierne beregnet på baggrund af det historiske regndata har oftere en størrelse svarende til dem bestemt for Frejlev Syd - Frejlev Nord sammenligningen. Derudover har det historiske regndata en høj og stabil tidsopløsning i sammenligning med 24t regndataene. Ydermere er der større sikkerhed for indhentning af det historiske regndata, da dette kan hentes til hver en tid, hvorimod 24t regndataene skal indhentes i realtid. Dette er ligeledes årsagen til, at denne analyse har været begrænset til periode 1. Derfor er det vurderet fordelagtigt, at der i analyser fremadrettet vil blive anvendt historisk regndata.

Der er foretaget en yderligere analyse af hvor god korrelation, der kan opnås mellem det historiske regndata fra de 9 udvalgte Netatmo stationer og regndata fra SVK station 5049 for flere tidsskalaer. De anvendte tidsskalaer er 5 min, 10 min, 15 min, 30 min, 60 min, 12 timer og 24 timer. Analysen er generelt foretaget for 2018, men for de Netatmo stationer hvor der ikke er regndata for 2018, er regndata fra 2019 benyttet. Resultatet af analysen er præsenteret på figur 6.12.

R^2 -værdier opnået med de forskellige tidsskalaer er repræsenteret med en søjle for hver Netatmo station. Derudover er korrelationen imellem regndata fra SVK stationerne i Frejlev og korrelationen imellem regndata fra SVK stationen i Svenstrup og den i Vodskov angivet for flere tidsskalaer. Det fremgår af figuren, at der generelt er opnået bedre korrelation imellem stationsdata ved at anvende en større tidsskala. Dette er ligeledes tilfældet for stationskombinationen SVK station 5061 Svenstrup - SVK station 5045 Vodskov, hvor afstanden imellem disse er omkring 18 km. For denne stationskombination er der beregnet signifikant lavere R^2 -værdier ved mindre tidsskalaer. Derfor er det vurderet, at sammenligninger af regndata med en tidsskala på et døgn er fordelagtig i forbindelse med at reducere betydningen af tidsforskydninger.

Det er ikke forventet, at der forekommer store afvigelser i døgnsummer indenfor det analyserede områder, derfor er det vurderet fordelagtigt at anvende sammenligninger af regndata på døgnbasis i forbindelse med kvalitetssikring af regndata.

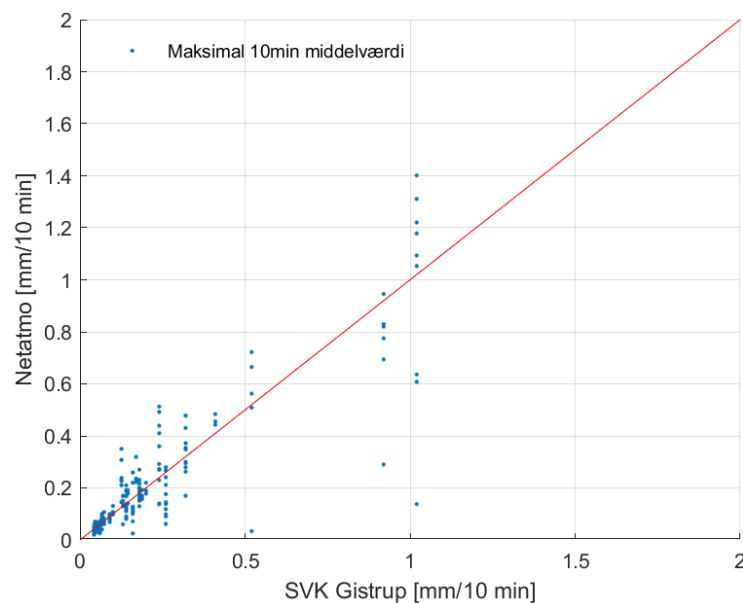


Figur 6.12: Korrelation mellem det historiske regndata fra de 9 udvalgte Netatmo stationer og regndata fra SVK station 5049 for flere tidsskalaer. Derudover er korrelationen mellem regndata fra SVK stationerne i Frejlev samt korrelationen mellem SVK stationen i Svenstrup og Vodskov for flere tidsskalaer.

For de fleste sammenligninger på figur 6.12 er der en væsentlig forskel mellem at anvende en tidsskala på henholdsvis 5 min og 24 timer. Sammenligninger over større tidsskalaer tager dog ikke hensyn til regnhændelsernes forløb. Derfor er det vurderet, at sammenligninger over mindre tidsskala bør inddrages i en kvalitetssikring af regndata for at tage hensyn til afvigelser imellem nedbørsregistreringer imellem stationer. Det er dog på baggrund af krydskorrelationsanalysen i afsnit 6.4 vurderet, at sammenligninger over mindre tidsskalaer bør foretages med sammenligningsparametre, som er uafhængig af tidsforskydninger.

Analysen af krydskorrelationen mellem SVK stationer indenfor projektlokaliteten i afsnit 6.4 blev foretaget for 39 forskellige regnhændelser i perioden 2017 - 2019. Regnhændelserne blev præsenteret i tabel 6.3. Der er for det historiske regndata for de 9 udvalgte Netatmo stationer foretaget en analyse af de 10 min med den højeste registrerede regnintensitet for disse regnhændelser.

10 min maksimalværdier kan anvendes til at sammenligne regndata over en mindre tidsskala uafhængigt af tidsforskydninger imellem dataene. Dog er det ikke alle stationer, der har regndata for alle 39 regnhændelser, hvorfor antallet af maksimale 10 min regnintensiteter varierer for de enkelte stationer. 10 min maksimalværdier baseret på det historiske regndata er sammenlignet med den maksimale 10 min værdi registreret ved SVK station 5049 i Gistrup. Analysen er foretaget for at undersøge, hvor godt det historiske regndata kan anvendes til at repræsentere regnhændelser med høje intensiteter. Scatterplottet for denne analyse er præsenteret på figur 6.13 og 10 min maksimalværdierne er præsenteret i appendiks E.



Figur 6.13: Scatterplot for de maksimale 10 min regnintensiteter målt ved de 9 udvalgte Netatmo stationer og SVK station 5049 for de udvalgte regnhændelser.

Det fremgår af figur 6.13, at der er bedre overensstemmelse mellem de lavere 10 min intensiteter, hvor der ved de højere intensiteter er større spredning af scatterpunkterne. Dette indikerer, at der med Netatmo stationerne kan være udfordringer i forbindelse med repræsentation af regnhændelser med høj intensitet, hvilket er i overensstemmelse med at fejlen i mm/time bestemt i kapitel 4 steg med øget intensitet.

Opsummering

På baggrund af den første analyse fremgår det, at der er store afvigelser imellem de fire Netatmo regnprodukter for de enkelte stationer. Der er nogle tilfælde hvor det fremgår, at en del af årsagen til afvigelserne er mangel på registrering af nedbør i live, time og 24t regnprodukterne. Der er ligeledes tilfælde, hvor de fire regnprodukter tilsyneladende er skaleret forskelligt.

Af den anden analyse fremgår det, at der er store variationer imellem hvor god korrelation, som kan opnås imellem regndata fra forskellige stationer. Det fremgik af krydskorrelationsanalyserne, at korrelationen mellem stationsdata aftager med stigende afstand indtil en afstand på omkring 5-7 km. For stationskombinationer med afstande større end dette blev korrelationen tilnærmelsesvis den samme. Derfor er det vurderet, at der bør foretages en analyse af, hvor stor en afstand stationer kan sammenlignes indenfor, hvilket kan blive anvendt i en automatiseret procedure for kvalitetssikring og validering af det historiske regndata.

Gennemsnittet for de højeste opnåede R^2 -værdier er for de forskellige stationskombinationer varierende med årstiderne. Dette skyldes sandsynligvis, at afstanden som stationer kan sammenlignes indenfor er sæsonafhængig. Derfor er det vurderet, at en automatiseret procedure for kvalitetssikring og validering af regndata ligeledes bør tage hensyn til sæsonafhængigheden, af afstanden stationer kan sammenlignes indenfor. Det er på baggrund af anden analyse ligeledes belyst, at den anvendte tidsskala i sammenligningerne har stor betydning for korrelationen mellem stationsdataene. Ved kortere tidsskalaer får forskelle i timing stor betydning for korrelationen.

På baggrund af den tredje analyse er det vurderet, at det er det historiske regnprodukt, som har størst overensstemmelse med SVK regndata. Der kan for enkelte Netatmo stationer forekomme væsentlige afvigelser fra SVK regndata, hvilket fremgår af den tredje analyse. I forbindelse med kvalitetssikring er en af de primære udfordringer, at afgøre hvilke afvigelser, som skyldes måleusikkerheder, og hvilke afvigelser, der er et resultat af den spatiale variabilitet af regnhændelser. Det fremgår ligeledes af denne analyse, at korrelationen imellem Netatmo stationerne og SVK station 5049 stiger, når der sammenlignes over større tidsskalaer. Det er nødvendigt at sammenligne regndataene over større tidsskalaer for at mindske betydningen af forskellen i vippekarstørrelserne, hvilket påvirker timingen for de enkelte registreringer.

7. Afstand for spatial korrelation

På baggrund af krydskorrelationsanalysen i kapitel 6 hvor stationsdata fra SVK stationerne indenfor projektlokaliteten blev anvendt, er det vurderet, at korrelationen mellem stationsdataene er sæsonafhængig samt afhængig af afstanden mellem stationerne. Projektlokaliteten blev præsenteret i kapitel 5. Derudover blev det i kapitel 6 vurderet, at korrelationen imellem stationsdata ligeledes afhænger af den anvendte tidsskala, hvor korrelationen generelt er stigende som funktion af stigende varighed. Derfor er der i dette kapitel foretaget en semi-variogram analyse, for at vurdere i hvor stor en afstand historisk regndata fra forskellige Netatmo stationer korrelerer. Dette vil blive anvendt som et led i en automatisk procedure for kvalitetssikring af det historiske regndata. Til analysen er der anvendt forskellige tidsskalaer på 10 min, 60 min og 24 timer, hvor det er forventet, at afstanden, hvor stationer kan sammenlignes indenfor, vil være stigende med tidsskalaen. Det er ligeledes forventet, at denne afstand vil være sammenlignelig med afstanden bestemt på baggrund af krydskorrelationsanalysen i kapitel 6, hvilken blev bestemt til omkring 5-7 km. Semi-variogram analysen er delt op på årstidsbasis for at tage hensyn til sæsonvariationer i korrelationen mellem stationsdata fra Netatmo stationer.

7.1 Metode til semi-variogram analyse

Semi-variogrammer anvendes til, at bestemme hvor stor variansen er imellem datapunkter som funktion af afstand. De datasæt som er anvendt er 10 min maksimalværdier, 60 min maksimalværdier og 24 timer summer. 10 og 60 min maksimalværdierne er bestemt ud fra et glidende gennemsnit for de udvalgte regnhændelser, hvilke er beskrevet yderligere i afsnit 7.3, og 24 timer summerne er bestemt således regnhændelser som forekommer hen over midnat ikke er inkluderet. Metoden til at bestemme variansen, som anvendes til at konstruere semi-variogrammer, er præsenteret med formel 7.1.

$$\gamma = \frac{1}{n \cdot 2} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \quad (7.1)$$

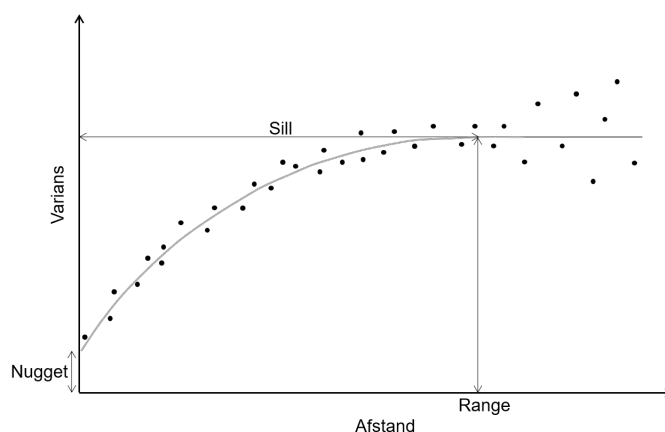
Hvor:

γ	[mm/tidsskala]	Varians
n	[-]	Antal datapunkter
x_i	[mm/tidsskala]	Datapunkt i i datasæt x
y_i	[mm/tidsskala]	Datapunkt i i datasæt y

Varianserne er derefter inddelt i afstandsintervaller, således der er omtrent det samme antal varianser i hvert afstandsinterval, hvilket svarer til fraktil inddeling af varianserne i intervaller. Medianen af varianserne indenfor hvert interval udgør en y -værdi til et punkt i semi-variogrammerne, hvor x -værdien til dette punkt bestemmes som gennemsnittet af de to afstande, som udgør intervallet. Medianen er anvendt, da denne er mindre følsom overfor særligt afvigende varianser.

Variansen er ikke direkte proportional med differensen imellem værdierne, som sammenlignes. Derfor er det vurderet, at der særligt for semi-variogrammet baseret på 24 timer summer kan være store udsving i varianserne, som sammenlignes grundet store variationer i 24 timer summer. Derfor er det valgt at normalisere varianserne i forhold til gennemsnittet af disse, for at udligne de store variationer, som kan forekomme i semi-variogrammerne, hvis dette ikke er anvendt. Det er vurderet at have mindre betydning for de datasæt, hvor der forekommer mindre variationer imellem de værdier, som varianserne er beregnet ud fra.

Semi-variogrammer karakteriseres af tre parametre, som er betegnet 'Sill', 'Nugget' og 'Range'. Disse er illustreret på figur 7.1. 'Sill' er den varians, som er opnået, hvor semi-variogrammet bliver konstant. Det kan forekomme, at varianserne efter at være blevet konstante kan begynde at variere meget igen. 'Nugget' er den varians, som er ved nul-afstanden. 'Nugget' skal teoretisk set være nul, men grundet måleusikkerheder og parametervariationer indenfor mindre afstande vil denne typisk være forskellig fra nul. 'Range' er et estimat for den afstand, hvor stationsdata korrelerer, og dermed kan sammenlignes indenfor. Regndata fra stationer placeret i en afstand større end 'Range' vil der ikke være korrelation med. Det er 'Range'-parameteren, som der primært er fokus på i dette kapitel, da afstanden stationsdata kan sammenlignes indenfor vil blive anvendt i den automatiske kvalitetssikringsprocedure, hvor regndata fra omkringliggende stationer skal anvendes til at verificere regndata ved den enkelte station. [Lamorey og Jacobson, 1995, afs. Semivariogram parameter estimation]



Figur 7.1: Illustration af de tre parametre som karakteriserer et semi-variogram.

Det er med udgangspunkt i de tre parametre, som karakteriserer semi-variogrammerne, at modeller er opstillet således afstanden, hvor stationer kan sammenlignes indenfor, kan bestemmes. Det er forsøgt at tilpasse fire forskellige modeller til semi-variogrammerne, for at bestemme hvilken af disse, som giver det bedste resultat vurderet på baggrund af en R^2 -værdi. Disse modeller er:

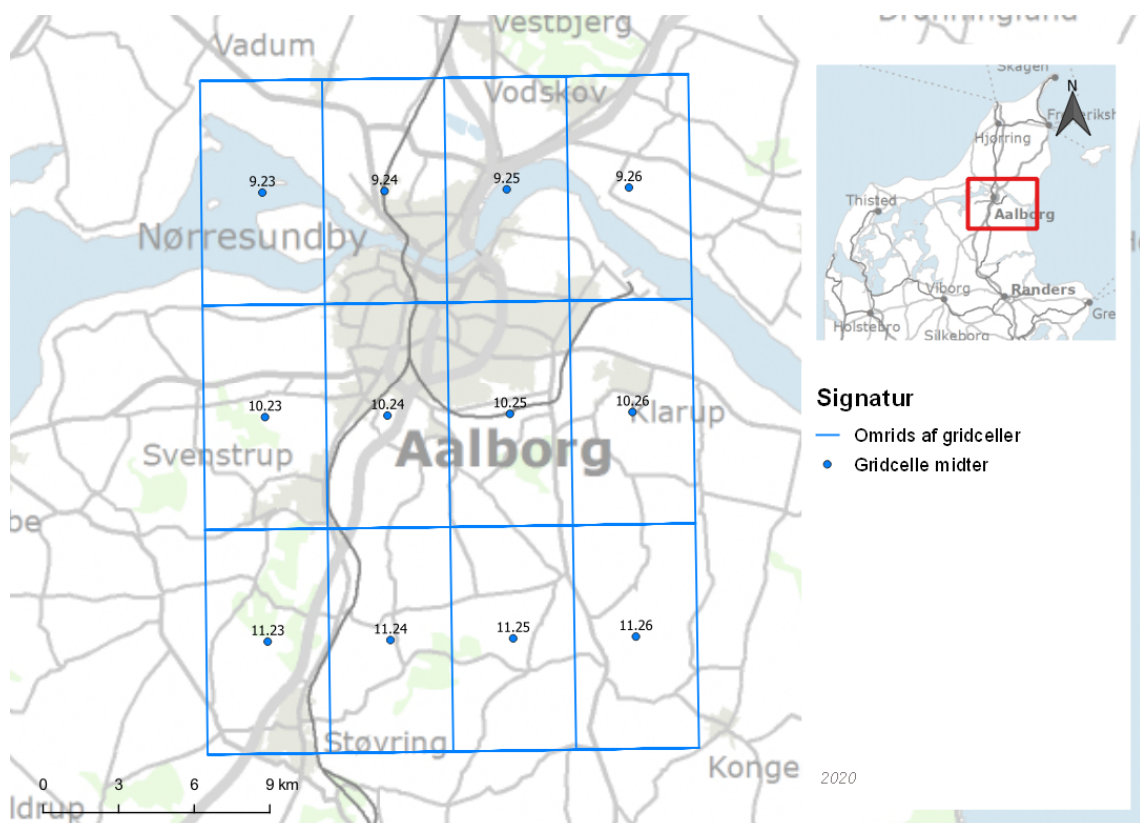
- Eksponentiel model
- Gaussisk model
- Lineær model
- Sfærisk model

De generelle udtryk for de fire modeltyper er præsenteret i appendiks F.

Tilpasningen af modellerne til punkterne i semi-variogrammerne er primært foretaget ud fra en kvantitativ betragtning, hvor RMSE værdien imellem punkterne i semi-variogrammerne og modellerne reduceres. Det er vanskeligt at foretage disse tilpasninger manuelt, således det ligeledes kan afgøres, om det er et lokalt eller globalt optimum, som er bestemt. Derfor er det valgt at tilpasse modellerne til semi-variogrammerne ved at benytte Monte Carlo simuleringer. Antallet af simuleringer er afgørende for, om det er muligt at bestemme det globale optimum, hvis dette eksisterer. For de forskellige parametre som indgår i de fire modeller, er der opstillet intervaller for, hvilke værdier disse parametre må antage. Med udgangspunkt i disse intervaller er Monte Carlo simuleringerne anvendt til at bestemme den optimale sammensætning af parameter-værdier med udgangspunkt i, at RMSE skal begrænses. Der er anvendt 1.000.000 simuleringer til at bestemme de parametersammensætninger, som giver anledning til de laveste RMSE.

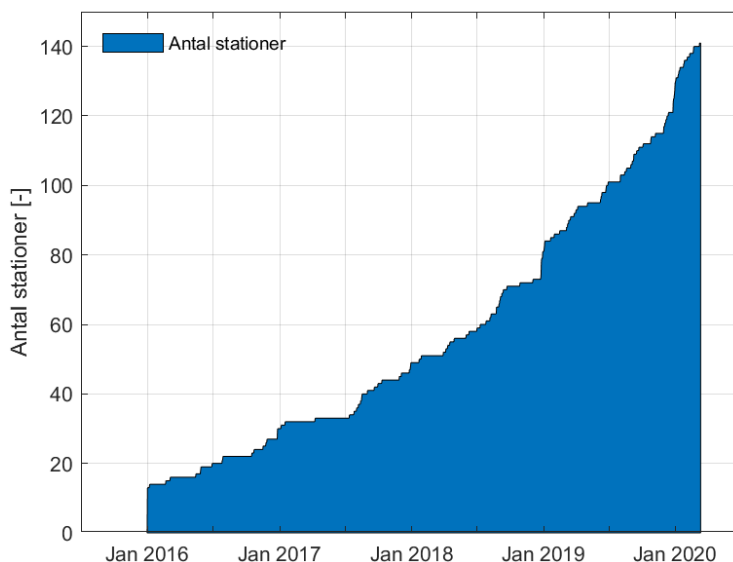
7.2 Valg af Netatmo stationer til semi-variogram analyse

Der er i kapitel 5 præsenteret en projektlokalitet, hvilken er anvendt til analyserne i kapitel 6. Det er dog vurderet, at dette område ikke er tilstrækkeligt til semi-variogram analysen, da der er for få stationskombinationer, hvor afstanden imellem disse er over 20 km. Derfor er området udvidet således, at der er flere datapunkter til de større afstande for at reducere forskellene i størrelsen af afstandsintervallerne. Gridcellerne, som er anvendt til at indhente stationsdata fra til semi-variogram analysen, er præsenteret på figur 7.2.



Figur 7.2: Gridceller som er anvendt til at indhente historisk regndata fra Netatmo stationer i Aalborg og omegn med ekstra udvidelse mod syd.

Der skal anvendes stationsdata fra en længere periode for at forbedre datagrundlaget for semi-variogrammerne. Det er valgt at indhente historisk regndata fra perioden 01.01.2016 - 11.03.2020. Antallet af stationer har dog ændret sig i denne periode, hvilket fremgår af figur 7.3.



Figur 7.3: Antallet af stationer som funktion af tid i perioden 01.01.2016 - 11.03.2020.

Det fremgår af figur 7.3, at antallet har ændret sig væsentligt i denne periode, og dermed er der beregnet færre varianser på baggrund af regndata fra 2016 i sammenligning med antallet af varianser beregnet på baggrund af regndata fra 2019.

7.3 Udvælgelse og sortering af regnhændelser

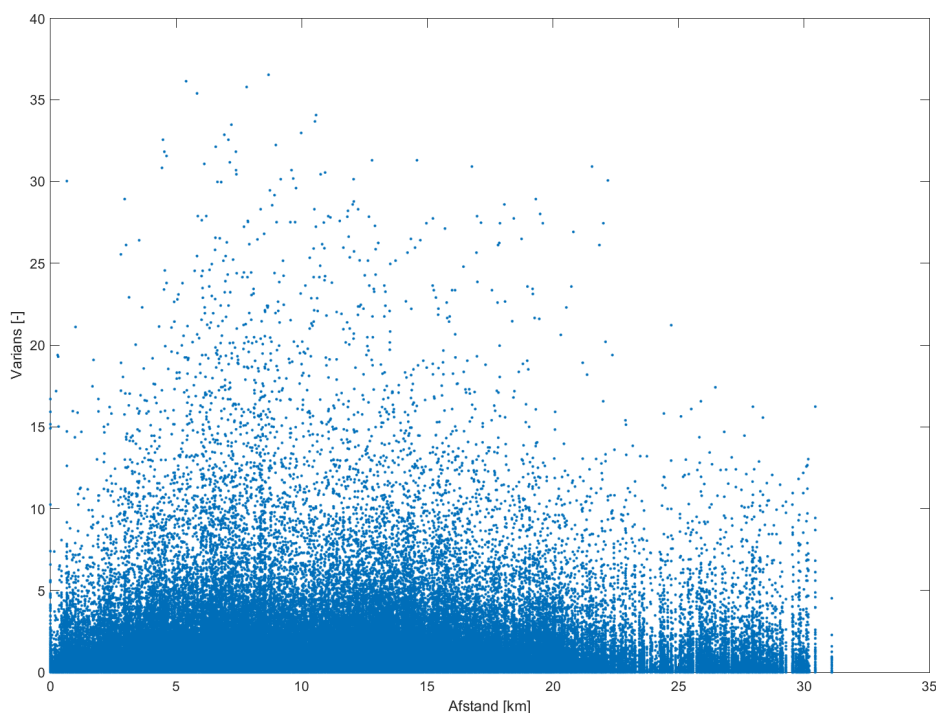
Til semi-variogram analysen er der anvendt regnhændelser på 2,5 mm eller derover. Det er vanskeligt at definere regnhændelser, når flere stationer betragtes, da der grundet regnhændelsens bevægelse kan være forsinkelser imellem registreringerne ved de enkelte stationer. Derudover kan regnhændelsens udvikling give anledning til, at der kan være store variationer i den registrerede nedbørsmængde. Derfor har sorteringen og opdelingen af regnhændelser primært foregået ud fra en kvalitativ betragtning. Dog er der indledningsvist foretaget en kvantitativ opdeling af regnhændelserne, hvor disse er tildelt den dag, hvor der er startet med at blive registreret nedbør. I denne inddeling er regnhændelserne endnu ikke fuldt opdelt, da der kan forekomme flere regnhændelser på en dag. Derefter er der frasorteret dage, hvor det udelukkende er 6 stationer eller derunder, som har registreret nedbør.

Der er anvendt tre forskellige tidsskalaer på henholdsvis 10, 60 og 24 timer, hvorfor der er anvendt forskellige kvalitative metoder til at opdele regnhændelser og sortere i regndataene. Eksempelvis er der ikke foretaget megen opdeling af regnhændelser, når en tidsskala på 24 timer anvendes, hvilket også er en af denne tidsskalas styrker, da forskydninger i starttidspunkter ikke får megen betydning. Der er dog kun medtaget dage, hvor der ikke er registreret nedbør hen over midnat, da det i nogle tilfælde kan få stor betydning for døgnsommen og dermed varianserne, hvis en regnhændelse er startet på hver sin side af midnat ved forskellige stationer. Det er forventet at døgnsomme ikke vil variere meget indenfor et område af den størrelse, som der er indhentet regndata fra. Der er på baggrund af en kvalitativ vurdering foretaget frasorteringer af døgnsomme, som afveg meget fra de øvrige registrerede nedbørssomme, hvilket er grundet forventningen om, at døgnsomme vil være sammenlignelige indefor det betragtede område.

Da der kan forekomme flere regnhændelser på en dag, har der for tidsskalaerne på 10 og 60 min været fokus på at opdele regnhændelser, som er registreret indenfor samme dag. Den kvalitative opdeling af regnhændelser er foretaget ud fra en betragtning af starttidspunkterne for registrering af nedbør ved de enkelte stationer på den betragtede dag. Det viste sig, at stationerne ofte var tydeligt grupperet i eksempelvis to eller flere grupper, hvorfor dataene for denne dag er opdelt til flere regnhændelser. For begge tidsskalaer er maksimalværdien bestemt ud fra et glidende gennemsnit for de enkelte regnhændelser. Derfor har der i frasorteringen ikke været megen fokus på, hvor meget stationerne afviger fra hinanden i forhold til nedbørsum, men mere fokus på om maksimalværdien afviger meget fra de øvrige registrerede værdier. Generelt for frasortering af regndata har der for alle tidsskalaer været fokus på at frasortere stationer, hvor der har været lange tidsstempler indenfor perioderne for de udvalgte regnhændelser. Tidsstempler som er længere end omkring 15 min betragtes som lange tidsstempler. Der er valgt en grænse på 15 min, da det for datasæt med en tidslig diskretisering på 1-5 min i Michaelides [2008, afs. 5.2.3] er anbefalet at anse konstante værdier over en periode på 15 min for ikke brugbar.

7.4 Semi-variogrammer for hver årstid for tidsskalaer på 10 min, 60 min og 24 timer

Der er konstrueret semi-variogrammer for hver årstid med tidsskalaerne 10 og 60 min samt 24 timer. Disse semi-variogrammer er konstrueret med 10 og 20 afstandsintervaller, hvor semi-variogrammerne er præsenteret i appendiks F. For hvert interval er median værdien for variansen anvendt til at konstruere semi-variogrammerne. Det er valgt at anvende median værdier for variansen og inddelte i afstandsintervaller, da der kan forekomme væsentlige variationer i de beregnede varianser indenfor samme afstand. Det er på figur 7.4 illustreret hvordan semi-variogrammerne ville se ud, hvis der ikke blev anvendt median værdier for varianserne, og det ikke var inddelt i afstandsintervaller. Median værdien og afstandsintervaller medvirker til at synliggøre udviklingen i korrelationen som funktion af afstand.



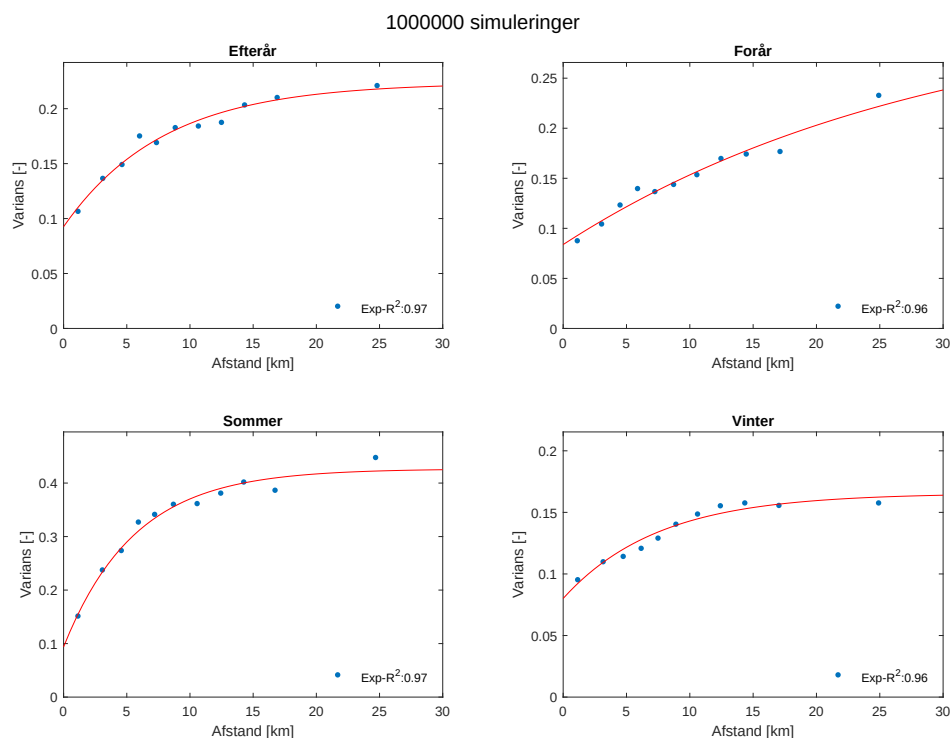
Figur 7.4: Illustration af at varianserne varierer væsentligt, når der ikke anvendes en median værdi for hvert afstandsinterval.

Det er forsøgt at tilpasse fire forskellige modeller, hvilke blev nævnt i afsnit 7.1, til semi-variogrammerne. Resultatet af at tilpasse disse modeller til semi-variogrammerne er præsenteret i appendiks F, hvor den model som er vurderet fordelagtigt er præsenteret i dette afsnit. Udover at resultatet af den bedste sammensætning af parameterverdier for de fire modeller er præsenteret i appendiks F, er der foretaget en entydighedsanalyse på baggrund af de 20 bedste parametersammensætninger i dette appendiks. Entydigheden af løsningerne er bestemt på baggrund af Monte Carlo simuleringer og er vurderet ud fra, hvor meget afstanden som stationer kan sammenlignes indenfor varierer imellem de 20 bedste løsninger. Det er valgt udelukkende at foretage entydighedsanalysen ud fra en betragtning af, hvor meget 'Range' varierer imellem de forskellige løsninger, da det er afstanden, stationsdata kan sammenlignes indenfor, som skal anvendes i en procedure for kvalitetssikring af det historiske regndata. R^2 -værdier samt entydigheden opnået med de fire modeller er anvendt til at vurdere hvilken model, som er fordelagtig at anvende som funktionsudtryk for semi-variogrammerne.

Det fremgår af appendiks F, at der ikke er opnået entydige løsninger til semi-variogrammerne for tidsskalaerne 10 og 60 min. Dette er tilfældet, når der er anvendt 10 afstandsintervaller såvel, som når 20 afstandsintervaller er anvendt, hvilket ligeledes fremgår af tabel 7.1. Der er opnået fornuftige R^2 -værdier ved at anvende den eksponentielle model, men da der ikke er entydighed på baggrund af de 20 bedste parametersammensætninger, er det vurderet, at der med Monte Carlo simuleringerne ikke er opnået et globalt optimum. Det fremgår dog, at der er væsentlige forbedringer ved at anvende 60 min maksimalverdier i sammenligning med at anvende 10 min maksimalverdier. Det er dog ikke vurderet fordelagtigt at anvende semi-variogrammerne baseret på 10 og 60 min tidsskalaerne til at bestemme den afstand, som stationer kan sammenlignes indenfor.

Der er opnået entydige løsninger til semi-variogrammet for tidsskalaen på 24 timer både med 10 og 20 afstandsintervaller, hvilket fremgår af tabel 7.1 og appendiks F. Generelt er den højeste R^2 -værdier for hver af de fire årstider opnået med den eksponentielle model, men for vinter er den bedste R^2 -værdi opnået med den lineære model. Det fremgår dog, at afstanden som stationer kan sammenlignes indenfor øges væsentligt med den lineære model i sammenligning med den eksponentielle model. Derfor er det ikke vurderet retvisende at anvende den eksponentielle model til semi-variogrammerne for forår, sommer og efterår, mens den lineære model anvendes til vinter. Derudover er det begrænset, hvor meget bedre R^2 -værdien bliver ved at anvende den lineære model om vinteren i sammenligning med at anvende den eksponentielle model. Ydermere er der større sikkerhed ved at anvende den eksponentielle model, da denne estimerer, kortere afstande hvor stationerne kan sammenlignes indenfor, hvilket er på den sikre side i forhold til, at stationerne korrelerer. På baggrund af semi-variogram analysen er det vurderet fordelagtigt at anvende semi-variogrammerne baseret på døgnsummer, hvor den eksponentielle model er tilpasset alle årstider. Det er valgt at anvende 10 afstandsintervaller, da den resulterende 'Range' ikke differentierer væsentligt fra den 'Range' bestemt med 20 afstandsintervaller, hvilket fremgår af tabel 7.1 og indeholder flere datapunkter i hvert interval.

Den eksponentielle model tilpasset til semi-variogrammerne for de fire årstider baseret på 24t tidsskalaen med 10 afstandsintervaller er præsenteret på figur 7.5. Derudover er funktionsudtrykkende for den tilpassede eksponentielle model til de fire årstider angivet i appendiks F.



Figur 7.5: Tilpasset eksponentiel model til semi-variogrammet baseret på 24t tidsskalaen med 10 afstandsintervaller.

De bedste parameterkombinationer for den eksponentielle model tilpasset semi-variogrammerne for de fire årstider og på årsbasis med en tidsskala på 10 og 60 min samt 24 timer med 10 og 20 afstandsintervaller er præsenteret i tabel 7.1.

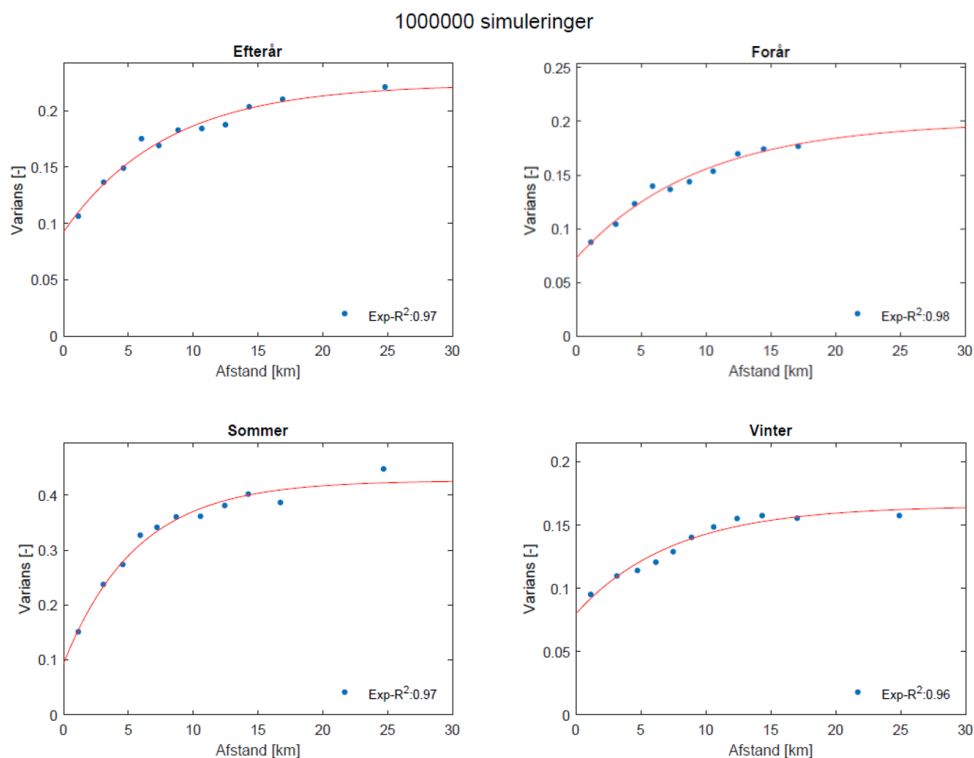
Tabel 7.1: De bedste parameterkombinationer for den eksponentielle model tilpasset til semi-variogrammerne for de fire årstider og på årsbasis. Derudover er der angivet de bedste parameterkombinationer for de tre anvendte tidsskalaer og for 10 og 20 afstandsintervaller.

Periode	10 afstandsintervaller				20 afstandsintervaller			
	Sill [-]	Nugget [-]	Range [km]	Stabil?	Sill [-]	Nugget [-]	Range [km]	Stabil?
10 min maksimalværdier								
Forår	0,01	0,01	11,7	Ja	0,01	0,01	15,1	Ja
Sommer	0,01	0,08	3,90	Nej	0,01	0,08	3,88	Nej
Efterår	0,01	0,02	6,13	Ja/nej	0,01	0,02	5,22	Nej
Vinter	0,01	0,01	14,4	Nej	0,01	0,01	8,62	Nej
År	0,01	0,01	6,31	Ja/nej	0,01	0,01	5,76	Ja/nej
60 min maksimalværdier								
Forår	0,04	0,07	12,4	Ja	0,04	0,07	12,5	Ja
Sommer	0,06	0,29	5,51	Nej	0,05	0,29	5,37	Nej
Efterår	0,04	0,09	7,50	Nej	0,04	0,08	5,69	Nej
Vinter	0,04	0,09	28,3	Nej	0,04	0,09	23,9	Nej
År	0,05	0,09	9,25	Ja	0,05	0,10	9,27	Ja
Døgnsommer								
Forår	0,08	0,33	29,4	Ja	0,08	0,35	29,9	Ja
Sommer	0,09	0,43	5,62	Ja	0,10	0,43	5,95	Ja
Efterår	0,09	0,22	7,93	Ja	0,09	0,22	8,12	Ja
Vinter	0,08	0,17	7,50	Ja	0,08	0,18	7,47	Ja
År	0,09	0,24	7,91	Ja	0,09	0,25	8,36	Ja

Det fremgår af tabel 7.1, at afstanden stationsdata kan sammenlignes indenfor, 'Range', bestemt med den eksponentielle model tilpasset til semi-variogrammerne baseret på 10 og 60 min maksimalværdier varierer meget imellem årstiderne. Dette er vurderet at skyldes, at der ikke er opnået stabile løsninger, og dermed er den resulterende 'Range' afhængig af den valgte parameterkombination. Derudover fremgår det, at 'Range' varierer meget imellem at anvende 10 afstandsintervaller og anvende 20 afstandsintervaller, hvis løsninger ikke er entydige. Derimod er der ikke væsentligt forskel imellem at anvende 10 og 20 afstandsintervaller i tilpasningen af den eksponentielle model til semi-variogrammerne baseret på 24t tidsskalaen. Generelt er der opnået mere stabile løsninger med stigende varighed.

Antallet af afstandsintervaller er afgørende for, hvor mange datapunkter median værdierne i hvert interval er baseret på. Derudover er det ligeledes afgørende for hvor mange forskellige afstande, som skal repræsenteres i et enkelt punkt. Det er på baggrund af analyserne i dette kapitel og appendiks F vurderet, at en forøgelse af antallet af afstandsintervaller giver større variationer imellem median værdierne, og dermed slører udviklingen i semi-variogrammerne. Antallet af stationskombinationer med en afstand på over 20 km er begrænset i sammenligning med repræsentationen ved de kortere afstande. Dermed kan en forøgelse af antallet af afstandsintervaller give anledning til, at den sidste median værdi skal repræsentere et mindre spænd af afstande. Derimod kan en reduktion af afstandsintervaller give anledning til, at den sidste median værdi skal repræsentere et stort spænd af afstande. Dog giver et reduceret antal afstandsintervaller anledning til, at variationerne imellem median værdierne reduceres, og dermed synliggøres udviklingen i semi-variogrammerne.

Det fremgår af tabel 7.1, at selvom der er opnået entydige løsninger med den eksponentielle model tilpasset semi-variogrammerne baseret på døgnsummer, afviger afstanden som stationsdata kan sammenlignes indenfor væsentligt for forår. Dette er vurderet at skyldes usikkerheden ved det sidste punkt i semi-variogrammerne. Derfor er det undersøgt, hvor stor betydning det har for den resulterende 'Range', at ekskludere det sidste punkt i semi-variogrammet for forår. Resultatet af dette er præsenteret på figur 7.6, i tabel 7.2 og i appendiks F.



Figur 7.6: Den eksponentielle model tilpasset til semi-variogrammerne baseret på 24t tidsskalaen med 10 afstandsintervaller for de fire årstider. Forårsperioden er manuelt justeret.

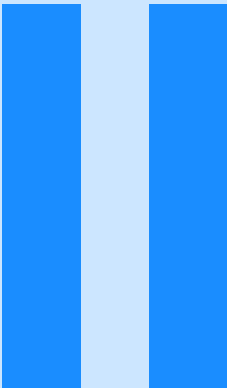
Tabel 7.2: Parameterværdierne til den eksponentielle model tilpasset til semi-variogrammerne baseret på 24t tidsskalaen med 10 afstandsintervaller for de fire årstider. Forårsperioden er manuelt justeret.

10 afstandsintervaller			
Periode	Sill [-]	Nugget [-]	Range [km]
Døgnsummer			
Forår	0,07	0,20	9,48
Sommer	0,09	0,43	5,62
Efterår	0,09	0,22	7,93
Vinter	0,08	0,17	7,50
År	0,09	0,24	7,91

Det fremgår af tabel 7.2, at justeringen af forårsperioden har resulteret i, at afstanden er reduceret fra omkring 29 km til omkring 9,5 km i forårsperioden, hvilket er i bedre overensstemmelse med de afstande, som er beregnet for de øvrige årstider. Dermed er der i kvalitetssikringen af det historiske regndata anvendt følgende afstande, som stationsdata kan sammenlignes indenfor:

- Forår: 9,5 km
- Sommer: 5,5 km
- Efterår: 8,0 km
- Vinter: 7,5 km

I kapitel 6 blev der opnået de bedste gennemsnitlige korrelationer imellem SVK regndata fra vinterperioden, hvorfor det var forventet at den største afstand, stationsdata kan sammenlignes indenfor ville være i vinterperioden. Det fremgår dog, at denne afstand i vinterperioden er overgået af afstanden i forår og efterår. En af årsagerne til at der ikke er opnået det forventede resultat i vinterperioden kan være, at der ikke er foretaget frasortering af regndata, hvor der har været risiko for, at regnmålerne har været frosset fast, eller at sne er optøet i tragten, hvilket kan give anledning til misvisende regndata. Derimod var det forventeligt, at den korteste afstand er opnået i sommerperioden, da det i sommerperioden ligeledes gav den dårligste korrelation imellem SVK regndata i kapitel 6. De beregnede 'Range' på årstidsbasis er gennemsnitlige værdier. Det er muligt, at der for udprægede konvektive regnhændelser burde anvendes en mindre 'Range'. Derfor er det vurderet, at der i nogle tilfælde kan være udfordringer i forbindelse med at anvende en gennemsnitlig værdi for 'Range' i en kvalitetssikringsprocedure.



Udvikling af kvalitetssikringsprocedurer og regnprodukter

8	Test af mulige kvalitetssikringsparametre	75
9	Konstruering af regnprodukter	91
10	Sammenligning og vurdering af regnprodukter	97

8. Test af mulige kvalitetssikringsparametre

Dette kapitel indeholder beskrivelser af to kvalitetssikringsprocedurer, hvor den ene foretages på døgnbasis, og den anden foretages hvert 10. min. Disse er kaldt henholdsvis døgn og live kvalitetssikringsprocedurer. Udover forskelle i tidsskala valideres Netatmo stationer i live kvalitetssikringsproceduren udelukkende ved at betragte stationerne individuelt, mens der i døgn kvalitetssikringsproceduren både foretages en betragtning af den individuelle station samt en betragtning af, hvad de omkringliggende stationer har registreret. Formålet med at udvikle en live kvalitetssikringsprocedure er, at der er mulighed for at anvende Netatmo regndataene til opgaver indenfor den urbane hydrologi, hvor det er nødvendigt at få regndataene live. Dette produkt vil dog sandsynligvis give anledning til større usikkerheder i sammenligning med at foretage kvalitetssikringen over en længere periode. Døgn kvalitetssikringsproceduren er udviklet, da det er vurderet fordelagtigt at anvende døgndata som et led i kvalitetssikringen af regndata fra forskellige stationer for at udligne variationer, som forekommer grundet tidsforskydninger.

Forinden beskrivelsen af disse kvalitetssikringsprocedurer er der foretaget analyser, som er anvendt til at teste mulige kvalitetssikringsparametre og undersøge, hvor ofte disse kan forventes at blive anvendt til at markere tvivlsomme regnmålinger. Der er anvendt regndata fra perioden 01.01.2016 - 11.03.2020, og det fremgår af figur 7.3, at længden af dataserierne for de analyserede Netatmo stationer kan variere betydeligt. Der er analyseret regndata fra Netatmo stationer, som er placeret indenfor området, som blev præsenteret i afsnit 7.2. Analyserne af mulige kvalitetssikringsparametre er foretaget på døgnbasis, da disse er initierende analyser forinden opsætning af kvalitetssikringsprocedurerne.

Formålet med at teste mulige kvalitetssikringsparametre er at bestemme kritiske parametre i forhold til kvalitetssikring af det historiske Netatmo regndata. Dette vil blive anvendt til at sammensætte kvalitetssikringsprocedurer, hvorefter valideret regndata kan anvendes til at konstruere regnprodukter, hvilke kan anvendes til at løse forskellige opgaver indenfor den urbane hydrologi. Analyserne anvendt i dette kapitel til at teste mulige kvalitetssikringsparametre er som følger:

- Analyse af andelen af tiden over den enkelte stations samlede dataperiode hvor diskretiseringen i tid er uregelmæssig
- Analyse af antal stationsdage hvor den maksimale timeværdi for et døgn ved den enkelte station overskrider den maksimale timeværdi i Gregersen et al. [2014, Bilag til skrift 30. Regional regnrække version 4.1 - regneark]
- Analyse af antal stationsdage hvor den maksimale timeværdi for et døgn ved den enkelte station overskrider måleintervallet for Netatmo regnmålere
- Analyse af den procentuelle afvigelse i døgnsum mellem den enkelte Netatmo station og den nærmeste SVK station
- Analyse af den procentuelle afvigelse for den enkelte station fra median døgnsummen for de stationer som er placeret indenfor den 'Range', som er gældende for den aktuelle sæson

Disse analyser er efterfulgt af en beskrivelse af de dataformater, som er anvendt i kvalitetssikringsprocedurerne. Herefter er live og døgn kvalitetssikringsprocedurerne beskrevet. Der er foretaget en sammenligning af differensen for antallet af Netatmo stationer, som er valideret med henholdsvis live og døgn kvalitetssikringsproceduren for år 2019. Derudover er kvalitetssikringsprocedurerne sammenlignet ved at gentage analysen af den procentuelle afvigelse i døgnsum mellem den enkelte Netatmo station og den nærmeste SVK station, hvor den enkelte station er valideret igennem henholdsvis live og døgn kvalitetssikringsproceduren.

Det validerede Netatmo regndata er efterfølgende anvendt til at konstruere regnprodukter, som er sammenlignet internt samt til at konstruere regnprodukter, som kan sammenlignes med regndata fra SVK stationer og DMI klimagrid 10x10 km. Der er i Wang og Scharling [2010, afs. 3.1] anvendt interpoleringsmetoden 'Inverse Distance Weighting' til at interpolere stationsdata fra DMI systemet til 10x10 km gridceller. Derfor er denne metode ligeledes anvendt i forbindelse med kvalitetssikring af enkelte Netatmo stationer som et led i døgnkvalitetssikringsproceduren. Metoden til 'Inverse Distance Weighting' er præsenteret i formel 8.1. Der er anvendt en potens på 2, da dette er anvendt i Wang og Scharling [2010, afs. 3.1].

$$IDW = \frac{\sum \left(\frac{u_i}{d_i^p} \right)}{\sum \left(\frac{1}{d_i^p} \right)} \quad (8.1)$$

Hvor:

IDW	[mm/tidsskala]	Afstandsvægtet nedbørsregistrering
u	[mm/tidsskala]	Registreret nedbør ved station i
d	[km]	Afstand fra station i til interessepunktet
p	[-]	Vægtning af afstanden

Der blev i kapitel 7 foretaget en semi-variogram analyse for at bestemme gennemsnitlige afstande på årstidsbasis, hvor der forekommer spatial korrelation mellem regndata fra Netatmo stationerne. 'Range' for de fire årstider blev bestemt til:

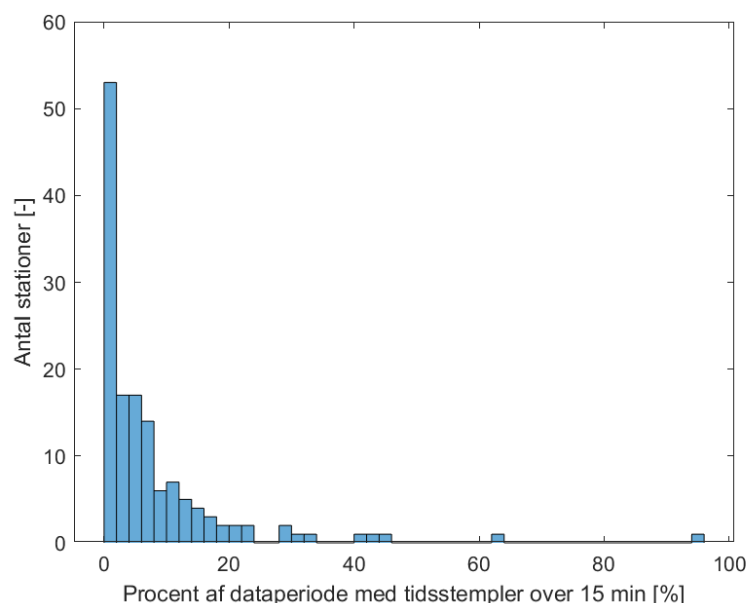
- Forår: 9,5 km
- Sommer: 5,5 km
- Efterår: 8,0 km
- Vinter: 7,5 km

Disse afstande er anvendt i døgn kvalitetssikringsproceduren, hvor der foretages sammenligning af stationsdata fra omkringliggende stationer med regndata fra den enkelte station, som skal valideres.

8.1 Analyse af uregelmæssig diskretisering

Analysen af andelen af tiden over den enkelte stations samlede dataperiode hvor diskretiseringen i tid er uregelmæssig, med tidsstempler på over 15 min, er foretaget for at undgå regndata, hvor regnregistreringerne skal fordeles ud over længere perioder. Der er valgt en grænse på 15 min, da det for datasæt med en tidslig diskretisering på 1-5 min i Michaelides [2008, afs. 5.2.3] er anbefalet at anse konstante værdier over en periode på 15 min for ikke brugbar. Det er forventet, at lange tidsskridt vil give anledning til reducerede regnintensiteter grundet den dårlige tidslige diskretisering. Derfor er det vurderet at stationer, hvor der forekommer lange tidsstempler, i den periode kvalitetskontrollen foretages over, skal markeres som dårlig. Dette er grundet, at regnintensiteten vil afvige fra de regnintensiteter, som forekommer ved de stationer, som der sammenlignes med. Denne analyse er dermed anvendt til at belyse, hvor ofte det er nødvendigt at frasortere regndata grundet dårlig tidslig diskretisering.

På figur 8.1 er antallet af stationer angivet i intervaller af procentuelle andele for hvor meget lange tidsstempler udgør af den enkelte stations totale dataperiode. I appendiks G er den procentuelle andel af lange tidsstempler i den totale dataperiode angivet.



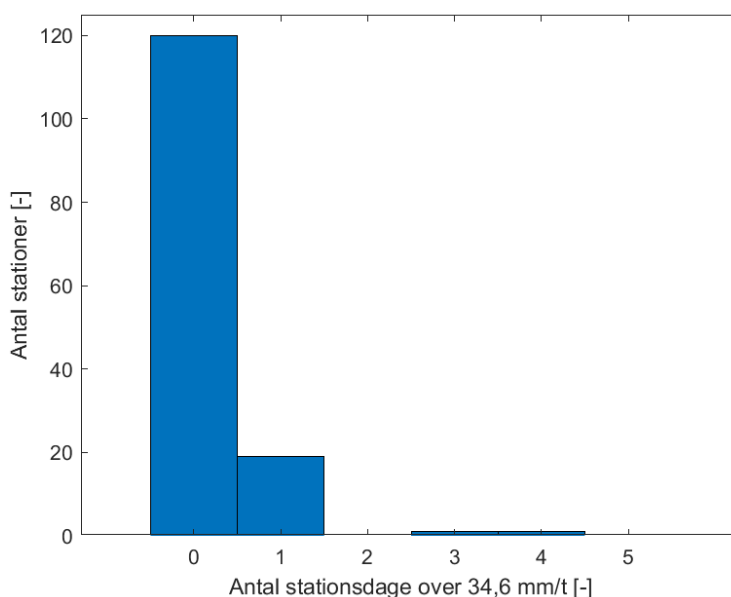
Figur 8.1: Andel af tiden over den enkelte stations samlede dataperiode hvor diskretiseringen i tid er uregelmæssig med tidsstempler på over 15 min.

Det fremgår af figur 8.1, at der er enkelte stationer, hvor størstedelen af den totale dataperiode indeholder lange tidsskridt. For omkring 1/3 af Netatmo stationerne har lange tidsskridt udgjort mellem 0 - 2 % af den samlede dataperiode. Omkring 2/3 af det samlede antal Netatmo stationer har indeholdt mellem 0 - 10 % lange tidsstempler ud af den samlede dataperiode. Derfor er det vurderet, at hovedparten af Netatmo stationer vil have en velfungerende tidslig diskretisering størstedelen af tiden. Dog fremgår det ligeledes, at der er stationer hvor lange tidsstempler udgør størstedelen af dataperioden, hvorfor det er vurderet, at kvalitetssikringsprocedurerne bør indeholde et tjek for lange tidsstempler.

8.2 Analyser af antal stationsdage hvor fastsatte grænseværdier overskrides

Analyserne af antal stationsdage, hvor time maksimalværdierne på døgnbasis overskrider fastsatte grænseværdier, er foretaget for at undersøge, hvor ofte det kan forventes, at usandsynlige regnintensiteter forekommer i regndataene. Analyserne er foretaget for de enkelte stationers totale dataperiode. Der er anvendt to grænseværdier på henholdsvis 34,6 og 150 mm/time. Disse er anvendt med henblik på at markere ekstremnedbør, ligesom der foretages i SVK systemet. Ekstreme nedbørsregistreringer ved SVK stationer markeres med et 'e' hvis der er registreret en intensitet på > 2 mm/min [Sarup, 2018, afs. Definitionen af KM2-format]. Grundet den tidlige diskretisering af det historiske regndata er det ikke vurderet fordelagtigt at anvende denne grænseværdi.

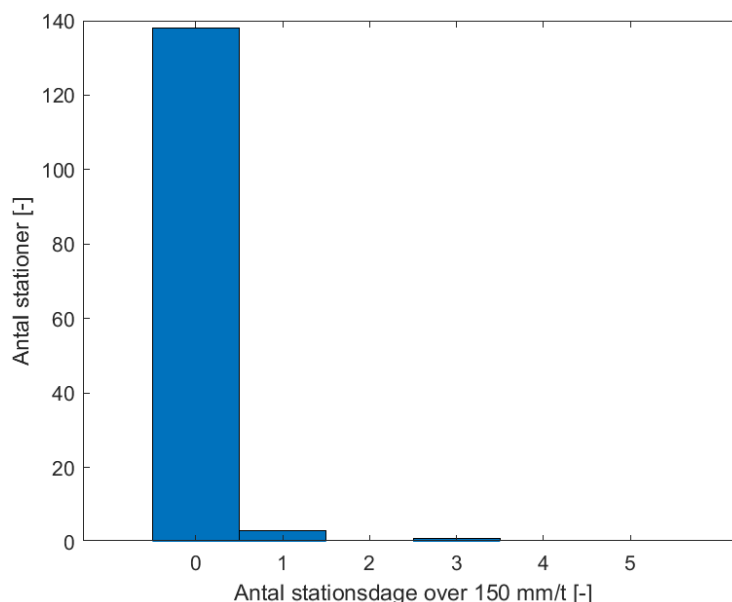
Grænseværdien på 34,6 mm/time er den maksimale timeværdi i Gregersen et al. [2014, Bilag til skrift 30. Regional regnrække version 4.1 - regneark], hvilken har en gentagelsesperiode på 33 år. Derfor er det ikke forventet, at denne værdi vil forekomme i et stort omfang i regndataene fra de analyserede Netatmo stationer. For at vurdere om regndata fra en station skal sorteres fra, for den dag en overskridelse af grænseværdien på 34,6 mm/time forekommer, bør stationen sammenlignes med omkringliggende stationer. Antallet af stationsdage, hvor denne grænseværdi er overskredet for de enkelte stationer, er beregnet og præsenteret på figur 8.2 samt i appendiks G.



Figur 8.2: Antal stationsdage hvor time maksimalværdien på døgnbasis for de enkelte stationer overskrider 34,6 mm/time.

Det fremgår af figur 8.2, at det er få stationer, som har registreret en time maksimalværdi, som overskrider grænseværdien på 34,6 mm/time. I Aalborg har der d. 30.07.19 været en regnhændelse hvor der faldt omkring 33 mm nedbør i et tidsrum på omkring 40 min [Krøll, 2019]. Det er sandsynligvis denne regnhændelse, som ved nogle stationer har givet anledning til én overskridelse af grænseværdien på 34,6 mm/time. Det fremgår ligeledes, at der er enkelte stationer, hvor grænseværdien er overskredet flere gange i løbet af den totale dataperiode for stationerne, hvilket muligvis ikke er retvisende.

Grænseværdien på 150 mm/time er fastsat, da dette er den øvre grænse for måleintervallet for Netatmo stationerne. Det er vurderet, at en regnintensitet svarende til denne grænseværdi er yderst usandsynlig, og derfor er det vurderet, at regndata hvor denne grænseværdi overskrides, skal markeres som dårlig, i den periode kvalitetssikringen foretages over. Antallet af gange, grænseværdien på 150 mm/time er overskredet for de enkelte stationer, er beregnet og præsenteret på figur 8.3 samt i appendiks G.



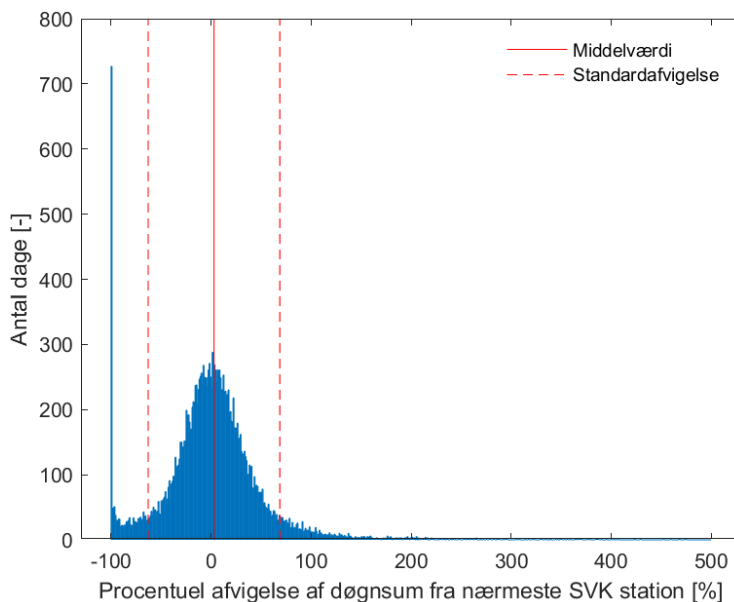
Figur 8.3: Antal stationsdage hvor time maksimalværdien på døgnbasis for de enkelte stationer overskrider 150 mm/time.

Det fremgår af figur 8.3, at grænseværdien på 150 mm/time er overskredet ved fire Netatmo stationer, og derfor ikke forekommer ofte. Det er vurderet, at grænseværdien på 150 mm/time er et redskab, som kan anvendes til at sortere regndata fra, som med sikkerhed ikke er retvisende, for den periode kvalitetssikringen er foretaget for.

8.3 Analyse af den procentuelle afvigelse mellem Netatmo og SVK døgnsummer

Det blev i kapitel 4 belyst, at grundet stationsspecifikke fejl overestimeres større regnhændelser væsentligt for ikke kalibrerede Netatmo stationer i sammenligning med manuelle registreringer. I kapitel 6 blev det vurderet, at der for intensiteter $> 0,5$ mm/5 min kan være en tendens til, at Netatmo stationerne underestimerer regnhændelser i sammenligning med SVK regndata. Analysen i kapitel 6 blev foretaget for en begrænset periode fra det sene efterår til og med vinteren 2018 - 2019. Derfor er der i dette afsnit foretaget analyser af den procentuelle afvigelse mellem Netatmo og SVK døgnsummer for perioden 01.01.16 - 11.03.2020. Der er udelukkende anvendt dage, hvor SVK stationen har registreret $> 2,5$ mm/dag til analysen. Dette er valgt, da det ved mindre regnhændelser kan være retvisende, at der ved Netatmo stationen er registreret 0 mm/dag, mens der ved en SVK stationer er registreret > 0 mm/dag. Sådanne dage kunne potentielt overestimere antallet af dage med en procentuel afvigelse på -100 % mellem Netatmo og SVK døgnsummer.

Sammenligningen er foretaget med den SVK station, som er placeret nærmest den enkelte Netatmo station. Analysen er anvendt til at undersøge, om der optræder nogen trend, hvor Netatmo stationerne over- eller underestimerer i sammenligning med SVK regndata, når regndata for alle sæsoner over en længere periode anvendes. Resultatet af analysen er præsenteret på figur 8.4.



Figur 8.4: Den procentuelle afvigelse fra døgnsunnen fra den nærmeste SVK station for den enkelte Netatmo station.

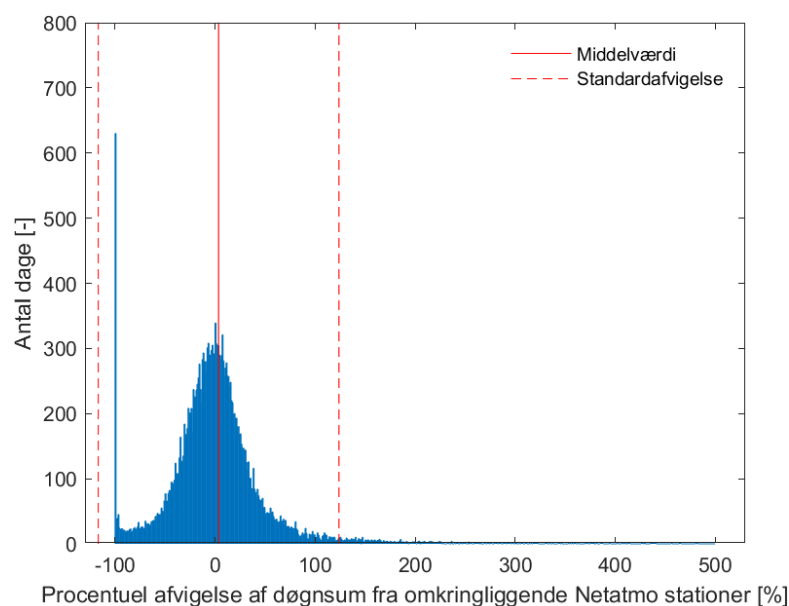
Det fremgår af figur 8.4, at gennemsnittet af procentuelle afvigelser fra SVK døgnsunnen er placeret til højre for 0. Middelværdien er beregnet til omkring 3 %, hvilket indikerer, at der er en tendens til en begrænset overestimering af døgnsunnen ved Netatmo stationerne. Det skal dog bemærkes, at der som minimum kan være en procentuel afvigelse på - 100 %, hvorimod den maksimale procentuelle afvigelse kan være væsentligt større end 100 %. Standardafvigelsen er beregnet til omkring 66 %, hvilket betyder, at der er en væsentlig spredning af de procentuelle afvigelser fra SVK døgnsunnen omkring middelværdien af disse. De procentuelle afvigelser fra SVK døgnsunnen er tilnærmelsesvis normalfordelte, og dermed er der ikke nogen tydelig trend for om Netatmo stationer over- eller underestimerer.

Det fremgår af figur 8.4, at der er et stort antal af hændelser, hvor den procentuelle afvigelse fra den nærmeste SVK station er mellem -99 til -100 %. Dette betyder, at der er flere regnhændelser, hvor en Netatmo station ikke har registreret nedbør, mens den nærmeste SVK station har registreret nedbør. Det er dermed muligt, at der forekommer falske nul-værdier i Netatmo regndataene, selvom det udelukkende er dage med $> 2,5$ mm/dag, som er betragtet. Dette kan ikke detekteres ved udelukkende at foretage kvalitetssikring af regndataene ved isoleret at betragte den enkelte station. Derfor bør døgns kvalitetssikringsproceduren foretages ved at sammenligne regndata fra den enkelte Netatmo station med regndata fra andre regnmålere. Grundet tidsforskydninger imellem stationsdata er det ikke vurderet fordelagtigt at implementere en sammenligning med omkringliggende stationer i live kvalitetssikringsproceduren.

Det fremgår af kapitel 1, at afstanden mellem den enkelte Netatmo station og den nærmeste SVK station kan være stor. Derfor er det ikke vurderet som en holdbar løsning at foretage sammenligninger mellem Netatmo og SVK regndata i kvalitetssikringsproceduren. Derfor er det valgt at undersøge muligheden for at validere Netatmo regndata fra den enkelte station ved at sammenligne det med andre Netatmo stationer placeret indenfor den gældende 'Range' for den aktuelle sæson.

8.4 Analyse af den procentuelle afvigelse fra omkringliggende stationer

Der er foretaget en analyse af den procentuelle afvigelse mellem døgnsommen for den enkelte Netatmo station og median døgnsommen beregnet på baggrund af data fra Netatmo stationer placeret indenfor 'Range' fra den enkelte Netatmo station. Denne analyse er foretaget for at undersøge muligheden for at anvende den procentuelle afvigelse fra median døgnsommen for de omkringliggende Netatmo stationer i døgns kvalitetssikringsproceduren. De omkringliggende Netatmo stationer udvælges ud fra den 'Range', som er gældende for den aktuelle sæson. Resultatet af denne analyse er præsenteret på figur 8.5.



Figur 8.5: Den procentuelle afvigelse for den enkelte station fra median døgnsommen beregnet på baggrund af Netatmo stationer placeret indenfor den gældende 'Range' fra den enkelte station.

Det fremgår af figur 8.5, at fordelingen af procentuelle afvigelser fra medianen af døgnsommen for de omkringliggende Netatmo stationer er sammenlignelig med fordelingen for den procentuelle afvigelse fra SVK døgnsommen. Skaleringen er forskellig, hvilket er vurderet at skyldes, at SVK stationen ikke altid har registreret nedbør, de dage Netatmo stationerne har. Dette kan skyldes afstanden imellem stationerne, da der ikke er taget hensyn til 'Range' i sammenligningen med SVK regndata. Derudover kan det skyldes vippekarstørrelsen, og måden hvormed regnhændelser i SVK regndataene defineres.

Da fordelingen af de procentuelle afvigelser på figur 8.4 og 8.5 er sammenlignelige, er det vurderet, at median værdier beregnet på baggrund af Netatmo regndata vil være tilsvarende den, hvis SVK regndata blev anvendt. Derfor er det vurderet muligt at validere Netatmo regndataene ved at sammenligne stationsdata med en median regnserie baseret på de omkringliggende stationer. På disse figurer fremgår det, at hovedparten af dataene befinder sig indenfor en procentuel afvigelse på ± 50 %, og det dermed er en begrænset andel af datamængden, som udgør outliers i form af falske nul-værdier, for lave registreringer eller for høje registreringer. Det er ikke forventet, at nedbørsregistreringer ved forskellige stationer er ens. Derimod er det forventet, at der forekommer et spænd af sande værdier, og derfor er det vurderet, at det primære fokus i kvalitetssikringen bør være at frasortere outliers.

Middelværdien for de procentuelle afvigelser fra median døgnsummen for de omkringliggende stationer er beregnet til omkring 4 % og med en spredning på omkring 120 %. Omkring 85 % af regndataene afviger ± 50 % fra median døgnsummen, hvilket er en væsentlig del af det samlede regndata. Det er vurderet på baggrund af analysen af fordelingen af procentuelle afvigelser fra median regnserier baseret på regndata fra omkringliggende Netatmo stationer, at dette kan anvendes til at frasortere outliers. For at denne metode kan anvendes til at validere stationsdata i døgn kvalitetssikringsproceduren, er det nødvendigt at fastsætte grænseværdier for de procentuelle afvigelser. For at fastsætte grænseværdierne er der foretaget en følsomhedsanalyse i appendiks H.

På baggrund af appendiks H er det vurderet fordelagtigt at anvende en grænseværdi for den procentuelle afvigelse fra median værdier på ± 50 %. Det fremgår ligeledes af følsomhedsanalysen, at der generelt er beregnet større procentuelle afvigelser fra SVK regndata i tilfælde, hvor der er færre Netatmo stationer indenfor 'Range'. Derfor er det vurderet, at der bør anvendes differentierede metoder i døgn kvalitetssikringsproceduren, hvor den enkelte station sammenlignes med omkringliggende stationer.

8.5 Beskrivelse af dataformater anvendt i kvalitetssikringsprocedurerne

Der er til kvalitetssikringsprocedurerne anvendt to forskellige dataformater. Det ene format der er anvendt, er det rå dataformat, hvor der ikke er foretaget databehandling. Det andet dataformat, der er anvendt, er regndataene omdannet til seriedata. Proceduren til at omdanne rå regndata til regnserier er beskrevet i appendiks D.

Proceduren for at indehente det rå historiske regndata er beskrevet i kapitel 3. Det rå historiske regndata har en tidslig opløsning på omkring 5 min. I hvert tidsstempel er den akkumulerede nedbør siden sidste tidsstempel angivet. Det rå regndata er anvendt til, at vurdere om der forekommer lange tidsstempler i dataene, hvorimod seriedataene er anvendt til de kvalitetssikringsparametre, hvor der sammenlignes med omkringliggende stationer.

8.6 Live kvalitetssikringsproceduren

Det er blevet beskrevet, at der kan returneres historisk regndata frem til de senest tilgængelige tidsstempler i kapitel 3. Det vil sige, at det er muligt at indhente det nyeste regndata for hvert 10. min. Derfor er live kvalitetssikringsproduktet udviklet til at validere det nyeste tilgængelige regndata hvert 10. min. Oftest er det to-tre tidsstempler, som kan indhentes hvert 10. min afhængigt af timingen for start af data indhentningen. Live kvalitetssikringskontrollen består af tre kvalitetssikringsparametre, hvilke er: tjek for lange tidsstempler, tjek for overskridelse af grænseværdier samt tjek for lav temperatur. Der er i alle parametertjekkene anvendt rå historisk regndata. Proceduren for kvalitetssikring af det seneste regndata er præsenteret på figur 8.6 og er vedlagt i elektronisk appendiks L.7.

I tjekket for lange tidsstempler differentieres der imellem lange tidsstempler, som forekom i tørvejrperioder og lange tidsstempler, som forekom sammenfaldende med nedbørsperioder. Differentieringen er foretaget, da det er vurderet ikke at være kritisk, at der forekommer lange tidsstempler i tørvejrperioder. Markeringen for dårlig temporal opløsning af regndataene er præsenteret på figur 8.6 og i tabel 8.1. Denne markering tilskrives det enkelte tidsstempel.

Kvalitetskontrollen indeholder et tjek for temperaturer $< 0^{\circ}\text{C}$. Dette er inkluderet, da temperaturer under frysepunktet kan give anledning til fastfrysning af regnmåleren. Derudover blev det beskrevet i kapitel 3, at det gyldige temperaturinterval for Netatmo regnmålerne er $0 - 50^{\circ}\text{C}$. Til analysen er der anvendt temperaturdata fra DMI, da det er vurderet, at der er større usikkerheder forbundet med Netatmo temperaturdata. Tjekket er foretaget ved først at bestemme det pågældende klokkeslæt og derefter runde ned til sidste hele time, da DMI har en tidlig diskretisering på en time. Derefter tjekkes det, om denne time findes i DMI datasættet, som består af timeværdier og gennemsnitlige temperaturer. Der er tre mulige udfald for hvilken temperatur, som anvendes:

- Den sidste hele time findes i DMI datasættet, og temperaturen for denne time ($Temp(DMI_{Time_nu})$) anvendes i tjekket for lave temperaturer
- Den sidste hele time findes ikke i DMI datasættet, og temperaturen for forrige hele time ($Temp(DMI_{Time_nu - 1})$) anvendes i tjekket for lave temperaturer
- Der kan ikke findes noget DMI data (999), og dermed kan temperaturtjekket ikke foretages.

Hvis gennemsnitstemperaturen fra DMI's datasæt er $< 0^{\circ}\text{C}$, markeres alle tidsstempler.

Markeringen for lav temperatur fremgår af figur 8.6 og i tabel 8.1. Hvis der ikke er tilgængeligt data fra DMI, markeres tidsstemplerne. Markeringen for at temperaturtjekket ikke har været muligt er ligeledes præsenteret på figur 8.6 og i tabel 8.1.

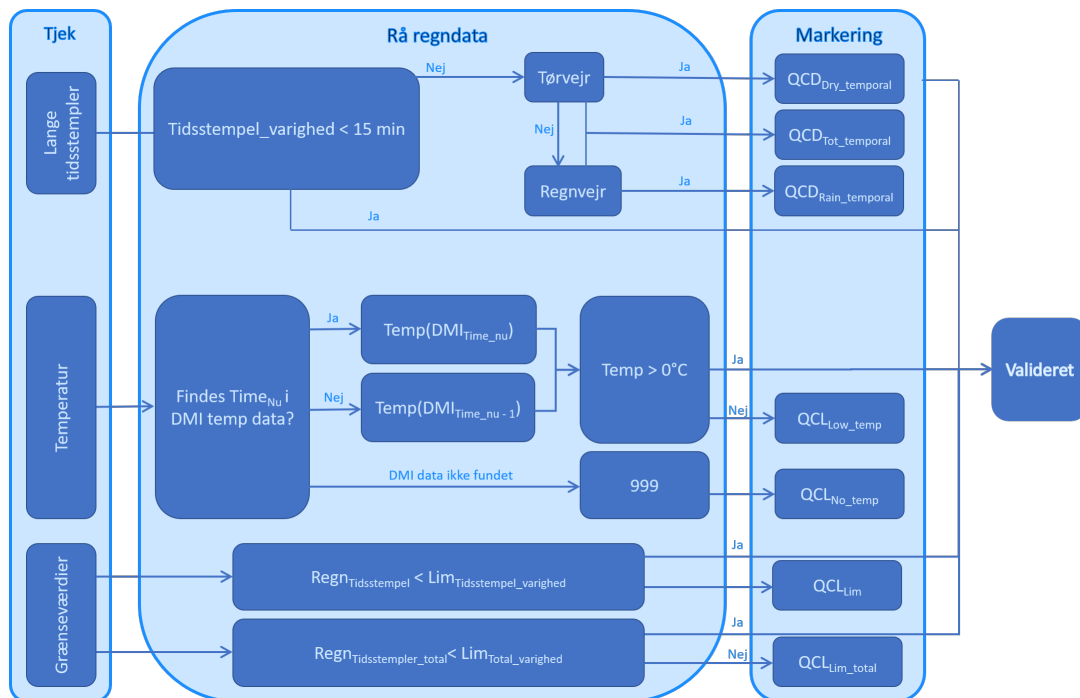
Tjekket for om grænseværdier overskrides i de enkelte tidsstempler er foretaget for at markere usandsynligt høje regnintensiteter i regndataene. Varigheden for det enkelte tidsstempel i hele antal minutter er blevet anvendt til på baggrund af en funktion at bestemme grænseværdien for denne varighed. Funktionen til bestemmelse af grænseværdier har projektgruppen udarbejdet ved fitte at en kurve til intensitetsværdier fra Gregersen et al. [2014, Bilag til skrift 30. Regional regnrække version 4.1 - regneark]. Funktionen er præsenteret i appendiks I.

Funktionen er gældende for varigheder op til 120 min. At inkludere en funktion, som kan anvendes til at fastsætte grænseværdier for tidsstempler med en varighed på op til 120 min, er valgt, da det kan forekomme, at den samlede dataperiode for det seneste data kan være længere, grundet en station igen sender data til serverne efter en internetafbrydelse. Dette er vurderet på baggrund af hukommelsesforsøgene i kapitel 4.

Hvis grænseværdien for det enkelte tidsstempel overskrides markeres dette tidsstempel. Ligeledes foretages der et tjek for, om grænseværdien for den totale varighed af det seneste data overskrides, hvilket der ligeledes er en markering for, hvis dette er tilfældet. Markeringerne for om grænseværdien, i det enkelte tidsstempel eller for de seneste tidsstempler samlet, overskrides er præsenteret på figur 8.6 og i tabel 8.1.

Tabel 8.1: Markeringerne anvendt i live kvalitetssikringsproceduren.

Markering	Forklaring
$QCD_{Dry_temporal}$	Temporal opløsning > 15 min i tørvejrperioder
$QCD_{Rain_temporal}$	Temporal opløsning > 15 min i nedbørsperioder
$QCD_{Tot_temporal}$	Temporal opløsning > 15 min i både tørvejr- og nedbørsperioder
QCL_{Low_temp}	Temperatur < 0 °C
QCL_{No_temp}	Temperaturtjek var ikke muligt
QCL_{Lim}	Overskredet grænseværdi svarende til tidsstemplets varighed
QCL_{Lim_total}	Overskredet grænseværdi svarende til den totale varighed af de seneste tidsstempler



Figur 8.6: Procedure for kvalitetssikring af historisk regndata indhentet live.

Live kvalitetssikringsproceduren er sammenlignet med døgn kvalitetssikringsproceduren i afsnit 8.8 for, at vurdere hvor velfungerende disse er, samt hvilke usikkerheder der kan være tilknyttet den enkelte procedure.

8.7 Døgn kvalitetssikringsproceduren

Døgn kvalitetssikringsproceduren er udviklet til at validere regndata fra det seneste døgn. Et døgn indeholder 288 tidsstempler af 5 min. Døgn kvalitetssikringsproceduren indeholder følgende kvalitetssikringsparametertjek:

- Tjek for lange tidsstempler
- Tjek for lav temperatur
- Tjek for unikke koordinater
- Anvendt metode til at beregne referenceværdi baseret på omkringliggende stationer
- Tjek for afvigelse fra referenceværdi
- Tjek for overskridelse af grænseværdi

Proceduren for kvalitetssikring af regndata fra det seneste døgn er præsenteret på figur 8.7 og vedlagt i elektronisk appendiks L.8. Markeringerne, der kan tilskrives igennem kvalitetssikringsproceduren, er præsenteret i tabel 8.2. Tjekket for lange tidsstempler i døgn kvalitetssikringsproceduren er foretaget på samme vis som i live kvalitetssikringsproceduren. Markeringerne for temporale afvigelser er præsenteret på figur 8.7 og i tabel 8.2. Markeringerne er tilskrevet de enkelte tidsstempler.

Temperaturtjekket i døgn kvalitetssikringsproceduren adskiller sig fra temperaturtjekket i live kvalitetssikringsproceduren ved, at dette er foretaget på timebasis. Hvis gennemsnitstemperaturen for den pågældende time fra DMI's datasæt er $< 0^{\circ}\text{C}$, markeres denne time. Markeringen for lav temperatur fremgår af figur 8.7 og i tabel 8.2. Denne markering medvirker, at stationen bliver frasortet på døgnbasis.

Det kan forekomme, at flere Netatmo stationer har samme koordinater, men differentierede nedbørsregistreringer. Det er ikke muligt ud fra det indhentede Netatmo data, at bestemme hvilken af stationerne som i virkeligheden har placeringen, som svarer til koordinaterne. Derfor er der foretaget et tjek i døgn kvalitetssikringsproceduren for unikke koordinater, da det er vurderet ikke at være muligt at validere stationsdata fra stationer, som har koordinater identisk med en eller flere andre stationer. En årsag til, at stationer kan have samme koordinater, kan være at stationer er konfigureret et andet sted, end disse er placeret idag. Markeringen for ikke unikke koordinater er præsenteret på figur 8.7 og i tabel 8.2.

Der er for hver station foretaget en analyse af hvor mange stationer, som er placeret indenfor 'Range' fra den enkelte station. Denne analyse er foretaget, da det i appendiks H blev vurderet, at der er væsentlige usikkerheder forbundet med at konstruere gennemsnitlige regnsrækker baseret på < 5 omkringliggende stationer. Derfor er der anvendt to forskellige metoder til at validere stationsdata afhængigt af antallet af omkringliggende stationer. Disse metoder er:

- Median værdi baseret på omkringliggende stationer når antallet af omkringliggende stationer indenfor 'Range' er ≥ 5
- Afstandsvægtet middelværdi til punktet for den enkelte station baseret på alle omkringliggende stationer når antallet af omkringliggende stationer indenfor 'Range' er < 5

Disse metoder anvendes til at beregne referenceværdier baseret på omkringliggende stationer, som anvendes til at validere regndata fra den enkelte station på baggrund af den procentuelle afvigelse fra referenceværdien.

Betragtningen af den procentuelle afvigelse fra referenceværdien er foretaget med tre forskellige tidsskalaer 10 og 60 min maksimalværdier samt døgnsum. For 10 og 60 min maksimalværdierne er der tre mulige udfald, mens der for døgnsummen er to mulige udfald:

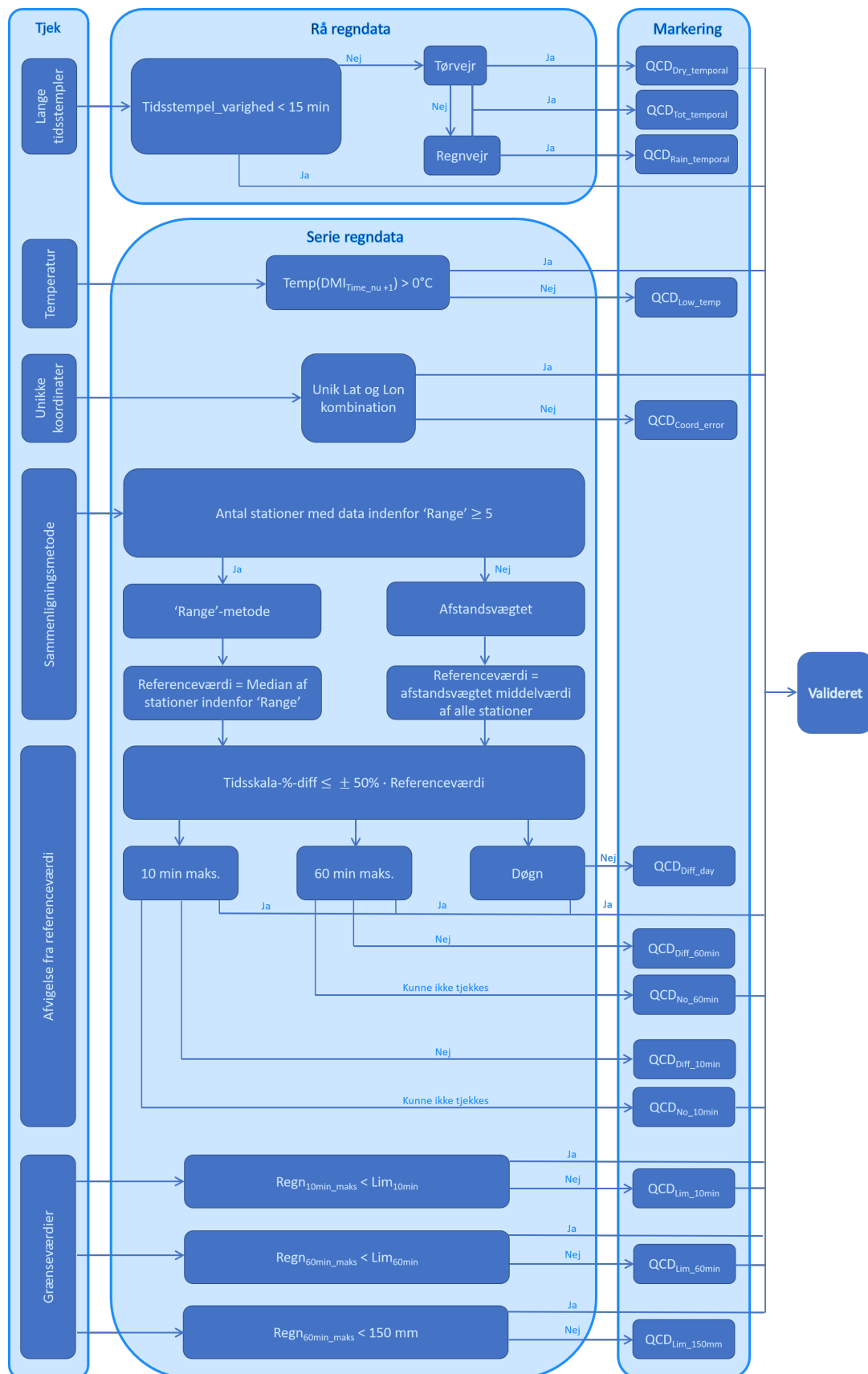
- 10 min eller 60 min maksimalværdien eller døgnværdien er indenfor den accepterede afvigelse fra referenceværdien
- 10 min eller 60 min maksimalværdierne kunne ikke tjekkes
- 10 min eller 60 min maksimalværdien eller døgnværdien er udenfor den accepterede afvigelse fra referenceværdien

Stationer valideres, når begge maksimalværdier samt døgnsummen er indenfor den accepterede afvigelse fra referenceværdien. Stationer, hvor det ikke har været muligt at tjekke en eller begge maksimalværdier, er markeret. Det er dog ikke flag, som giver anledning til at stationen ikke kan valideres, da årsagen til at det ikke er muligt, at foretage en sammenligning af maksimalværdierne, er grundet en nedbørsperiode, som er kortere end den peak-værdi, som tjekkes. Stationer er markeret, når en af maksimalværdierne eller døgnsummen eller kombinationer af disse er udenfor den accepterede afvigelse fra referenceværdien. Markeringerne er præsenteret på figur 8.7 og angivet i tabel 8.2.

10 min og 60 min maksimalværdierne for den enkelte station sammenlignes ligeledes med grænseværdier fastsat til maksimalværdierne i Gregersen et al. [2014, Bilag til skrift 30. Regional regnrække version 4.1 - regneark]. Derudover sammenlignes 60 min maksimalværdien med grænseværdien for Netatmo regnmålerens måleinterval på 150 mm/time. Hvis grænseværdierne overskrides, tildeles der et flag til hele perioden, som der kvalitetssikres. Markeringerne for overskridelse af grænseværdierne er præsenteret på figur 8.7 og angivet i tabel 8.2.

Tabel 8.2: Markeringerne anvendt i døgn kvalitetssikringsproceduren.

Markering	Forklaring
<i>QCD_{Dry-temporal}</i>	Temporal opløsning > 15 min i tørvejrperioder
<i>QCD_{Rain-temporal}</i>	Temporal opløsning > 15 min i nedbørsperioder
<i>QCD_{Tot-temporal}</i>	Temporal opløsning > 15 min i både tørvejr- og nedbørsperioder
<i>QCD_{Low-temp}</i>	Temperatur < 0°
<i>QCD_{Coord-error}</i>	Stationen har ikke unikke koordinater
<i>QCD_{Diff-10min}</i>	10 min maksimalværdien for stationen er udenfor den accepterede procentuelle afvigelse fra referenceværdien
<i>QCD_{Diff-60min}</i>	60 min maksimalværdien for stationen er udenfor den accepterede procentuelle afvigelse fra referenceværdien
<i>QCD_{Diff-day}</i>	Døgnsummen for stationen er udenfor den accepterede procentuelle afvigelse fra referenceværdien
<i>QCD_{No-10min}</i>	Kunne ikke sammenligne 10 min maksimalværdier
<i>QCD_{No-60min}</i>	Kunne ikke sammenligne 60 min maksimalværdier
<i>QCD_{Lim-10min}</i>	10 min maksimalværdien overskrider grænseværdien
<i>QCD_{Lim-60min}</i>	60 min maksimalværdien overskrider grænseværdien
<i>QCD_{Lim-150mm}</i>	60 min maksimalværdien overskrider grænseværdien for Netatmo måleinterval



Figur 8.7: Procedure for kvalitetssikring af historisk regndata på døgnbasis.

I forlængelse af døgn kvalitetssikringsproceduren er der udviklet en månedsrapport, som kan anvendes til at belyse trends ved de enkelte stationer. Proceduren for konstruering af månedsrapporten er vedlagt i elektronisk appendiks L.9. Månedsrapporten er udarbejdet på baggrund af fejlrapporten fra døgn kvalitetssikringsproceduren. Månedsrapporten indeholder dermed antallet af gange, en station er blevet fraseret på de forskellige grundlag. Da der kan være flere markeringer på døgnbasis, er der ligeledes i månedsrapporten angivet 'antal af dage med stationsspecifik fejl' for stationen for den pågældende måned. Denne parameter indeholder ikke antallet af dage med temperatur $< 0^{\circ}\text{C}$, da dette ikke er en stationsspecifik fejl. Derimod er der i 'antal dage med fejl' inkluderet dage med temperatur $< 0^{\circ}\text{C}$. Månedsrapporten indeholder dermed:

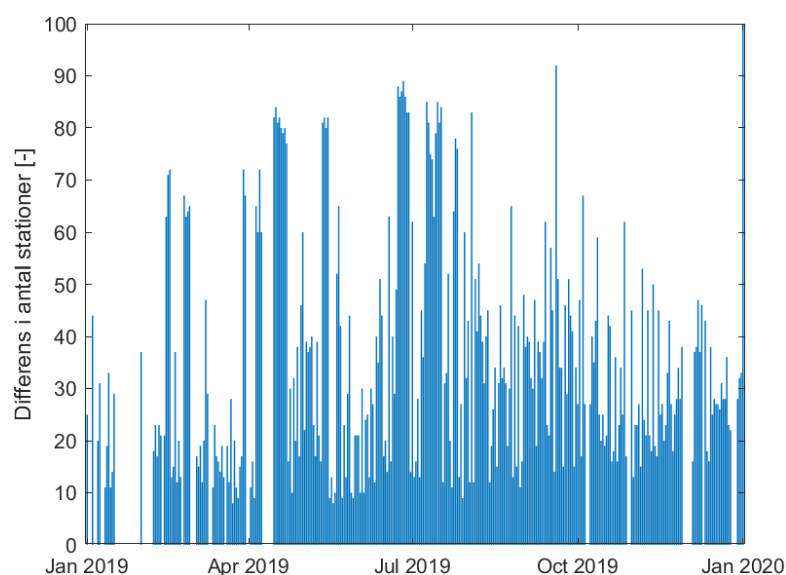
- Antal dage med en stationsspecifik fejl
- Antal dage med fejl
- Antal dage hvor døgnsum afviger total
- Antal dage hvor døgnsum overestimerer
- Antal dage hvor døgnsum underestimerer
- Antal dage hvor 10 min maks. afviger total
- Antal dage hvor 10 min maks. overestimerer
- Antal dage hvor 10 min maks. underestimerer
- Antal dage hvor 10 min maks. ikke er blevet tjekket
- Antal dage hvor 60 min maks. afviger total
- Antal dage hvor 60 min maks. overestimerer
- Antal dage hvor 60 min maks. underestimerer
- Antal dage hvor 60 min maks. ikke er blevet tjekket
- Antal dage hvor temperaturen har været $< 0^{\circ}\text{C}$
- Antal dage hvor 10 min maks. oversteg grænseværdi
- Antal dage hvor 60 min maks. oversteg grænseværdi
- Antal dage hvor der har været lange tidsstempler i nedbørsperioder
- Antal dage hvor der har været lange tidsstempler i tørvejrperioder
- Antal dage hvor en anden station har haft samme koordinater

Med månedsrapporten er der mulighed for, at se hvordan en station generelt har præsteret de pågældende måneder. En af månedsrapportens anvendelsesmuligheder er, at hvis crowdsourcing perspektivet udvides, kan det via en dialog med ejerne af de enkelte stationer være muligt, at flytte en station eller kalibrere en station, der eksempelvis generelt over- eller underestimerer. Det er muligt, at sådanne tiltag kan forbedre stationsdataene. Det er ligeledes muligt, at hvis der igennem månedsrapporten konstateres, at en station eksempelvis over- eller underestimerer, så kan der foretages en bias-justering. Der er dog risiko for at stationen senere ændre trend, hvilket kan betyde at en bias-justering ikke længere vil give et retvisende billede. Tilsvarende i forbindelse med overvejelser om at udelukke en station er det muligt, at stationen på et senere tidspunkt igen sender data af bedre kvalitet.

Døgn kvalitetssikringsproceduren er sammenlignet med live kvalitetssikringsproceduren i afsnit 8.8 for, at vurdere hvor velfungerende disse er i forhold til hinanden samt hvad usikkerheder, der kan være tilknyttet den enkelte procedure.

8.8 Sammenligning af live og døgn kvalitetssikringsprocedurerne

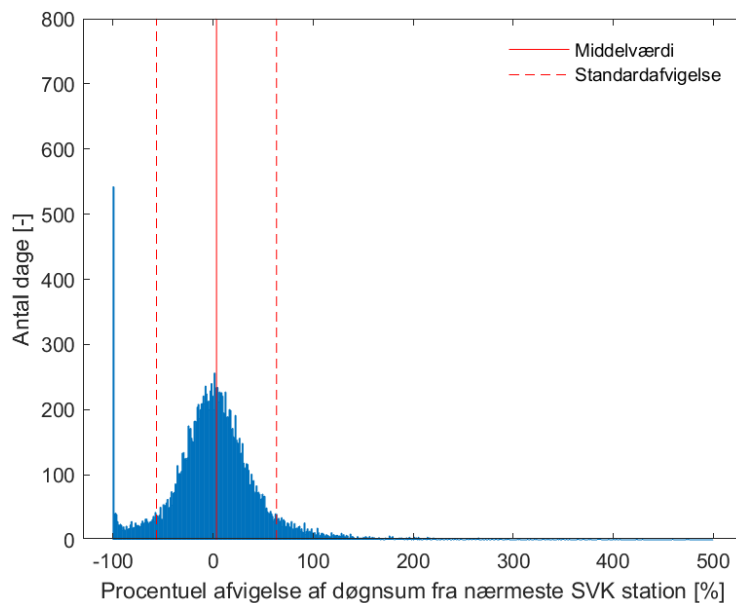
Sammenligningen af antal validerede stationer på døgnbasis med live og døgn kvalitetssikringsprocedurerne er præsenteret på figur 8.8. Differensen imellem antallet af stationer er beregnet således, at positive værdier angiver, at der er valideret flere stationer med live kvalitetssikringsproceduren. Det fremgår af figuren, at der er dage, hvor antallet af validerede stationer er væsentligt højere, hvor live kvalitetssikringsproceduren er anvendt. Dette er i overensstemmelse med, at der i live kvalitetssikringsproceduren ikke tages hensyn til registreringer ved omkringliggende stationer. Det er vurderet, at der dermed er større risiko for at stationer, hvor der er registreret outliers, valideres i live kvalitetssikringsproceduren.



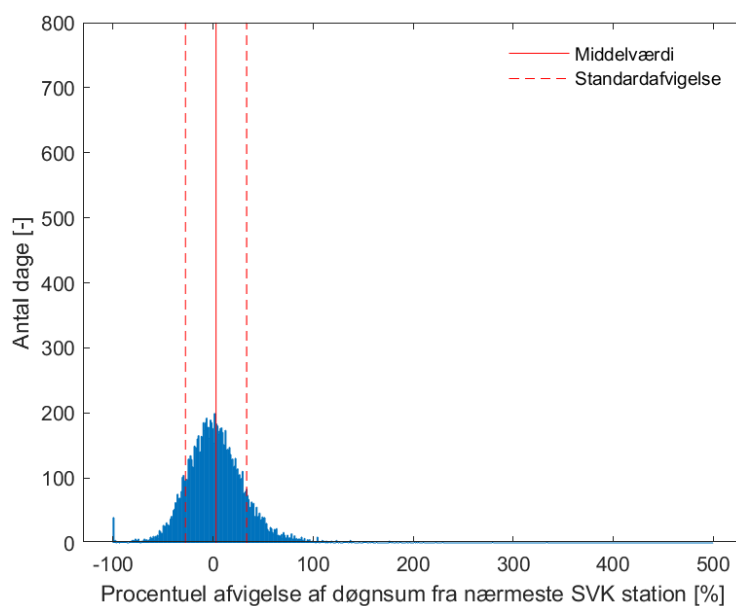
Figur 8.8: Differens mellem antal validerede stationer med henholdsvis live og døgn kvalitetssikringsproceduren. Positive værdier angiver, at der med live kvalitetssikringsproceduren er valideret flere stationer for den pågældende dag i sammenligning med antallet valideret med døgn kvalitetssikringsproceduren.

Der er foretaget en analyse af den procentuelle afvigelse imellem døgnsummer fra de enkelte Netatmo stationer og den nærmeste SVK station. Der er til resultatet på figur 8.9 anvendt stationer valideret igennem live kvalitetssikringsproceduren, og til figur 8.10 er der anvendt stationer valideret igennem døgn kvalitetssikringsproceduren. Figurerne er sammenlignet internt samt med figur 8.4 for at vurdere effekten af kvalitetssikringsprocedurerne på antallet af outliers.

Det fremgår af figur 8.4, 8.9 og 8.10, at antallet af dage med en procentuel afvigelse fra SVK regndata på -100 % er væsentligt reduceret med døgn kvalitetssikringsproceduren, hvor ændringen efter live kvalitetssikringsproceduren er begrænset. Dette er vurderet at skyldes, at der i live kvalitetssikringsproceduren ikke foretages en sammenligning med omkringliggende stationer, hvormed det ikke er muligt at frasortere falske nul-værdier. Det fremgår, at antallet af dage i de forskellige intervaller generelt er reduceret. Dette skyldes, at der er færre stationsdage inkluderet, som resultat af kvalitetssikringsprocedurerne.



Figur 8.9: Den procentuelle afvigelse imellem døgnsummer for stationer valideret igennem live kvalitetssikringsproceduren fra den nærmeste SVK station.



Figur 8.10: Den procentuelle afvigelse imellem døgnsummer for stationer valideret igennem døgn kvalitetssikringsproceduren fra den nærmeste SVK station.

Det er vurderet, at døgn kvalitetssikringsproceduren er fordelagtig til at frasortere outliers, hvormed der er større sikkerhed for, at regndataene er retvisende i sammenligning med at anvende regndata valideret med live kvalitetssikringsproceduren.

9. Konstruering af regnprodukter

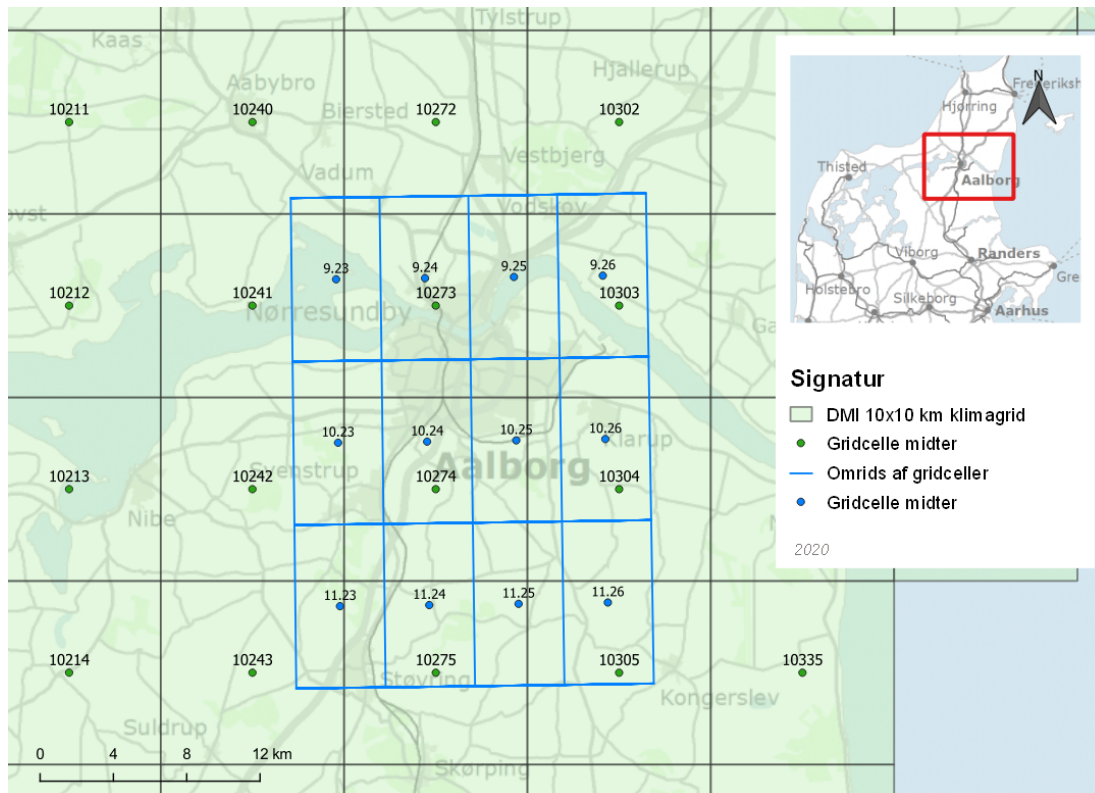
I dette kapitel er det validerede regndata igennem døgn kvalitetssikringsproceduren anvendt til at konstruere regnprodukter, som kan sammenlignes med DMI klimagrid 10x10 km samt SVK regndata. Der er konstrueret flere produkter baseret på valideret Netatmo regndata for at vurdere, hvilket af disse produkter, som er fordelagtig at anvende som det endelige produkt. Derudover er det anvendt til at vurdere om, der er potentiale for at anvende regnprodukter baseret på valideret Netatmo regndata til opgaver indenfor den urbane hydrologi. Vurderingen er foretaget ved at sammenligne resultaterne fra sammenligningerne med DMI klimagrid 10x10 km og SVK regndata i kapitel 10. Metoderne, som er vurderet fordelagtig til konstruering af et Netatmo regnprodukt, er anvendt til at konstruere et tilsvarende regnprodukt baseret på valideret regndata igennem live kvalitetssikringsproceduren. Dette er anvendt i afsnit 10.4 til at sammenligne regnprodukter konstrueret med regndata fra validerede stationer igennem henholdsvis live og døgn kvalitetssikringsproceduren. Dette kapitel indeholder dermed:

- Konstruering af regnprodukter til sammenligning med DMI klimagrid 10x10 km
- Konstruering af regnprodukter til sammenligning med SVK regndata

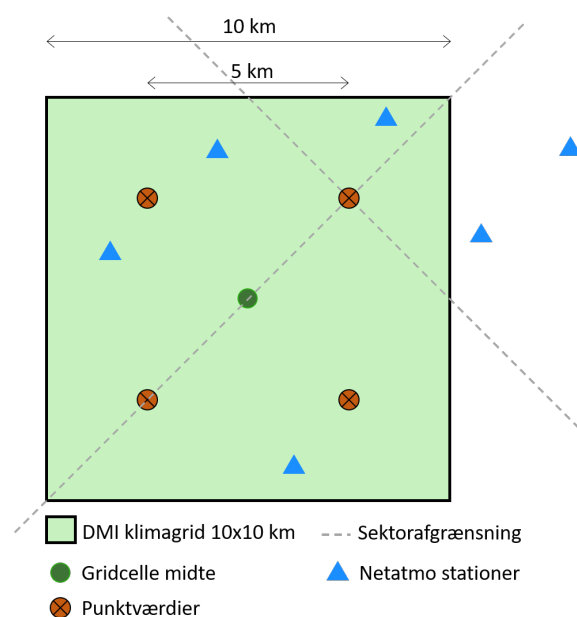
9.1 Regnprodukter til sammenligning med DMI 10x10 km gridværdier

De validerede Netatmo stationer med døgn kvalitetssikringsproceduren er anvendt til at konstruere gridværdier, som kan sammenlignes med DMI klimagrid 10x10 km værdierne. Derfor er valideret Netatmo regndata interpoleret til punkterne for DMI gridværdierne. DMI klimagrid 10x10 km for hele Danmark er præsenteret i appendiks C. På figur 9.1 er de gridceller, som er anvendt til at indhente Netatmo regndata sammenlignet med DMI klimagrid 10x10 km. Det fremgår af figuren, at der er overlap imellem det analyserede område og DMI 10x10 km gridcelle 10240, 10241, 10242, 10243, 10272, 10273, 10274, 10275, 10302, 10303, 10304 og 10305.

Til konstruering af 10x10 km gridværdier baseret på Netatmo regndata er der taget udgangspunkt i metoden anvendt i Wang og Scharling [2010] til at beregne DMI 10x10 km gridværdier. Metoden er illustreret på figur 9.2. Hver gridcelleværdi er beregnet ud fra fire punktværdi, som er placeret med en indbyrdes afstand på 5 km. De fire punktværdier beregnes ud fra fire 90° sektorværdier, hvor sektorværdierne beregnes ud fra en afstandsvægtning af stationerne, som befinder sig indenfor sektorerne. Metoden til denne afstandsvægtning er præsenteret i formel 8.1. Der medtages også regndata fra stationer, som er placeret udenfor omridset af 10x10 km gridcellen. Årsagen til, at der anvendes sektorværdier, er for at få en større geografisk spredning, således afstandsvægtningen ikke udelukkende er afgørende for sektorværdierne. Sektorværdierne er midlet for at bestemme værdierne i punkterne placeret med en indbyrdes afstand på 5 km. Disse punktværdier er midlet for at bestemme værdien i de enkelte 10x10 km gridceller.



Figur 9.1: Sammenligning mellem det analyserede område og DMI klimagrid 10x10 km.



Figur 9.2: Illustration af metode anvendt til at beregne 10x10 km gridværdier baseret på regndata fra Netatmo stationer.

Der er konstrueret tre regnprodukter til sammenligning med DMI klimagrid 10x10 km. De tre regnprodukter differentierer sig fra hinanden i antallet af validerede Netatmo stationer, som er anvendt til at beregne disse. Igennem sammenligningerne med DMI klimagrid 10x10 km gridværdierne i afsnit 10.1 er det vurderet hvilken af de tre metoder, som er fordelagtig at anvende til konstruering af et regnprodukt.

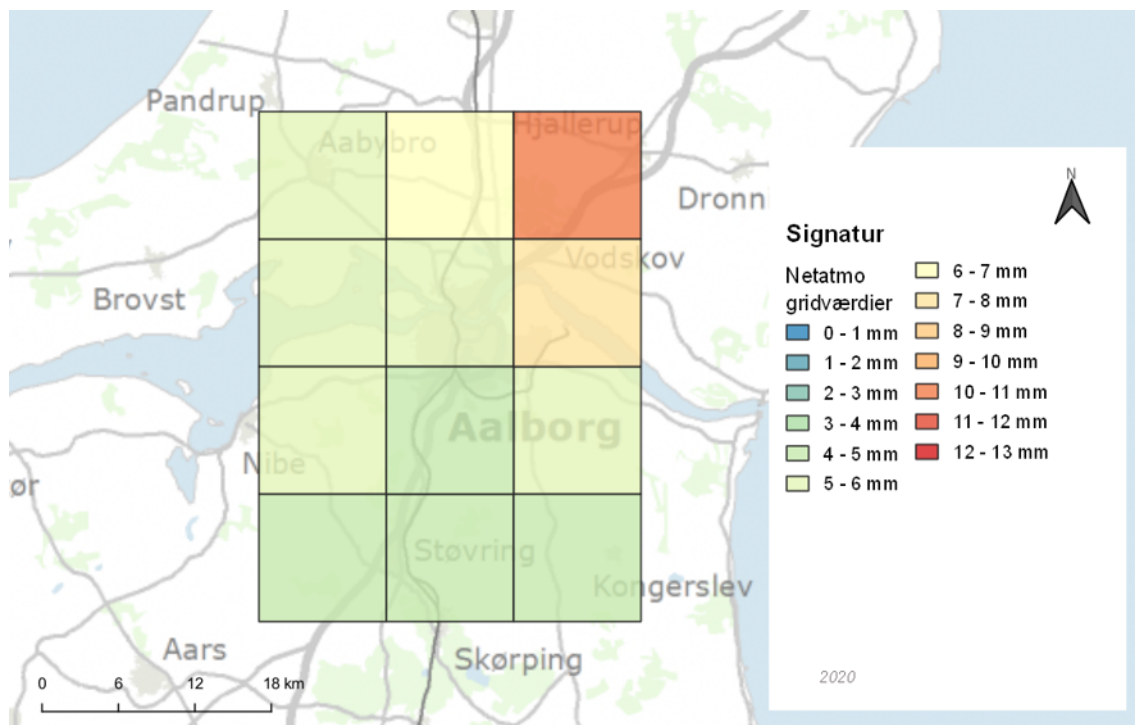
Antallet af stationer, som er anvendt til at konstruere Netatmo 10x10 km gridværdierne, er som følger:

- 90° sektorværdierne er baseret på den nærmeste station
- 90° sektorværdierne er baseret på alle validerede Netatmo stationer indenfor sektoren
- 90° sektorværdierne er baseret på alle Netatmo stationer, også ikke validerede stationer indenfor sektoren

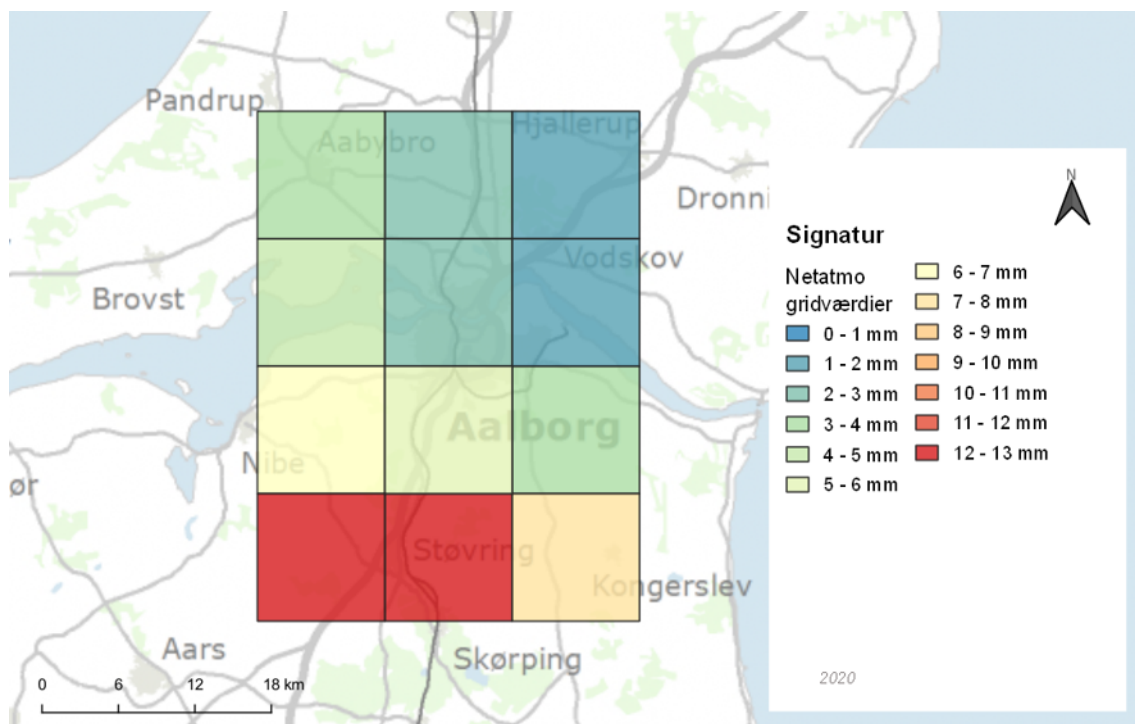
Det er forventet, at der er større overensstemmelse med DMI klimagrid 10x10 km ved at anvende flere stationer frem for udelukkende at anvende den nærmeste station, hvilket er anvendt i Wang og Scharling [2010]. Regnproduktet baseret på alle stationer, også ikke validerede stationer, er anvendt til, at vurdere om frasorteringen af outliers har en effekt på de interpolerede regnprodukter, som konstrueres.

Regnprodukterne til sammenligning med DMI klimagrid 10x10 km er beregnet på time- og døgnbasis, da dette er tidsskalaerne, det benyttede DMI griddata har. Der er anvendt Netatmo regndata fra 2019. Det er forventet, at sammenligningen over en større tidsskala reducerer afvigelserne imellem de to gridprodukter. Resultaterne for analysen er histogrammer, hvor antallet af timer med en differens indenfor intervallerne i histogrammet er angivet. Disse histogrammer er præsenteret i afsnit 10.1. Derudover er der på histogrammerne angivet årlig akkumuleret absolut fejl, afvigelse i årsnedbør samt gennemsnitlig fejl på timebasis. Resultaterne for analyserne på døgnbasis er angivet i gennemsnitlig timefejl, da det dermed er muligt at vurdere, om afvigelsen imellem produkterne reduceres, når sammenligningen foretages over en større tidsskala. Derudover er Netatmo gridværdierne sammenlignet med DMI klimagrid 10x10 km igennem scatterplot for at undersøge, om Netatmo stationer generelt over- eller underestimerer i sammenligning med DMI klimagrid 10x10 km. Derudover er der foretaget en 'hit-or-miss' analyse for at belyse sammenfald i nedbørs- og tørvejrperioder i de to gridprodukter.

Der er udvalgt enkelte dage til at illustrere gridproduktet baseret på Netatmo regndata, hvor alle validerede Netatmo stationer er anvendt til at konstruere gridværdierne. Gridværdierne på døgnbasis er for d. 06.06.19 og d. 01.08.19 præsenteret på henholdsvis figur 9.3 og 9.4.



Figur 9.3: Døgnværdier baseret på regndata fra alle validerede Netatmo stationer igennem døgn kvalitetssikringsproceduren for d. 06.06.19.



Figur 9.4: Døgnværdier baseret på regndata fra alle validerede Netatmo stationer igennem døgn kvalitetssikringsproceduren for d. 01.08.19.

Time - og døgn gridværdierne baseret på Netatmo regndata er sammenlignet med DMI klimagrid 10x10 km i afsnit 10.1. I afsnit 10.1 er det vurderet hvilket antal stationer, som er fordelagtig at anvende.

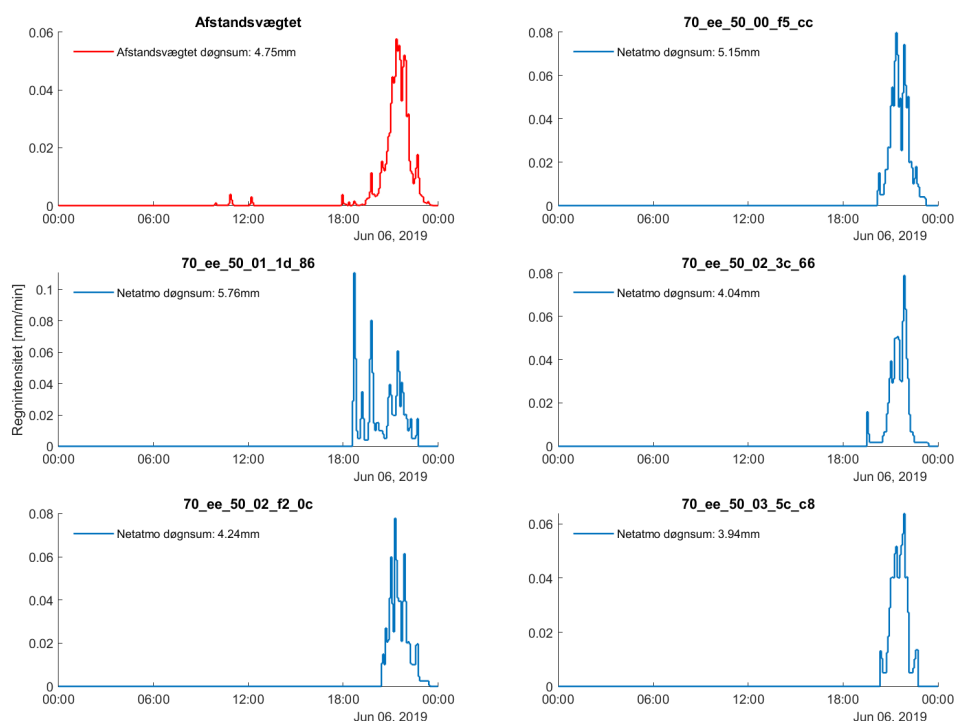
9.2 Regnprodukter til sammenligning med SVK regndata

De validerede Netatmo stationer med døgn kvalitetssikringsproceduren er ligeledes anvendt til at konstruere regnprodukter, som kan sammenlignes med SVK regndata. Der er anvendt tre metoder til at konstruere et Netatmo regnprodukt i form af regnserier, som kan sammenlignes med SVK regnserier. Disse tre metoder er som følger:

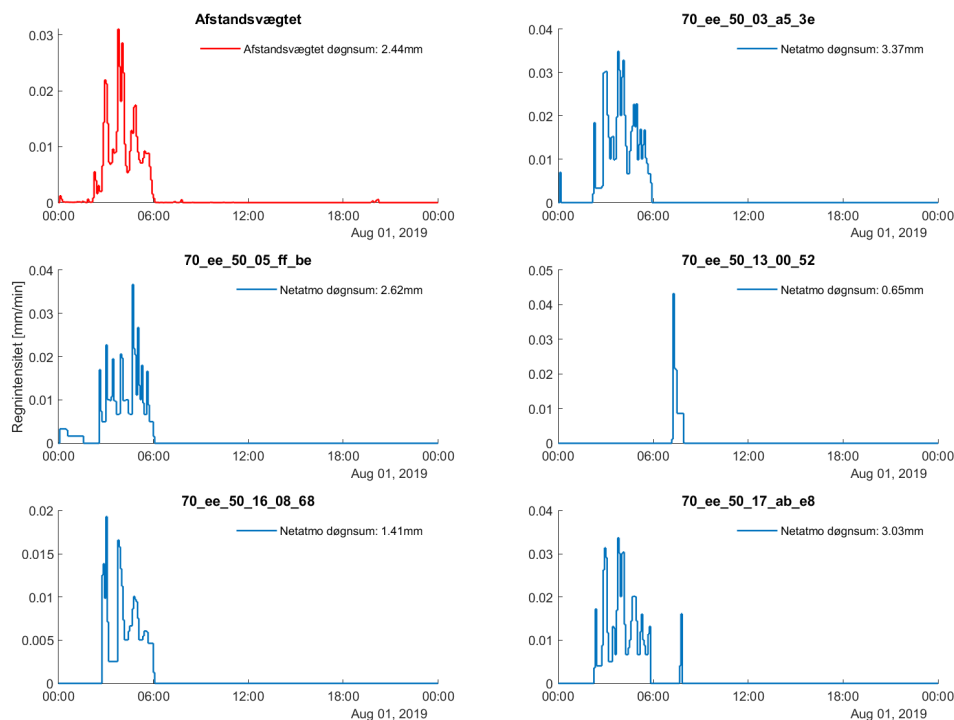
- Afstandsvægtede regnserier baseret på validerede Netatmo stationer placeret indenfor den gældende 'Range' fra en SVK station
- Afstandsvægtede regnserier baseret på validerede Netatmo stationer placeret indenfor en 4x4 km gridcelle med en SVK station som center
- Regnserierne fra de validerede Netatmo stationer indenfor 'Range' fra SVK stationen anvendes i sammenligningen med denne SVK station

De afstandsvægtede regnserier er konstrueret med interpoleringsmetoden præsenteret i formel 8.1. Regnserierne konstrueres ud fra middelværdier på tidsstempelbasis. Det er forventet, at de interpolerede regnserier vil give en bedre gennemsnitlig repræsentation af regnhændelser i form af bedre overensstemmelse med SVK 60 min maksimalværdier samt SVK døgnsummer. Derimod er det forventet, at der med de enkeltstående validerede Netatmo stationer kan opnås en bedre beskrivelse af peak-værdierne i SVK regnserien.

Der er på figur 9.5 og 9.6 præsenteret eksempler på afstandsvægtede regnserier baseret på regndata fra validerede Netatmo stationer indenfor 'Range' fra SVK stationen samt eksempler på regnserier fra individuelle stationer.



Figur 9.5: Den afstandsvægtede regnserie baseret på regndata fra validerede Netatmo stationer indenfor 'Range' fra SVK stationen samt individuelle regnserier fra udvalgte stationer.



Figur 9.6: Den afstandsvægtede regnserie baseret på regndata fra validerede Netatmo stationer indenfor 'Range' fra SVK stationen samt individuelle regnserier fra udvalgte stationer.

Regnserierne konstrueret på baggrund af regndata fra validerede Netatmo stationer er sammenlignet med SVK regnserier i afsnit 10.2 for, at vurdere hvilket regnprodukt som er fordelagtigt at anvende. Resultaterne for analysen er præsenteret i histogrammer, hvor antallet af timer med en differens indenfor intervallerne i histogrammet er angivet. Disse histogrammer er præsenteret i afsnit 10.2. Derudover er der på histogrammerne angivet årlig akkumuleret absolut fejl, afvigelse i årsnedbør samt gennemsnitlig fejl på timebasis. Resultaterne for analyserne på døgnbasis er angivet i gennemsnitlig timefejl, da det dermed er muligt at vurdere, om afvigelsen imellem produkterne reduceres, når sammenligningen foretages over en større tidsskala. Derudover er regnprodukterne sammenlignet med SVK regndata igennem scatterplot for at vurdere, om der er en tendens til, at Netatmo over- eller underestimerer i sammenligning med SVK.

10. Sammenligning og vurdering af regnprodukter

Dette kapitel indeholder sammenligninger af regnprodukterne præsenteret i kapitel 9 med DMI klimagrid 10x10 km og SVK regndata. Der blev i kapitel 9 konstrueret flere regnprodukter, hvor det igennem sammenligningerne med DMI og SVK regndata er vurderet hvilken, som er fordelagtig at anvende som et Netatmo regnprodukt. Sammenligningerne er ligeledes anvendt til at vurdere, om der er potentiale for at anvende valideret Netatmo regndata til opgaver indenfor den urbane hydrologi. Produkterne præsenteret i kapitel 9 er konstrueret med regndata fra Netatmo stationer, som er valideret igennem døgn kvalitetssikringsproceduren. Metoden, som er anvendt til det regnprodukt, der er vurderet fordelagtigt igennem sammenligningerne med DMI og SVK regndata er ligeledes anvendt til at konstruere et regnprodukt baseret på regndata fra validerede Netatmo stationer igennem live kvalitetssikringsproceduren. Dette er anvendt til at sammenligne kvalitetssikringsprocedurerne. Der er ligeledes foretaget en vurdering af styrker og svagheder ved døgn kvalitetssikringsproceduren ved at sammenligne individuelle og validerede stationer med SVK regndata. Dette kapitel indeholder dermed:

- Sammenligning af Netatmo regnprodukter med DMI klimagrid 10x10 km
- Sammenligning af Netatmo regnprodukter med SVK regndata
- Sammenligning af afvigelser imellem SVK og DMI årsnedbør
- Sammenligning af regnprodukter baseret på regndata fra validerede stationer igennem henholdsvis live og døgn kvalitetssikringsproceduren
- Vurdering af døgn kvalitetssikringsproceduren

10.1 Sammenligning af DMI og Netatmo 10x10 km gridværdier

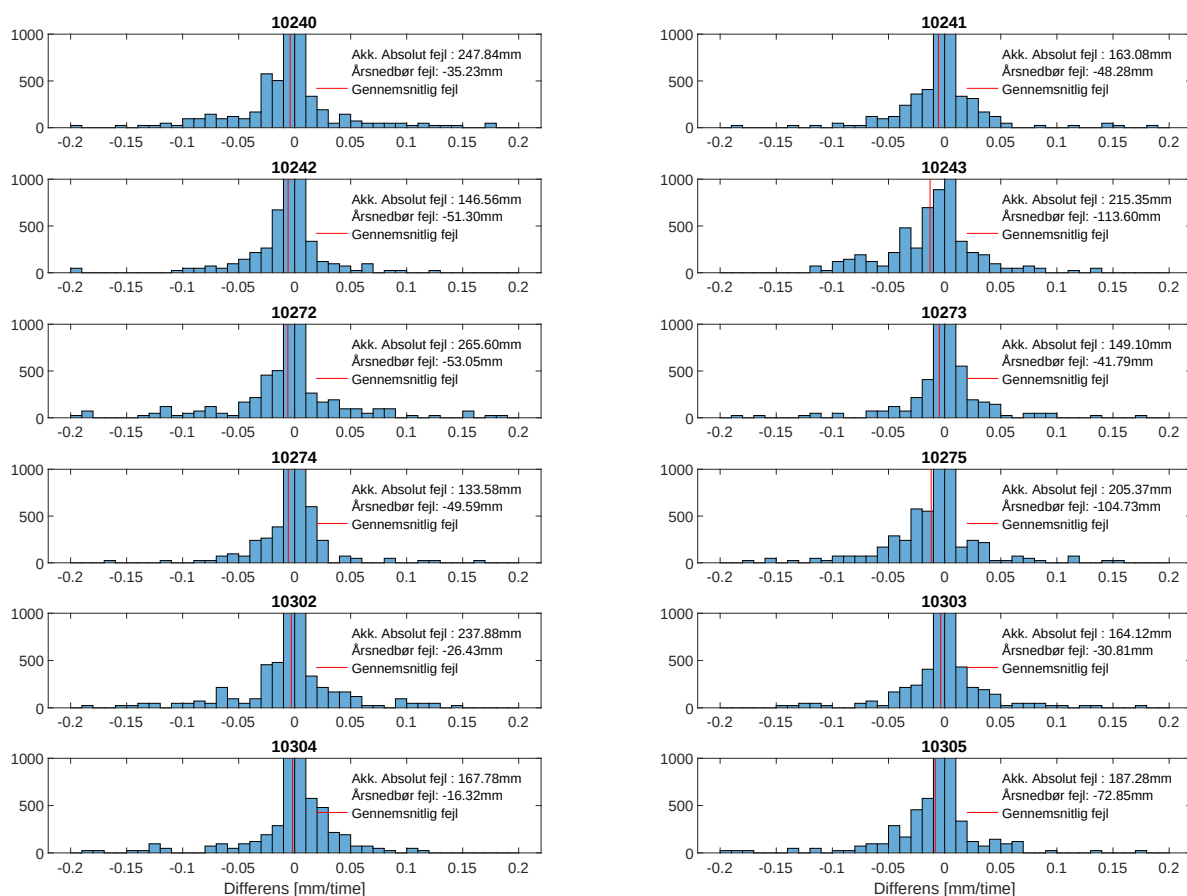
Der er i kapitel 9 konstrueret tre regnprodukter til sammenligning med DMI klimagrid 10x10 km. Disse er konstrueret med forskellige antal validerede Netatmo stationer. I sammenligningen af regnproduktet baseret på alle stationer også ikke validerede stationer med DMI klimagrid 10x10 km er det forventet, at der vil være større afvigelser grundet de stationsspecifikke usikkerheder, som kan forekomme ved den enkelte station, hvilke blev belyst i kapitel 4. Årsagen til, at der er konstrueret et regnprodukt med alle Netatmo stationer også ikke validerede stationer, er for at vurdere effekten af at foretage en kvalitetssikring af regndataene, når det anvendes til interpolerede regnprodukter. Resultaterne for disse analyser angives som antallet af timer med timedifferenser indenfor forskellige intervaller. Derudover er døgnværdierne fra Netatmo gridproduktet sammenlignet med DMI 10x10 km gridværdier igennem scatterplots, hvilket er anvendt til at belyse trends for, om Netatmo regnprodukterne over- eller underestimerer i sammenligning med DMI griddataene. Der er i dette afsnit ligeledes foretaget en 'hit or miss'-analyse for at sammenligne Netatmo og DMI gridværdier, hvilket er anvendt til at undersøge sammenfald mellem nedbørs- og tørvejrperioder.

Der er tre mulige udfald for en 'hit or miss'-analyse:

- Der er registreret nedbør i begge produkter, hvilket er et 'hit'.
- Der er registreret nedbør i Netatmo gridproduktet, men ikke i DMI gridproduktet, hvilket er et 'miss'.
- Der er registreret nedbør i DMI gridproduktet, men ikke i Netatmo gridproduktet, hvilket er et 'miss'.

De resulterende histogrammer for sammenligningerne mellem Netatmo gridværdier og DMI klimagrid 10x10 km for hele år 2019 er præsenteret i appendiks J med undtagelse for resultatet af analysen, hvor alle validerede stationer er anvendt til at beregne Netatmo gridproduktet, hvilket er præsenteret på figur 10.1. Timefejlene på denne figur er beregnet på baggrund af differensen mellem døgnværdierne.

Alle godkendte stationer



Figur 10.1: Alle validerede stationer har været anvendt til at beregne det afstandsvægtede Netatmo gridprodukt. Der er angivet årlig akkumuleret absolut fejl, afvigelse i årsnedbør samt gennemsnitlig differens imellem timeværdierne i Netatmo regnproduktet og DMI griddataene. Timefejlene er beregnet ud fra differenser på døgnbasis.

Der er generelt beregnet de mindste differenser i årsnedbør ved at anvende Netatmo gridproduktet baseret på alle validerede stationer for 2019. Der er med regnproduktet, hvor den nærmeste station i hver sektor er anvendt, opnået sammenlignelige resultater. Der er på time- og døgnbasis generelt opnået de mindste årlige akkumulerede absolutte fejl ved at anvende et Netatmo gridproduktet baseret på den nærmeste validerede station i hver sektor for 2019. Disse årlige akkumulerede absolutte fejl er dog ikke væsentligt mindre end dem beregnet mellem DMI gridværdierne og Netatmo gridproduktet baseret på alle validerede Netatmo stationer. Det er dermed varierende hvilket af gridprodukterne, baseret på henholdsvis den nærmeste station i hver sektor og alle validerede stationer, som giver den mindste afvigelse fra DMI gridværdier. Dette er vurderet at skyldes, at der kan være dage hvor den spatiale korrelation imellem stationsdataene er reduceret, hvorfor en afstandsvægtning af regndata indenfor dataindhentningsområdet giver anledning til større afvigelser i sammenligning med at anvende den nærmeste station i hver sektor. Gridproduktet, hvor den nærmeste station i hver sektor anvendes, kan dog være begrænset af, at større afvigelser ved en eller flere af de nærmeste stationer kan give anledning til en større afvigelse fra DMI klimagrid 10x10 km.

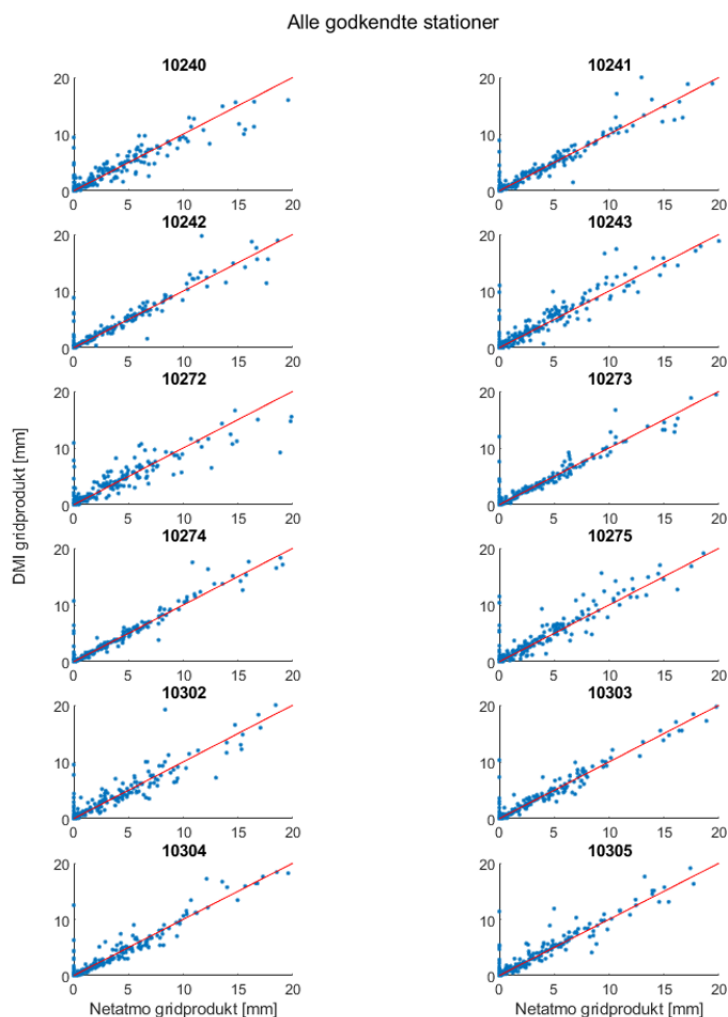
Der er generelt på time- og døgnbasis beregnet de største årlige akkumulerede absolutte fejl samt differens i årsnedbør ved at anvende Netatmo gridproduktet baseret på alle Netatmo stationer, også ikke validerede stationer, for år 2019. Gridproduktet baseret på alle stationer, også ikke validerede stationer, overestimerer generelt årsnedbør i sammenligning med DMI årsnedbør, hvor de øvrige regnprodukter giver anledning til underestimering. Dette er vurderet at skyldes, at outliers får større betydning, hvilket resulterer i større afvigelser fra DMI klimagrid 10x10 km.

Det fremgår af analysen, at der ved at foretage sammenligningerne på døgnbasis generelt er opnået lavere timedifferenser. Dette fremgår ved, at der er et større antal timer placeret i de lave intervaller på histogrammerne konstrueret på baggrund af sammenligningerne på døgnbasis samt en lavere årlig akkumuleret absolut fejl. Generelt er afvigelserne imellem de to gridprodukter reduceret ved, at sammenligningen foretages på døgnbasis, hvilket var forventet, da der i tidligere analyser er opnået bedre korrelation imellem regndata ved at sammenligne over en større tidsskala. Dette indikerer, at afvigelser, som skyldes tidsforskydninger imellem det sammenlignede, regndata reduceres ved at foretage sammenligningerne over større tidsskala. Det er valgt at anvende gridproduktet baseret på alle validerede Netatmo stationer til de videre sammenligninger med DMI klimagrid 10x10 km.

Scatterplottene for sammenligningerne mellem Netatmo døgnværdier og DMI 10x10 km døgnværdier for hele år 2019 er præsenteret i appendiks J med undtagelse for resultatet af analysen, hvor alle validerede stationer er anvendt til at beregne Netatmo gridproduktet, hvilket er præsenteret på figur 10.2.

Det fremgår af 10.2, at der generelt med gridproduktet baseret på alle validerede stationer er en begrænset tendens til underestimering af døgnværdier i sammenligning med DMI klimagrid 10x10 km. Der er opnået tilsvarende resultater med gridproduktet, hvor den nærmeste station i hver sektor er anvendt. Der er for gridcellerne, hvor der er fuld overlap med dataindhentningsområdet opnået god overensstemmelse mellem gridværdierne.

Det fremgår af metoderne, hvor kun validerede stationer anvendes, at der kan være dage, hvor der er registreret nedbør i DMI klimagrid 10x10 km, hvor der ikke er beregnet nedbør i Netatmo gridproduktet. Dette er vurderet at skyldes dage, hvor der ikke er valideret nogen Netatmo station, hvormed der ikke er noget Netatmo regndata at sammenligne med. Årsagen til at der ikke er valideret nogen Netatmo stationer kan være grundet temperaturer under frysepunktet, hvilket giver anledning til en frasortering af Netatmo stationer på den pågældende dag. Disse dage bidrager til afvigelse, som medfører, at Netatmo stationer underestimerer i sammenligning med DMI klimagrid 10x10 km. Dermed er det vurderet, at den underestimering der fremgår af blandt andet figur 10.1, ikke er af denne størrelsesorden.



Figur 10.2: Scatterplot for døgnværdier fra DMI klimagrid 10x10 km og Netatmo regnproduktet hvor alle validerede stationer er anvendt. Den røde linje angiver vinkelhalveringslinjen.

Resultatet af 'hit or miss'-analysen er præsenteret i tabel 10.1. Det fremgår af denne analyse, at der generelt med de tre analyserede 10x10 km gridprodukter baseret på Netatmo regndata er opnået høje 'hit'-%'er. Det er forventet, at hit-%'erne beregnet med gridprodukterne baseret på henholdsvis den nærmeste station i hver sektor og alle validerede stationer er reducerede grundet dage, hvor der ikke har været validerede Netatmo stationer. Resultaterne indikerer, at der generelt er sammenfald mellem nedbørs- og tørvejrperioder i Netatmo gridprodukter og DMI klimagrid 10x10 km.

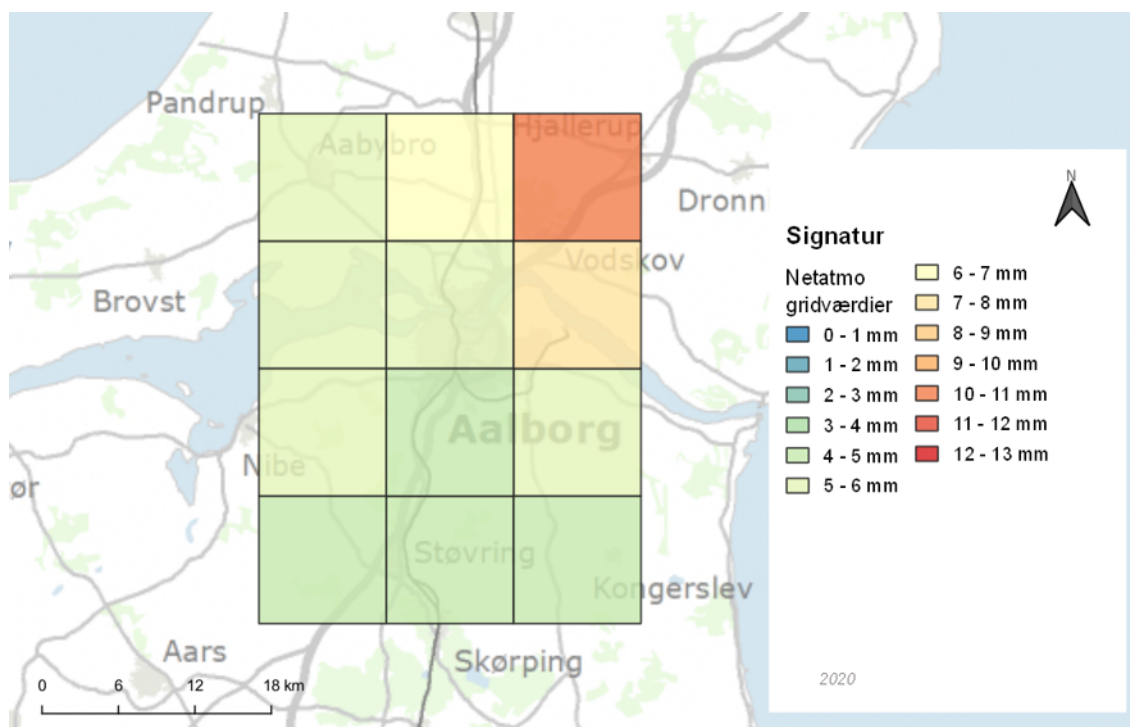
Tabel 10.1: Hit- og miss-% for analyserne med forskellige antal stationer.

	10240		10272		10302	
	Hit-%	Miss-%	Hit-%	Miss-%	Hit-%	Miss-%
Nærmeste validerede station	92,3	7,69	93,4	6,62	93,6	6,40
Alle validerede stationer	92,7	7,27	93,7	6,34	93,7	6,32
Alle stationer	91,5	8,49	92,6	7,39	94,0	6,00
	10241		10273		10303	
	Hit-%	Miss-%	Hit-%	Miss-%	Hit-%	Miss-%
Nærmeste validerede station	94,0	5,99	95,8	4,24	94,8	5,21
Alle validerede stationer	94,4	5,62	95,9	4,10	95,3	4,74
Alle stationer	93,5	6,52	94,1	5,89	95,6	4,41
	10242		10274		10304	
	Hit-%	Miss-%	Hit-%	Miss-%	Hit-%	Miss-%
Nærmeste validerede station	93,9	6,12	95,2	4,84	93,7	6,27
Alle validerede stationer	94,2	5,78	95,2	4,81	94,2	5,76
Alle stationer	94,6	5,41	95,5	4,50	93,3	6,69
	10243		10275		10305	
	Hit-%	Miss-%	Hit-%	Miss-%	Hit-%	Miss-%
Nærmeste validerede station	91,7	8,33	92,1	7,95	91,9	8,06
Alle validerede stationer	92,2	7,79	92,1	7,90	92,2	7,75
Alle stationer	93,0	7,01	93,0	6,95	93,5	6,47

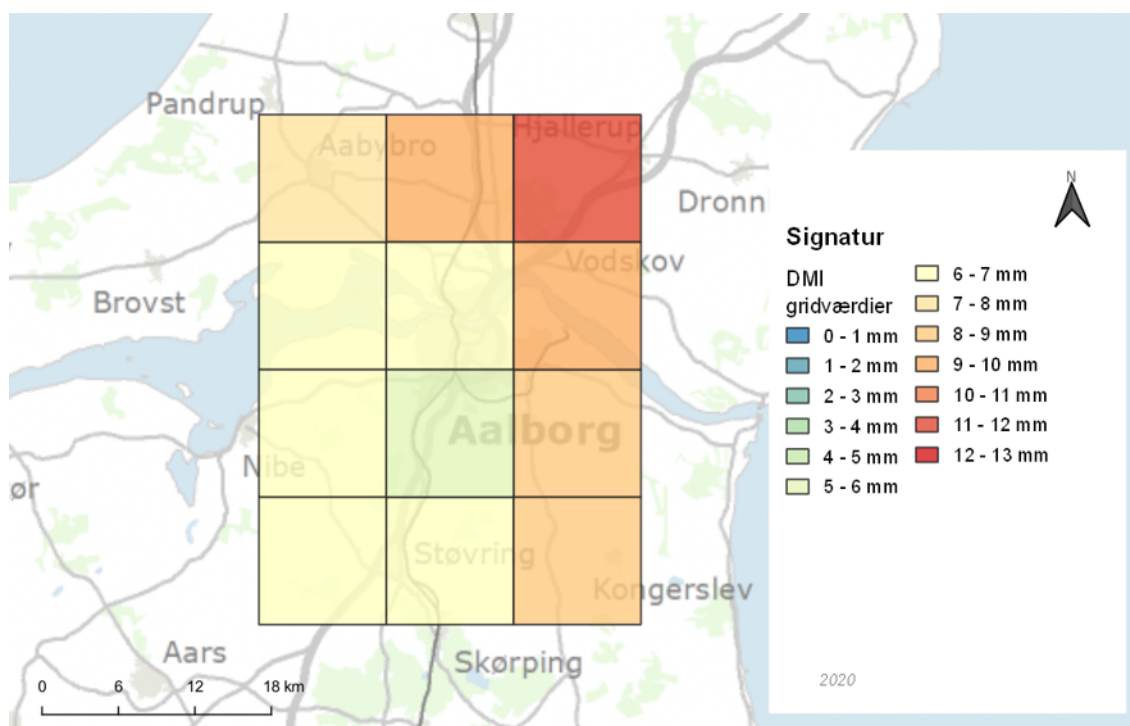
I afsnit 9.1 blev der illustreret døgn gridværdier for d. 06.06.19 og d. 01.08.19 beregnet med alle validerede Netatmo stationer. Døgn gridværdierne i Netatmo gridproduktet baseret på regndata fra alle validerede stationer for disse dage er præsenteret på henholdsvis figur 10.3 og 10.5. Døgn gridværdierne i DMI klimagrid 10x10 km for disse dage er præsenteret på henholdsvis figur 10.4 og 10.6.

Døgn gridværdierne baseret på alle validerede Netatmo stationer for d. 06.06.19, figur 10.3, underestimerer generelt i sammenligning med DMI døgnværdierne, figur 10.4. Der forekommer dog større afvigelser i gridcellerne, hvor der ikke er fuld overlap med det område der er indhentet Netatmo regndata fra. Dette er i overensstemmelse med betragtningen foretaget for hele år 2019, som er præsenteret på figur 10.1.

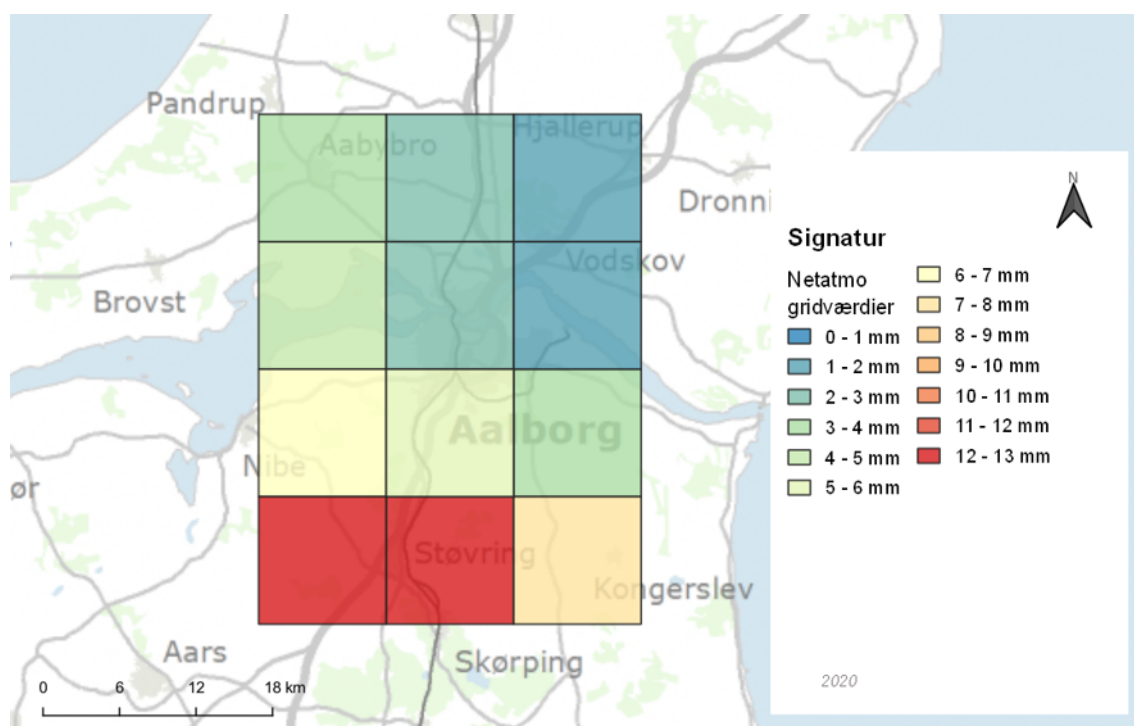
For d. 01.08.19 er der god overensstemmelse mellem døgnværdierne i center gridcellerne, hvor der er fuld overlap mellem DMI gridcellerne, og det område der er indhentet Netatmo regndata fra. Netatmo gridværdierne er præsenteret på figur 10.5, og DMI gridværdierne er angivet på figur 10.6. Dette er ligeledes de celler, hvor densiteten af validerede Netatmo stationer er størst. Afvigelserne mellem Netatmo og DMI gridværdier forekommer i gridcellerne, hvor der ikke er fuld overlap mellem DMI klimagrid 10x10 km, og området der er indhentet Netatmo regndata fra.



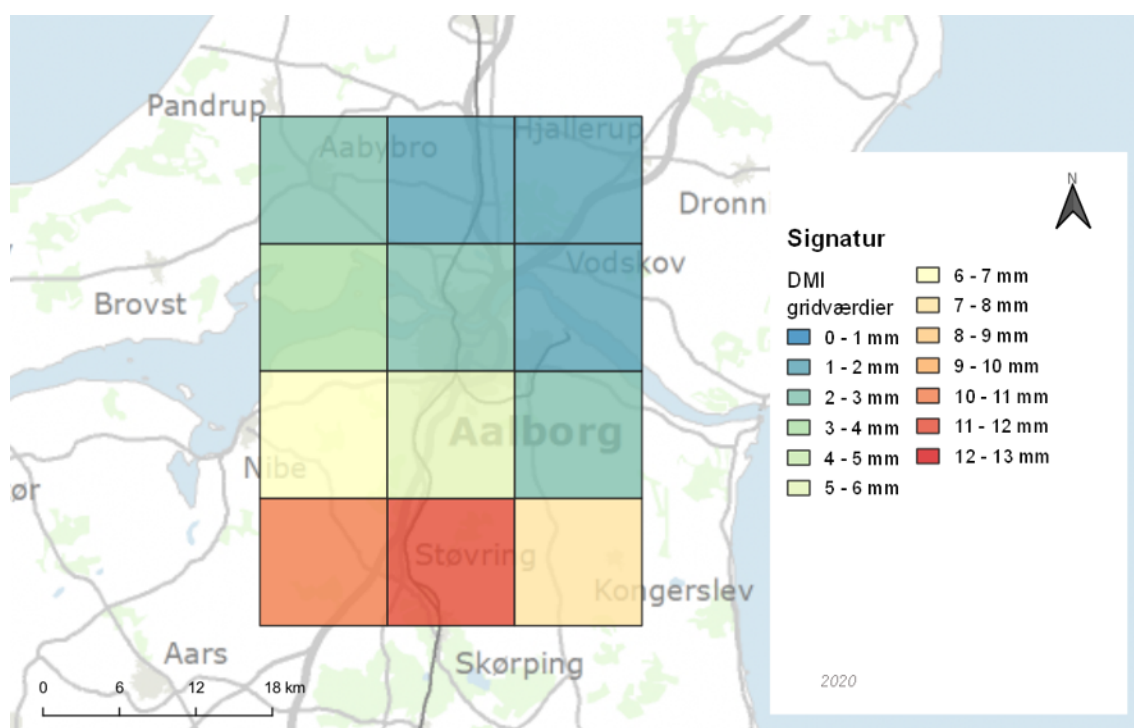
Figur 10.3: Døgnværdier baseret på regndata fra alle validerede Netatmo stationer igennem døgn kvalitets-sikringsproceduren for d. 06.06.19.



Figur 10.4: Døgnværdier i DMI klimagrid 10x10 km for d. 06.06.19.



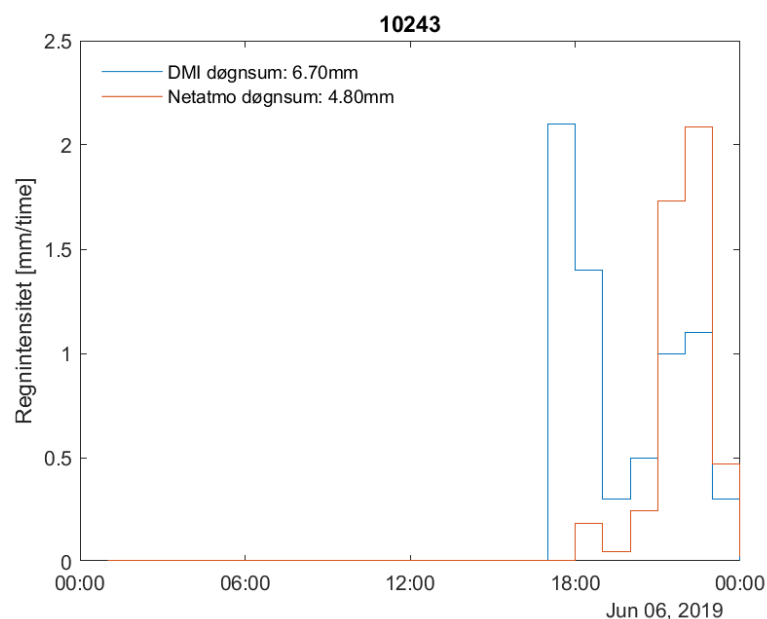
Figur 10.5: Døgnværdier baseret på regndata fra alle validerede Netatmo stationer igennem døgn kvalitets-sikringsproceduren for d. 01.08.19.



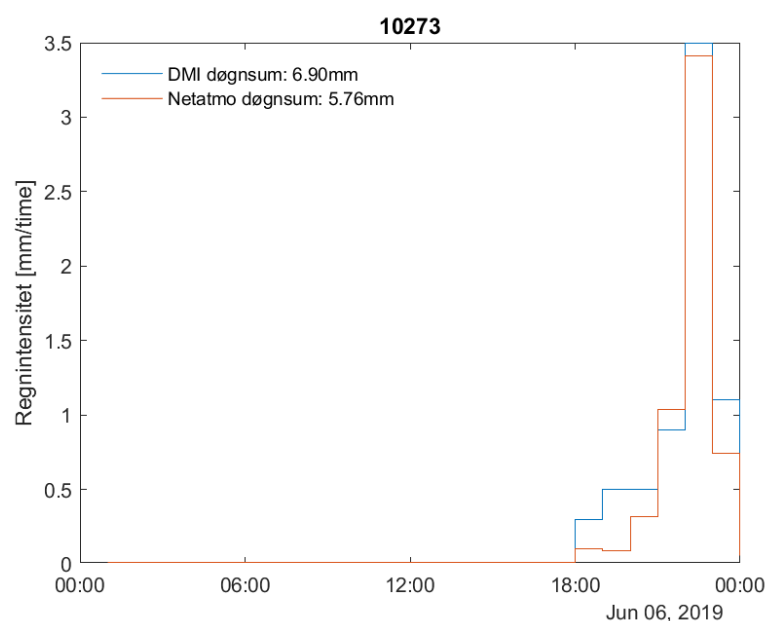
Figur 10.6: Døgnværdier i DMI klimagrid 10x10 km for d. 01.08.19.

For de udvalgte dage er der præsenteret timeserier for de to gridprodukter for to gridceller. Timeserierne for d. 06.06.19 er præsenteret på figur 10.7, og 10.8 og timeserierne for d. 01.08.19 er præsenteret på figur 10.9 og 10.10.

Det fremgår af figur 10.7, at der er væsentlige afvigelser imellem Netatmo timeværdierne og timeværdierne for DMI gridcelle 10243. Der er ligeledes på døgnbasis opnået en større afvigelse imellem gridprodukterne for denne dag. Dette har generelt været tilfældet for sammenligninger i gridceller, hvor der ikke er fuld overlap imellem DMI gridcellen, og det område der er indhentet Netatmo regndata fra. Derimod er der god overensstemmelse mellem timeserierne i gridcelle 10273 for denne dag, hvilket fremgår af figur 10.8. Denne gridcelle er en af to gridceller, som har fuld overlap med dataindhentningsområdet.

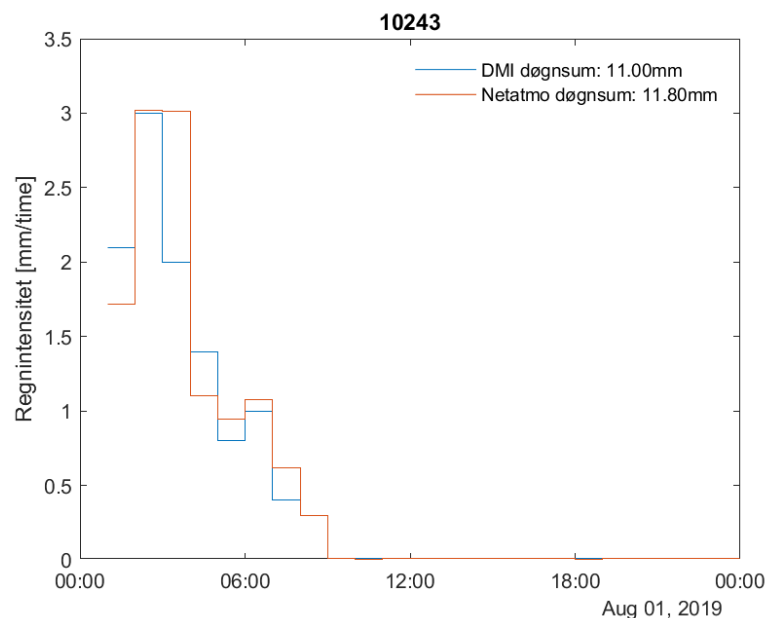


Figur 10.7: Timeserier for Netatmo gridproduktet baseret på regndata fra alle validerede stationer og timeserien for DMI gridcelle 10243 for d. 06.06.19.

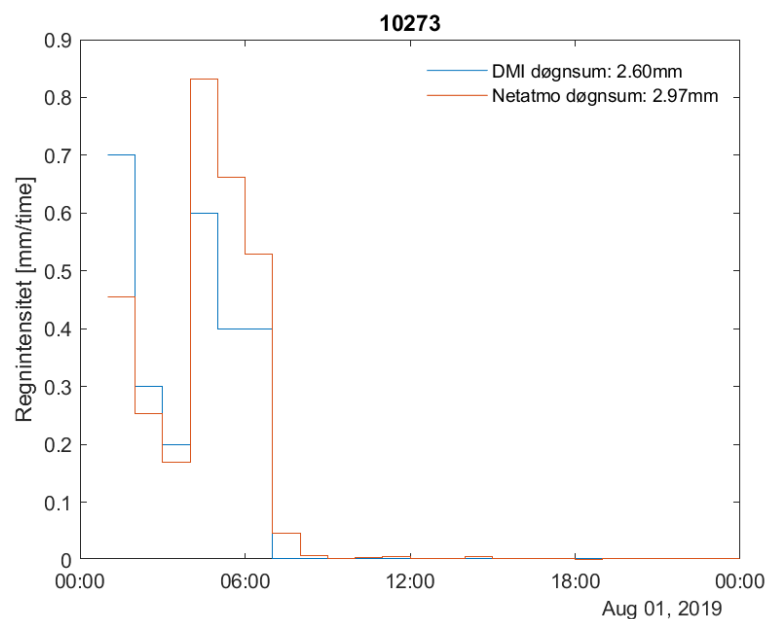


Figur 10.8: Timeserier for Netatmo gridproduktet baseret på regndata fra alle validerede stationer og timeserien for DMI gridcelle 10273 for d. 06.06.19.

Figur 10.9 er et eksempel på, at der kan opnås god overensstemmelse mellem timeværdierne fra gridprodukterne, selvom densiteten af validerede Netatmo stationer ikke er høj i den gridcelle, der sammenlignes indenfor. Det fremgår ligeledes af figur 10.5 og 10.6, at der er god overensstemmelse mellem døgnværdierne for gridcelle 10243 for d. 01.08.19. Selvom døgnværdierne for gridprodukterne i celle 10273 er indenfor samme interval, figur 10.3 og 10.4, fremgår det af figur 10.10, at der er større afvigelser i timeserierne for de to gridprodukter.



Figur 10.9: Timeserier for Netatmo gridproduktet baseret på regndata fra alle validerede stationer og timeserien for DMI gridcelle 10243 for d. 01.08.19.



Figur 10.10: Timeserier for Netatmo gridproduktet baseret på regndata fra alle validerede stationer og timeserien for DMI gridcelle 10273 for d. 01.08.19.

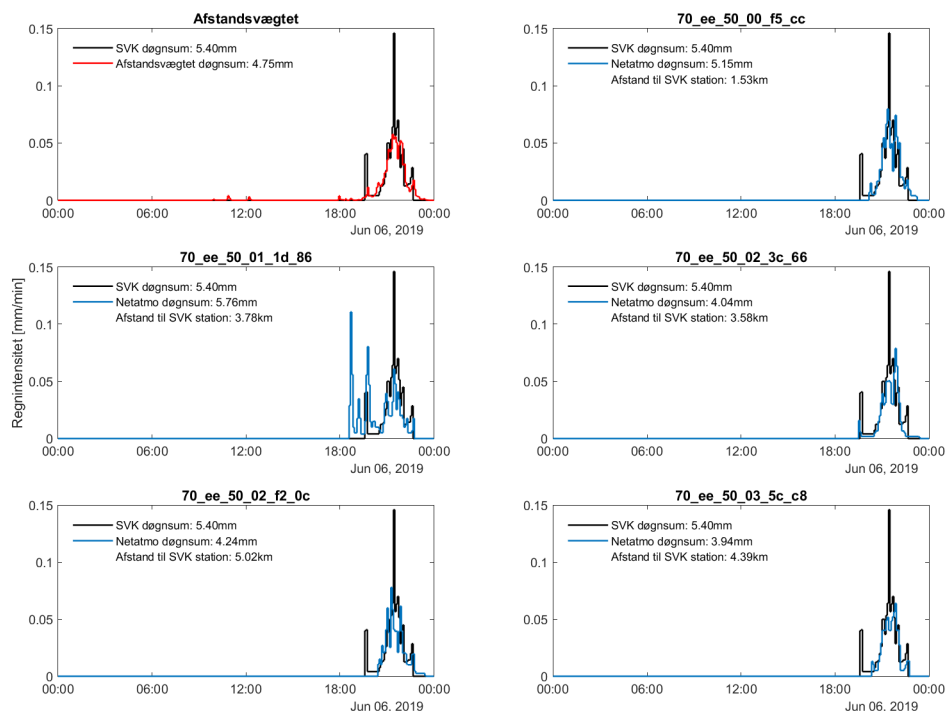
Generelt er der opnået de mindste afvigelser imellem Netatmo gridproduktet og DMI klimagrid 10x10 km, når sammenligningen foretages på døgnbasis i sammenligning med en betragtning på timebasis. Det er særligt for lavere døgnsummer, at der er opnået god overensstemmelse imellem gridprodukterne. Dette fremgår af resultaterne for hele år 2019 samt for resultaterne på de udvalgte dage. Derudover er det på baggrund af analyserne i dette afsnit vurderet fordelagtigt at anvende et større antal validerede Netatmo stationer til et interpoleret regnprodukt, når eksempelvis det er døgnnedbør, som har interesse. Det er ligeledes vurderet, at kvalitetssikringen har en positiv effekt, når der skal konstrueres interpolerede regnprodukter.

10.2 Sammenligning af SVK og Netatmo regnprodukter

Der er i kapitel 9 konstrueret tre regnprodukter til sammenligning med SVK regndata. Disse er ligesom til analysen med DMI klimagrid 10x10 km konstrueret med forskellige antal validerede Netatmo stationer. To af produkterne er interpolerede regnserier baseret på regndata fra validerede Netatmo stationer indenfor forskellige afstande fra den enkelte SVK station. Det tredje produkt er regnserier fra individuelle stationer indenfor 'Range' fra den enkelte SVK station. Det er forventet, at de interpolerede regnprodukter bedre beskriver nedbørsmængder over en større tidsskala, eksempelvis døgnnedbør. Derimod er der en forventning om at de individuelle stationer bedre beskriver peak-værdierne i SVK regnserierne. I analysen i afsnit 8.8 fremgår det, at særligt antallet af falske nul-værdier er reduceret væsentligt igennem døgn kvalitetssikringsproceduren. Derfor er det vurderet, at usikkerhederne ved at anvende valideret Netatmo stationsdata som enkeltstående værdier er reduceret væsentligt i sammenligning med før døgn kvalitetssikringsproceduren.

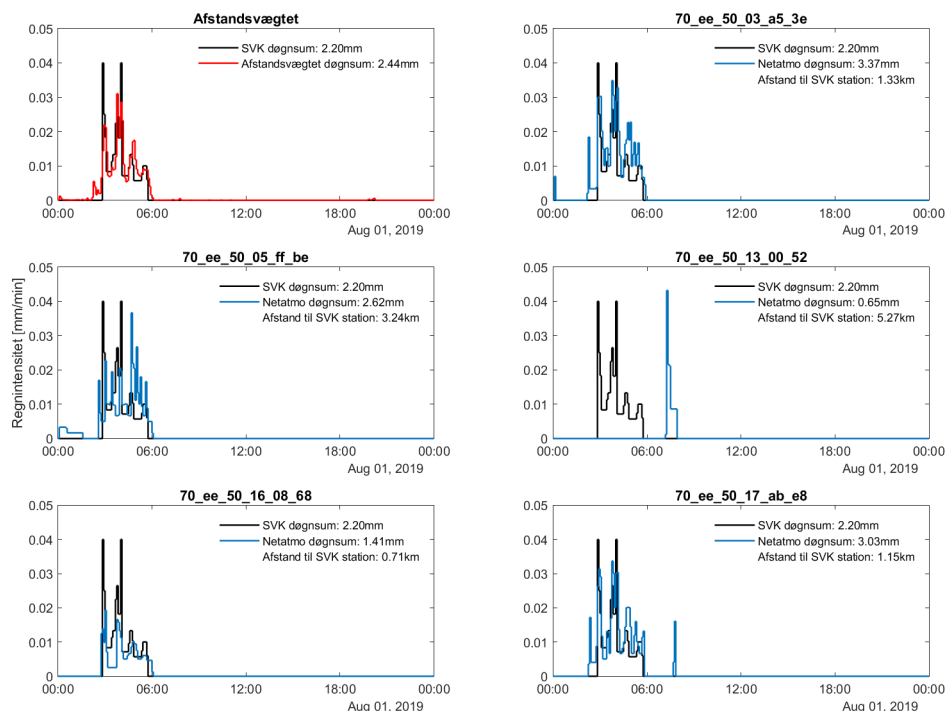
Sammenligningerne af Netatmo regnprodukterne med SVK regndata er foretaget med 10 min maksimalværdier samt på time- og døgnbasis for år 2019. I sammenligningen hvor stationsdata fra validerede Netatmo stationer anvendes som enkeltstående værdier, er der flere regnprodukter som sammenlignes med SVK regndata. Dermed er der flere datapunkter for hver SVK station i sammenligning med analyserne, hvor der anvendes interpolerede regnprodukter. For at metoden, hvor individuelle stationer anvendes som regnprodukter, kan sammenlignes med resultaterne, hvor de interpolerede regnprodukter anvendes, er der i de resulterende histogrammer angivet den procentuelle andel af datamængden, hvor differensen fra SVK regndata befinder sig indenfor forskellige intervaller. Overensstemmelsen mellem Netatmo regnprodukterne og SVK regndataene er kvantificeret på baggrund af den årlige akkumulerede absolutte fejl, fejl i årsnedbør samt den gennemsnitlige differens. Resultaterne for de tre analyser er præsenteret i appendiks K. Derudover er 10 min maksimalværdier samt time- og døgnsummer for de tre regnprodukter sammenlignet med SVK regndata i scatterplots. Dette er anvendt til at belyse trends for om Netatmo regnprodukterne over- eller underestimerer i sammenligning med SVK regndata.

På figur 10.11 og 10.12 er der foretaget sammenligninger imellem eksempler på Netatmo regnprodukter og SVK regndata for henholdsvis d. 06.06.19 og d. 01.08.19. Det fremgår af figurerne, at der generelt er god overensstemmelse imellem Netatmo regnprodukterne og SVK regnserierne. Peak-værdierne i regnserien fra SVK station 5052 d. 06.06.19 er ikke beskrevet med det afstandsvægtede regnprodukt baseret på validerede stationer indenfor 'Range' fra denne SVK station. Dette er ligeledes tilfældet for regnproduktet baseret på de enkelte stationer.



Figur 10.11: Den afstandsvægtede regnserie baseret på regndata fra validerede Netatmo stationer indenfor 'Range' fra SVK stationen, regnserier for udvalgte stationer samt regnserien for SVK station 5052 Aalborg Østerport Pumpestation.

Med enkelte individuelle stationer er der d. 01.08.19 opnået peak-værdier, der tilnærmer sig peak-værdierne registreret ved SVK station 5049. Det fremgår dog af figur 10.12, at der med det afstandsvægtede produkt baseret på regndata fra validerede stationer indenfor 'Range' fra SVK stationen ligeledes er beregnet en regnserie, som tilnærmer sig regnserien for SVK stationen.

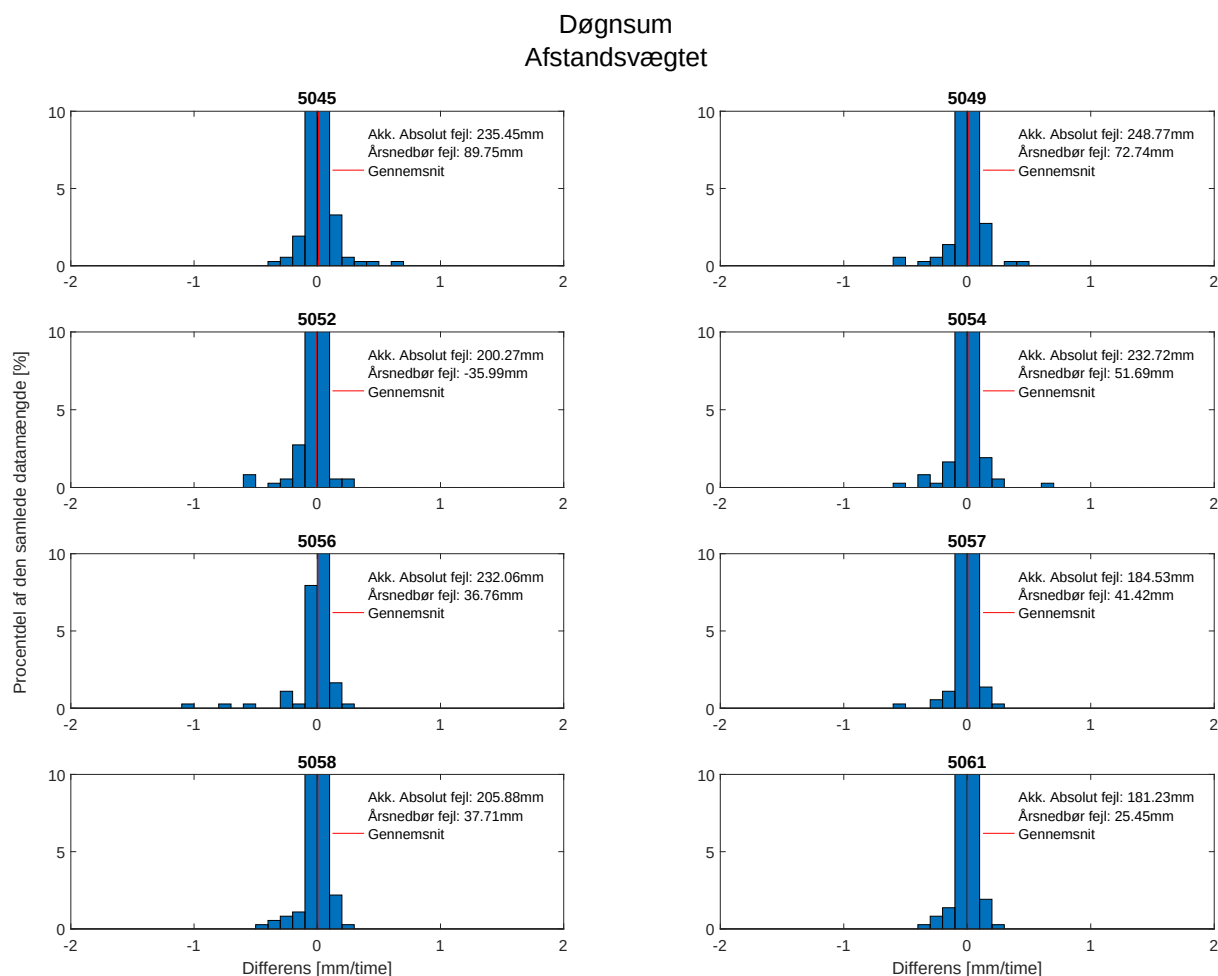


Figur 10.12: Den afstandsvægtede regnserie baseret på regndata fra validerede Netatmo stationer indenfor 'Range' fra SVK stationen, regnserier for udvalgte stationer samt regnserien for SVK station 5049 Gistrup.

På døgnbasis er det vurderet, at metoden, hvor Netatmo regnproduktet er baseret på en afstandsvægtning af regndata fra validerede stationer indenfor 'Range' fra SVK stationen, er fordelagtig at anvende. Resultatet for sammenligningen af SVK regndata og Netatmo regnproduktet beregnet med denne metode er præsenteret på figur 10.13. Metoden er vurderet fordelagtig på baggrund af, at den generelt præsterer bedst i forhold til årlig akkumuleret absolut fejl. Der er ligeledes generelt opnået de mindste fejl i årsnedbør med denne metode til konstruering af Netatmo regnproduktet. Derudover er fejlene mere stabile imellem sammenligningerne med de forskellige SVK stationer.

Der er med regnproduktet baseret på validerede stationer indenfor en gridcelle på 4x4 km beregnet større årlige akkumulerede fejl. Der er beregnet meget varierende differenser i årsnedbør. Dog er den mindste differens i årsnedbør beregnet imellem dette regnprodukt og SVK station 5057. Resultatet for denne metode, hvor data på døgnbasis er anvendt, er præsenteret i appendiks K.

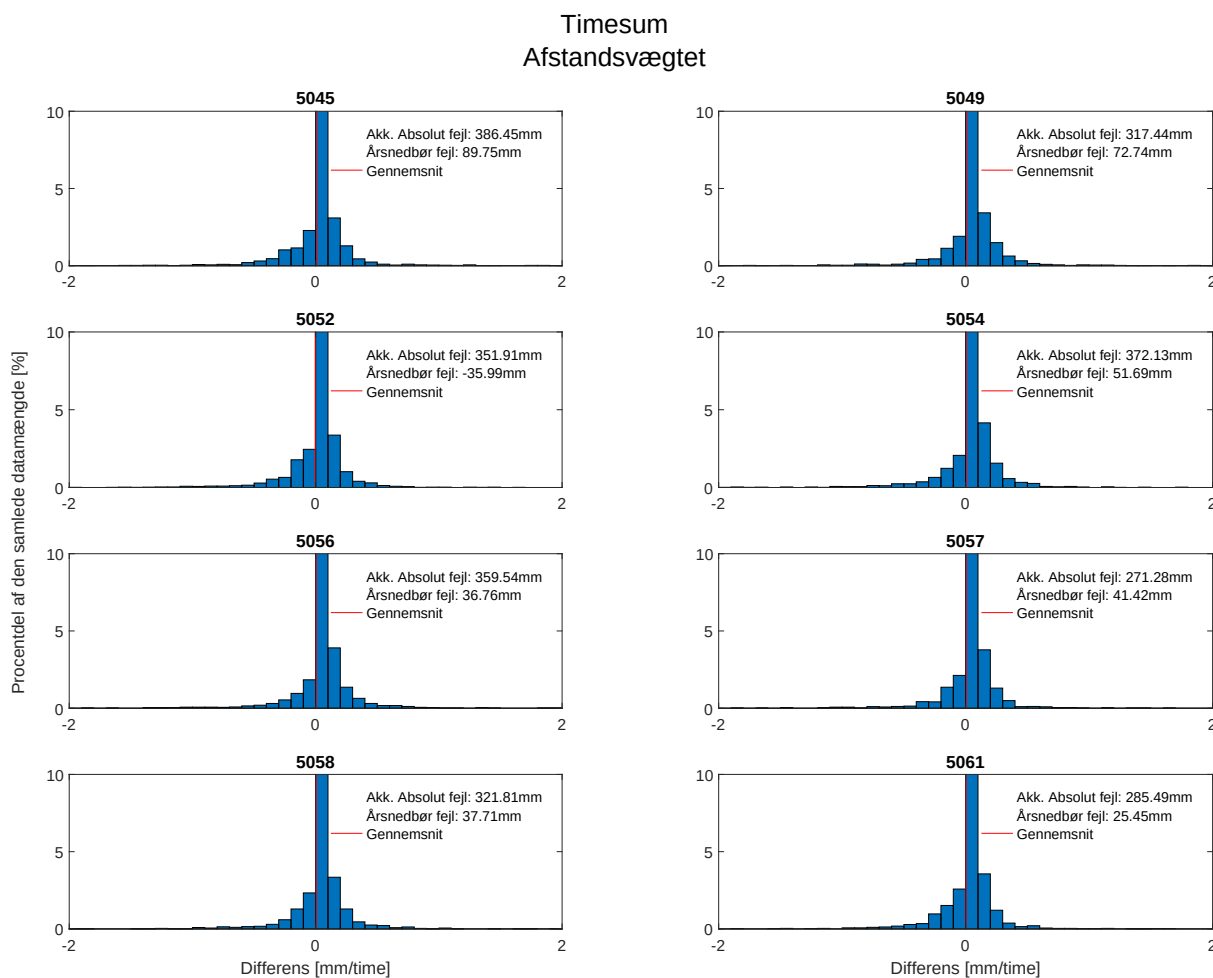
I sammenligningerne mellem de individuelle stationer og SVK regndata er der beregnet væsentligt større årlige akkumulerede fejl. Derudover er den største differens i årsnedbør beregnet hvor dette regnprodukt er anvendt. Dette er vurderet at skyldes, at stationsdataene er anvendt som selvstændige værdier. De individuelle regnserier er ikke afstandsvægtet til punktet for den SVK station, der sammenlignes med, hvorfor det ikke er forventet, at der med disse regnprodukter vil være samme grad af overensstemmelse med SVK regndata som med de interpolerede regnprodukter. De individuelle regnserier er derimod forventet at repræsentere den spatiale variabilitet af regnhændelser i området omkring SVK stationen. Resultatet for denne metode, hvor data på døgnbasis er anvendt, er præsenteret i appendiks K.



Figur 10.13: Den procentuelle andel af den totale datamængde indenfor forskellig intervaller for differensen imellem SVK regndataene og den gennemsnitlige regnserie baseret på stationer indenfor 'Range' fra SVK stationen. Derudover er den årlige akkumulerede absolutte fejl, fejl i årsnedbør samt den gennemsnitlige differens i mm/time angivet. Den gennemsnitlige differens i mm/time er beregnet på baggrund af differensen på døgnbasis.

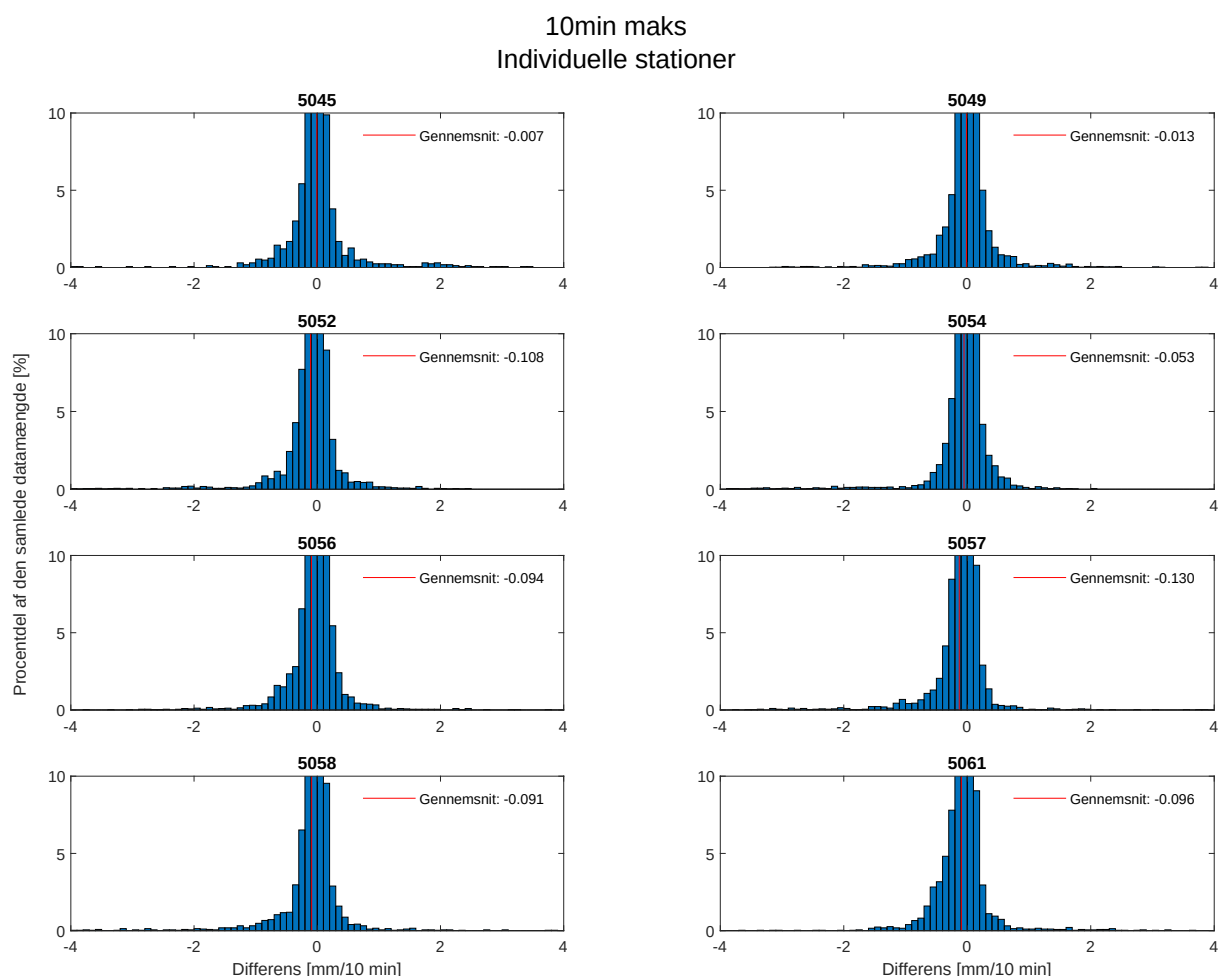
Mønstret for resultaterne på timebasis er tilsvarende mønstret observeret i resultaterne på døgnbasis. Det afstandsvægtede regnprodukt baseret på regndata fra validerede stationer indenfor 'Range' giver de mindste årlige akkumulerede fejl samt differens i årsnedbør efterfulgt af metoden, hvor stationsdata indenfor en 4x4 km gridcelle anvendes. Der er beregnet væsentligt større årlige akkumulerede absolutte fejl samt differens i årsnedbør, hvor de validerede stationer sammenlignes individuelt med SVK regndata. Størrelsen af den årlige akkumulerede absolutte fejl samt differens i årsnedbør er generelt steget i sammenligningerne på timebasis, hvilket er vurderet at skyldes, at tidsforskydninger imellem datasættene får større betydning.

Resultatet for sammenligningen på timebasis for metoden, hvor Netatmo regnproduktet er konstrueret ud fra en afstandsvægtning af regndata indenfor 'Range' fra SVK stationen, er præsenteret på figur 10.14.



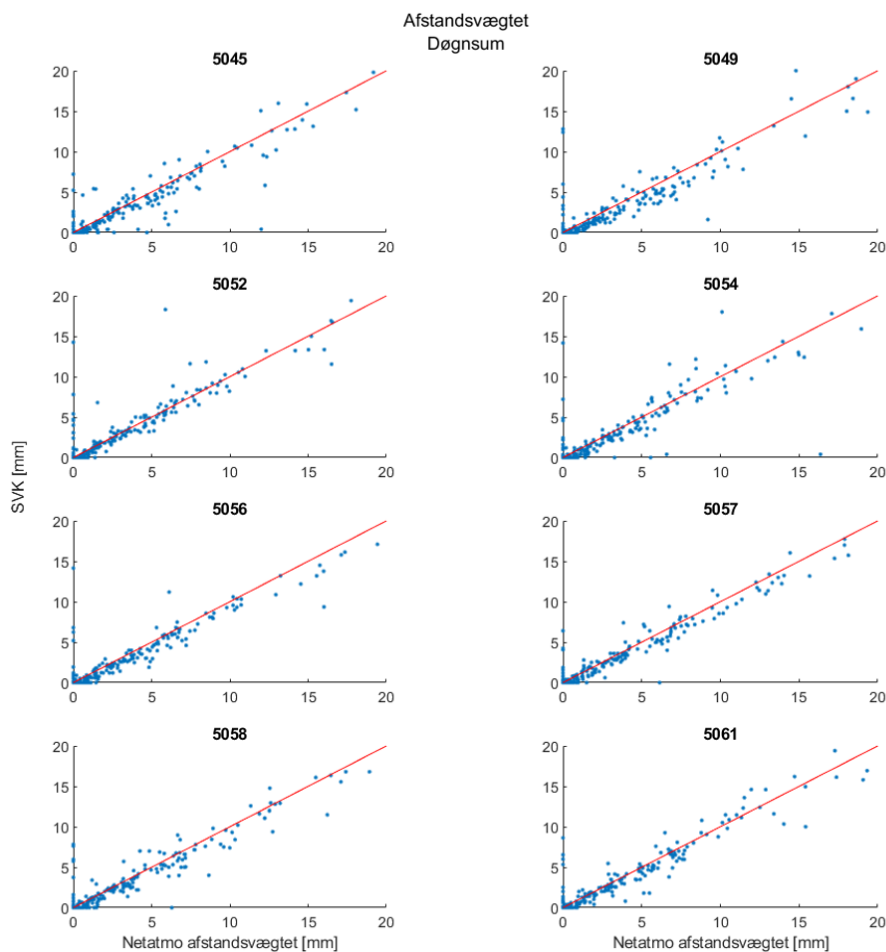
Figur 10.14: Den procentuelle andel af den totale datamængde indenfor forskellig intervaller for differensen imellem SVK regndataene og den gennemsnitlige regnserie baseret på stationer indenfor 'Range' fra SVK stationen. Derudover er den årlige akkumulerede absolutte fejl, fejl i årsnedbør samt den gennemsnitlige differens i mm/time.

På 10 min basis er der opnået de bedste resultater med metoden, hvor regnserier fra de enkelte stationer indenfor 'Range' fra SVK stationen sammenlignes med denne SVK station. Dette fremgår ved, at der er opnået væsentligt lavere gennemsnitlige fejl på 10 min basis i sammenligning med de øvrige metoder. Fordelen ved at anvende stationsdata som enkeltstående værdier er, at peak-værdierne ikke udlignes i en afstandsvægtning, hvilket er tilfældet for de øvrige to metoder. Resultatet af sammenligningen med SVK regndata på 10 min basis for metoden, hvor stationsdata anvendes som selvstændige værdier, er præsenteret på figur 10.15.



Figur 10.15: Den procentuelle andel af den totale datamængde indenfor forskellige intervaller for differensen imellem SVK regndataene og regnserierne fra de enkelte stationer indenfor 'Range' fra SVK stationen. Derudover er den gennemsnitlige differens i mm/10 min angivet.

Scatterplottene for sammenligningerne mellem Netatmo 10 min maksimalværdier samt time- og døgnværdier med tilsvarende SVK værdier for hele år 2019 er præsenteret i appendiks K. Scatterplottet, hvor døgnværdier for det interpolerede regnprodukt baseret på validerede stationer indenfor 'Range' er sammenlignet med SVK døgnsummer, er præsenteret på figur 10.16. Det fremgår af figur 10.16 og scatterplottene i appendiks K, at spredningen af punkterne generelt er reduceret, når det interpolerede regnprodukt baseret på validerede stationer indenfor 'Range' fra SVK stationen er anvendt. Spredningen af punkterne, når det interpolerede produkt baseret på validerede stationer indenfor en 4x4 km gridcelle omkring SVK stationen er anvendt, er sammenlignelig med denne metode. Anvendes stationerne individuelt øges spredningen væsentligt, hvilket er forventet at skyldes, at der kan forekomme større afvigelser imellem dette produkt og SVK regndata.



Figur 10.16: Scatterplot hvor døgnværdier for det interpolerede regnprodukt baseret på validerede stationer indenfor 'Range' er sammenlignet med SVK døgnsummer. Den røde linje angiver vinkelhalveringslinjen.

Generelt for de tre regnprodukter reduceres spredningen omkring centerlinjen, når sammenligningen er foretaget på døgnbasis. Det er vurderet på baggrund af sammenligningerne af de interpolerede regnprodukter med SVK døgnsummer, at der er en begrænset tendens til at Netatmo regnprodukterne overestimerer i sammenligning med SVK regndata. Dette er vurderet særligt at være tilfældet for døgnsummer op til 10 mm/dag. Det interpolerede regnprodukt baseret på validerede stationer indenfor 'Range' fra SVK stationen er præsenteret på figur 10.16. Det interpolerede regnprodukt baseret på validerede stationer indenfor en 4x4 km gridcelle omkring SVK stationen er præsenteret på figur K.9.

Der er i dette afsnit sammenlignet tre forskellige regnprodukter baseret på valideret Netatmo regndata igennem døgn kvalitetssikringsproceduren. Det er vurderet, at et interpoleret regnprodukt i form af en afstandsvægtet regnserie er fordelagtig, når det er regndata over en længere periode, som har interesse. Derimod er det vurderet fordelagtigt, at anvende validerede Netatmo stationer som enkeltstående værdier, når det er peak-intensiteterne i regnhændelserne, som har interesse, da disse bedre beskriver den spatiale variabilitet af regnhændelser. Dette kunne eksempelvis være i dimensioneringen af afløbssystemer. Derfor er regnprodukter baseret på valideret regndata fra individuelle stationer anvendt i de videre analyser.

10.3 Sammenligning af afvigelser imellem SVK og DMI årsnedbør

For at vurdere de resulterende fejl i årsnedbør i sammenligningerne af Netatmo regnprodukter med DMI klimagrid 10x10 km, er disse fejl sammenlignet med differensen imellem SVK og DMI regndata på årsbasis. Den årlige afvigelse er bestemt ud fra differensen mellem SVK årsnedbør og den gennemsnitlige regionsnedbør beregnet på baggrund af stationer, som indgår i DMI's nedbørsnet. Differensen imellem SVK årsnedbør og DMI årsnedbør er beregnet og angivet i tabel 10.2.

Tabel 10.2: Årsnedbør for SVK stationer og den gennemsnitlige årsnedbør for nordjylland i 2017 samt afvigelsen for SVK stationerne for den gennemsnitlige årsnedbør for regionen. [Sarup, 2018, kap. 5]

Stationer [-]	Årsnedbør [mm/år]	Afgivelse fra DMI [mm/år]
Nordjylland	876	
5045	855	-21
5049	828	-48
5052	834	-42
5054	837	-39
5056	828	-48
5057	950	74
5058	869	-7
5061	876	0

Det fremgår af tabel 10.2, at der er differenser imellem SVK årsnedbør og en gennemsnitlig årsnedbør for Nordjylland på mellem -48 til 74 mm/år. Dette er ligeledes årlige afvigelser af den størrelsesorden, som er beregnet mellem Netatmo 10x10 km gridværdier baseret på alle validerede Netatmo stationer indenfor det analyserede område og DMI klimagrid 10x10 km gridværdier.

10.4 Sammenligning af regnprodukter baseret på valideret data igennem live og døgn kvalitetssikringsprocedurerne

I dette afsnit er live og døgn kvalitetssikringsprocedurerne sammenlignet for at vurdere, hvor velfungerende disse er i forhold til hinanden. Derudover er sammenligningen foretaget for at belyse eventuelle svagheder og styrker ved den enkelte kvalitetssikringsprocedure. Dette er ligeledes anvendt til at vurdere potentialet for at anvende regndata valideret med de to kvalitetssikringsprocedurer. Det er forventet, at der er større usikkerheder forbundet med at anvende regndata, som er valideret med live kvalitetssikringsproceduren, da denne metode ikke tager hensyn til omkringliggende nedbørsregistreringer. Dette er ligeledes årsagen til at antallet af falske nul-værdier ikke reduceres væsentligt med denne procedure.

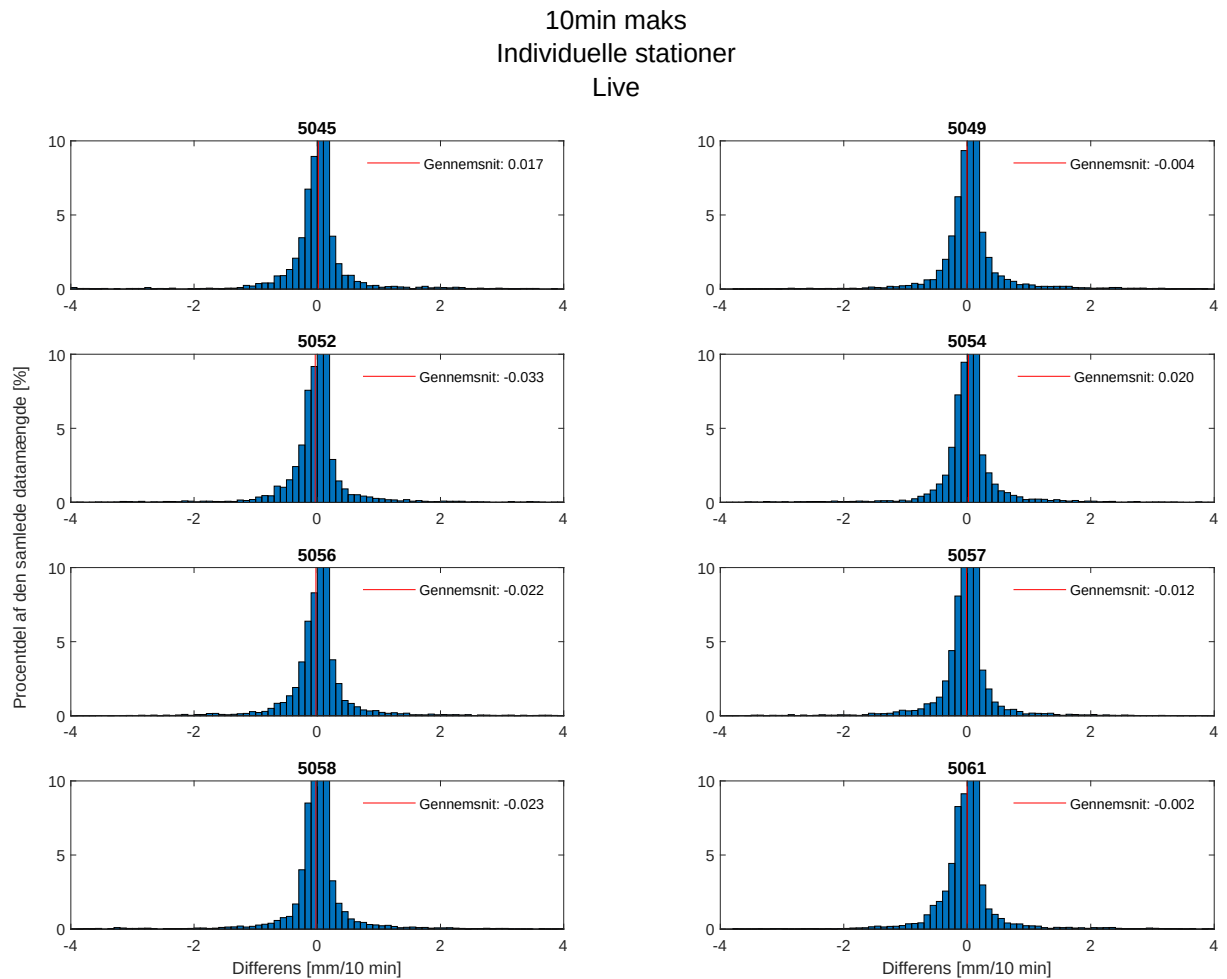
Det er valgt at sammenligne live og døgn kvalitetssikringsprocedurerne ved at sammenligne individuelle stationer indenfor 'Range' af SVK stationen med regndata fra denne SVK station, hvor de individuelle stationer er valideret med henholdsvis live og døgn kvalitetssikringsprocedurerne. Dette er valgt, da metoderne, hvor afstandsvægtede regnprodukter sammenlignes med SVK stationer, udjævner fejl fra stationer, som eventuelt ikke burde være valideret. Af sammenligningerne mellem validerede Netatmo stationer og SVK regndata på døgn- og timebasis fremgår det af de årlige akkumulerede absolutte fejl og fejlen i årsnedbør, præsenteret i tabel 10.3, at der generelt er opnået væsentligt bedre resultater ved at anvende døgn kvalitetssikringsproceduren.

Tabel 10.3: Sammenligning af valideret stationsdata med døgn og live kvalitetssikringsprocedurerne med SVK regndata på døgn- og timebasis.

SVK station [-]	Døgn kvalitetssikring		Live kvalitetssikring	
	Årlig absolut fejl [mm]	Fejl i årsnedbør [mm]	Årlig absolut fejl [mm]	Fejl i årsnedbør [mm]
Sammenligning på døgnbasis				
5045	243	78	366	98
5049	250	85	399	119
5052	195	17	370	25
5054	217	91	382	114
5056	219	112	395	124
5057	214	-16	374	6
5058	226	24	382	70
5061	201	35	365	85
Sammenligning på timebasis				
5045	405	78	575	98
5049	396	85	604	119
5052	380	17	611	25
5054	385	91	605	114
5056	397	112	628	124
5057	411	-16	633	6
5058	415	24	622	70
5061	386	35	606	85

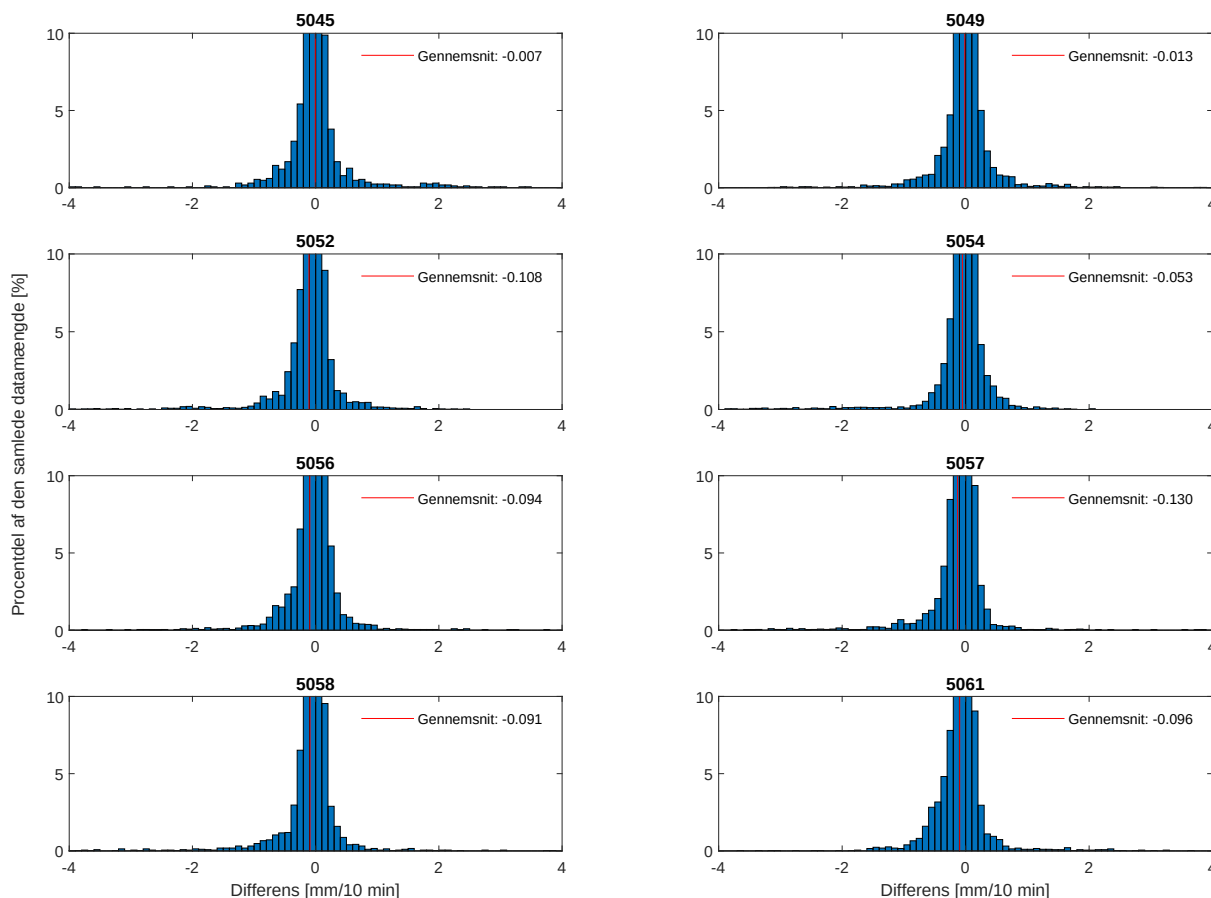
Det er vurderet, at der er opnået væsentligt bedre resultater med validerede stationer igennem døgn kvalitetssikringsproceduren, da der kan være større procentuel fejl mellem validerede stationer igennem live kvalitetssikringsproceduren og SVK regndata på døgn- og timebasis. Dette kan skyldes, at der i live kvalitetssikringsproceduren ikke tages hensyn til registreringer ved de omkringliggende stationer. Live kvalitetssikringsproceduren er anvendt til at frasortere tidsstempler med for stor tidslig diskretisering samt tidsstempler registreret i perioder med $< 0^{\circ}\text{C}$. Derudover frasorteres tidsstempler hvor målte intensiteter overskrider fastsatte grænseværdier. Overskridelse af disse grænseværdier forekommer sjældent, hvilket fremgår af figur 8.2.

Resultatet af at sammenligne 10 min maksimalværdier, hvor regndata fra validerede stationer igennem live kvalitetssikringsproceduren er anvendt, med SVK regndata, er præsenteret på figur 10.17. Tilsvarende er resultatet af at anvende validerede stationer igennem døgn kvalitetssikringsproceduren præsenteret på figur 10.18.



Figur 10.17: Den procentuelle andel af den totale datamængde indenfor forskellig intervaller for differensen imellem SVK regndataene og regnserierne fra de enkelte stationer indenfor 'Range' fra SVK stationen. Derudover er den gennemsnitlige differens i mm/10 min angivet.

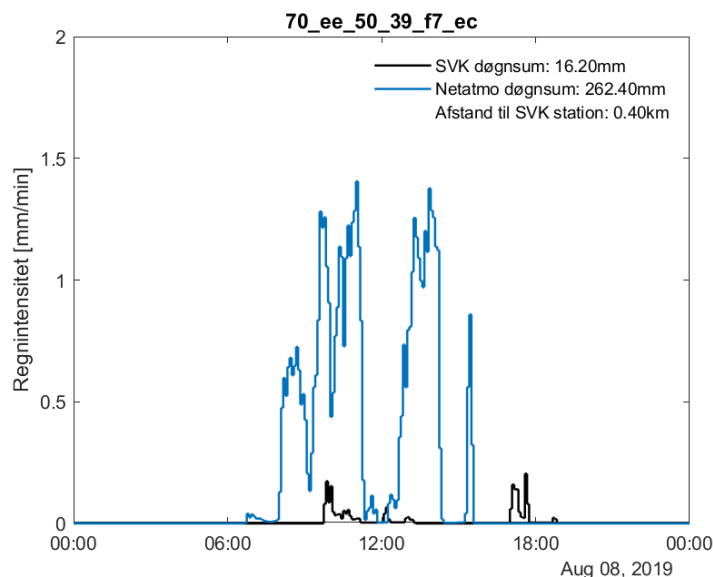
10min maks
Individuelle stationer



Figur 10.18: Den procentuelle andel af den totale datamængde indenfor forskellig intervaller for differensen imellem SVK regndataene og regnserierne fra de enkelte stationer indenfor 'Range' fra SVK stationen. Derudover er den gennemsnitlige differens i mm/10 min angivet.

Sammenlignes figur 10.17 med figur 10.18, er forskellen ikke udpræget, da der for nogle af sammenligninger er opnået den laveste gennemsnitlige differens i mm/10 min med døgn kvalitetssikringsproceduren og andre gange live kvalitetssikringsproceduren. Af figur 10.18 fremgår det, at der er en større procentuel andel af datamængden i intervallerne for de lave differenser, når regndata valideret med døgn kvalitetssikringsproceduren anvendes i sammenligning med at anvende live kvalitetssikringsproceduren, hvor resultatet er præsenteret på figur 10.17. Det er derfor på baggrund af sammenligningen mellem individuelle og validerede Netatmo stationer og regndata fra SVK stationer vurderet, at der er større usikkerheder forbundet med at anvende regndata valideret igennem live kvalitetssikringsproceduren, hvilket var forventeligt.

Det er tidligere i dette afsnit nævnt, at live kvalitetssikringsproceduren primært er anvendt til at frasortere stationer, hvor de målte intensiteter i tidsstemplerne overskrider fastsatte grænseværdier. Derudover er det anvendt til at frasortere regndata med lange tidsstempler samt tidsstempler med temperaturer under frysepunktet. Figur 10.19 er anvendt til at belyse svagheden ved at anvende de høje grænseværdier, som er blevet valgt, for varigheder mellem typisk 5 - 15 min.

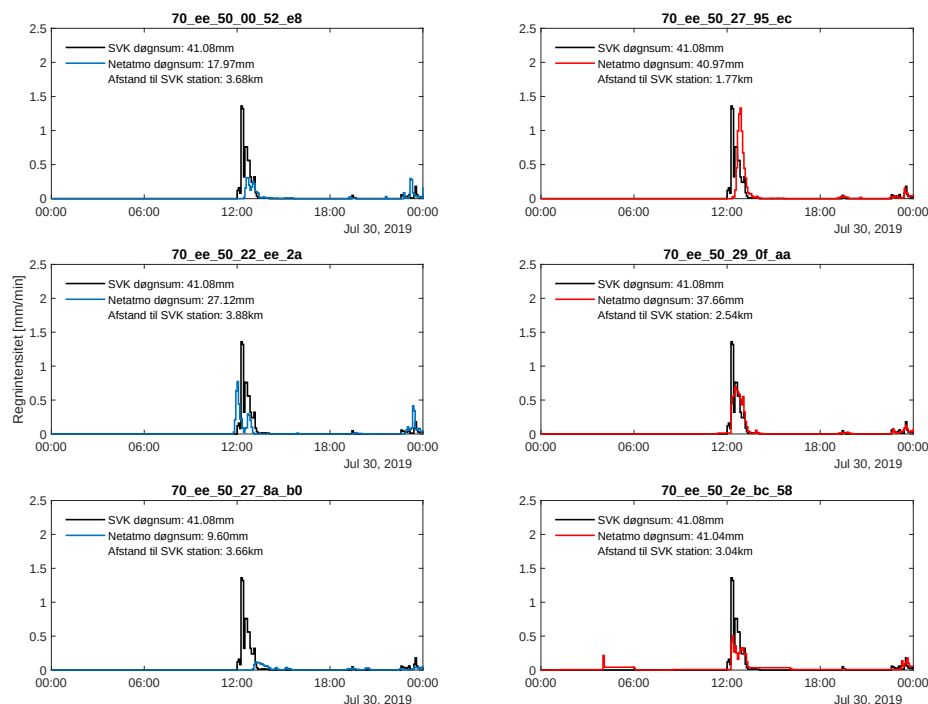


Figur 10.19: Eksempel på en Netatmo station som ikke er blevet frasorteret med live kvalitetssikringsproceduren.

Svagheden ved den anvendte metode i live kvalitetssikringsproceduren er, at tjekket for overskridelse af grænseværdier udelukkende foretages i de enkelte tidsstempler samt de seneste tidsstempler samlet. Dermed er det muligt at urealistisk høje døgnværdier ikke bliver frasorteret, hvilket er illustreret på figur 10.19. Det er ikke vurderet fordelagtigt at anvende regndata valideret igennem live kvalitetssikringsproceduren, grundet usikkerhederne forbundet med den anvendte metode til at validere regndata over en tidsskala på 5-15 min.

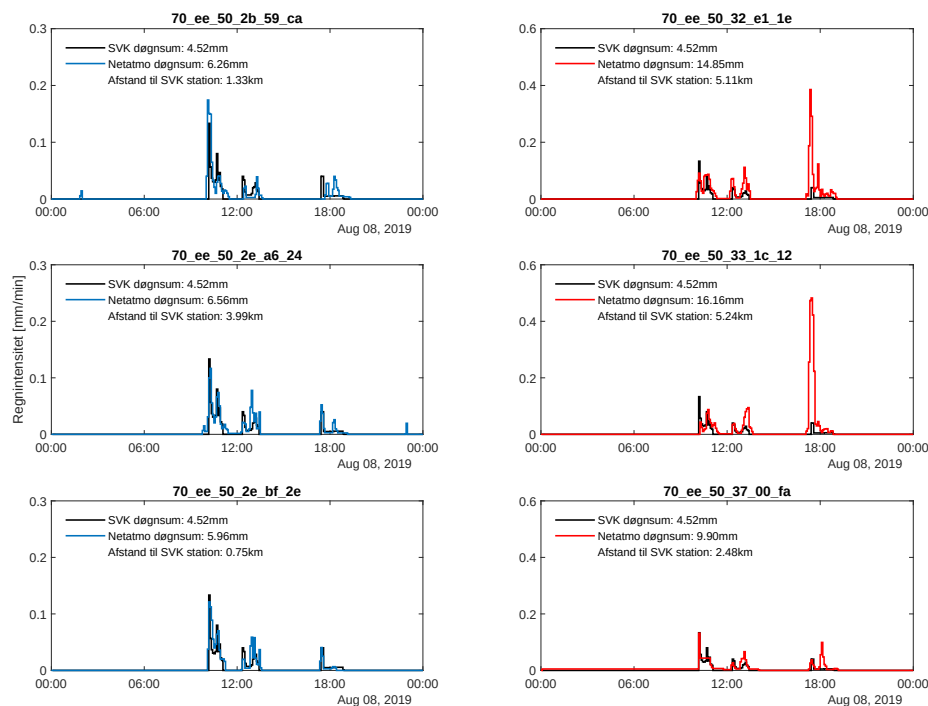
10.5 Vurdering af døgn kvalitetssikringsproceduren

Der er i dette afsnit præsenteret eksempler på regnprodukter, som er baseret på valideret regndata på døgnbasis fra individuelle Netatmo stationer. Dette er anvendt til at belyse styrker og svagheder ved døgn kvalitetssikringsproceduren. På figur 10.20 er der præsenteret eksempler på regnserier fra validerede stationer igennem døgn kvalitetssikringsproceduren samt udvalgte regnserier fra frasorterede stationer d. 30.07.19. I afsnit 8.2 blev det beskrevet, at regnhændelsen d. 30.07.19 var kraftig, da der i et tidsrum på omkring 40 min faldt omkring 33 mm nedbør. Denne regnhændelse forekom meget lokalt i Aalborg. [Krøll, 2019] Den lokale nedbør d. 30.07.19 er vurderet at være årsagen til, at de Netatmo stationer, der øjensynligt har registreret en del af denne regnhændelse, blev frasorteret, hvilket fremgår af figur 10.20. Der er på denne dag registreret meget varierende nedbørssummer og mønstre i Netatmo systemet såvel som i SVK systemet. Denne variation i nedbøren har betydet, at de stationer der er valideret på dagen generelt har repræsenteret middelnedbøren, mens stationer der har registret større peak-værdier er blevet frasorteret. Beskrivelsen af særligt lokale regnhændelser er vurderet at være en af svaghederne ved den benyttede metode til at sammenligne stationsdata i døgn kvalitetssikringsproceduren. Svagheden er vurderet at stamme fra den 'Range', som er anvendt på årstidsbasis. 'Range' repræsenterer den gennemsnitlige afstand for spatial korrelation på årstidsbasis, hvilket ikke er fordelagtigt at anvende, når ekstreme og lokale regnhændelser som regnhændelsen d. 30.07.19 skal analyseres.



Figur 10.20: Regnserier for udvalgte validerede stationer (blå) og frasorterede stationer (rød) på døgnbasis sammenlignet med SVK station 5056 for d. 30.07.19.

På figur 10.21 er der præsenteret eksempler på regnserier fra validerede stationer igennem døgn kvalitetssikringsproceduren samt udvalgte regnserier fra frasorterede stationer d. 08.08.19. Nedbørmængden d. 08.08.19 var moderat.

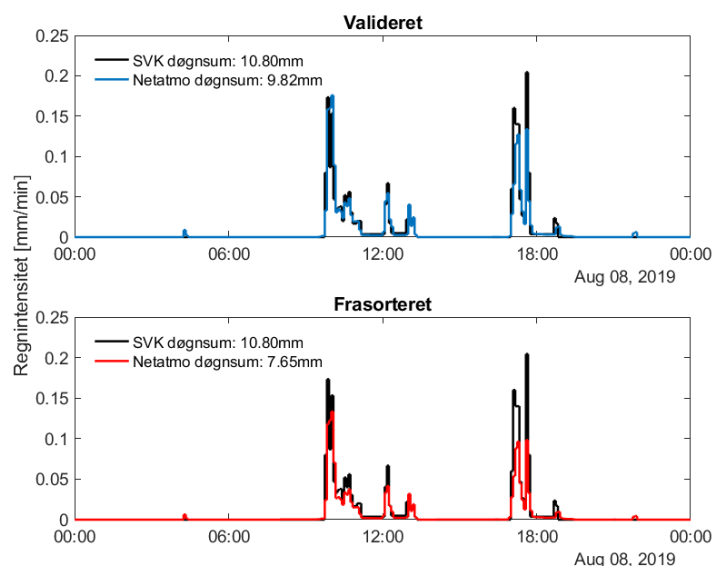


Figur 10.21: Regnserier for udvalgte validerede stationer (blå) og frasorterede stationer (rød) på døgnbasis sammenlignet med SVK station 5049 for d. 08.08.19.

Det fremgår af figur 10.21, at der imellem regnserierne for de udvalgte validerede stationer og SVK station 5049 er opnået god overensstemmelse imellem regnserierne. Det fremgår af regnserierne for de udvalgte frasorterede Netatmo stationer på døgnbasis, at disse stationer ikke beskriver peak-værdierne til fulde. De frasorterede stationer er dog placeret i en større afstand til SVK station 5049 i sammenligning med de stationer, der er valideret. Stationerne som er frasorteret er primært sorteret fra på det grundlag, at disse afviger på 10 min maksimalværdien omkring kl. 18. Derudover er der en enkelt, der er frasorteret grundet et langt tidsstempel i nedbørsperioden. Sammenligningen mellem den enkelte station og de omkringliggende stationer i døgn kvalitetssikringsproceduren er styret af, hvad flertallet af stationer har registreret. Dette giver ligeledes udfordringer d. 08.08.19, hvor der er flere Netatmo stationer og SVK stationer, der registrerer en kortvarig regnhændelse af høj intensitet omkring kl. 18, men da flertallet af omkringliggende stationer ikke har registreret denne regnhændelse frasorteres enkelte Netatmo stationer på baggrund af, at disse afviger fra mængden.

Det fremgår af eksemplerne på regnserier for d. 30.07.19 og d. 08.08.19, at der kan frasorteres en del stationer, der sandsynligvis indeholder retvisende regndata. Dette skyldes, at sammenligningen imellem den enkelte station og de omkringliggende stationer styres af, hvad flertallet af omkringliggende stationer har registreret, hvilket kan være en svaghed ved metoden. Det er dog ligeledes vurderet at være en af styrkerne ved metoden, da der er større sandsynlighed for at de større stationsspecifikke usikkerheder, som kan forekomme, sorteres fra i forbindelse med kvalitetssikringen af regndataene.

Effekten af at foretage kvalitetssikring af stationsdata på døgnbasis fremgår ikke udelukkende af de individuelle stationer. Døgn kvalitetssikringen har ligeledes en effekt på det afstandsvægtede regnprodukt, hvilket fremgår af figur 10.22.



Figur 10.22: Eksempel på en afstandsvægtet regnserie baseret på validerede stationer (blå) og en regnserie baseret på alle stationer indenfor 'Range' (rød) fra SVK station 5058.

Det fremgår af figur 10.22, at der er god overensstemmelse mellem den afstandsvægtede regnserie, som udelukkende er baseret på validerede stationer og regnserien for SVK station 5058.

Peak-værdierne i SVK regnserien beskrives ikke i samme grad med regnserien baseret på regndata fra alle Netatmo stationer placeret indenfor 'Range' fra SVK station 5058.

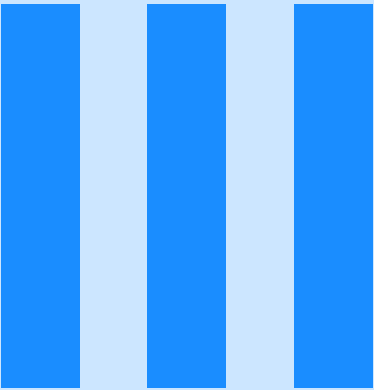
Opsummering

Der er i dette kapitel foretaget sammenligninger imellem Netatmo regnprodukter og DMI klimagrid 10x10 km og SVK regndata. I sammenligningen med DMI klimagrid 10x10 km interpoleres Netatmo regndata til punkterne for de interpolerede værdier i DMI klimagridet. Dermed er der foretaget en sammenligning af to interpolerede regnprodukter, hvorimod der i sammenligningen med SVK regndata er sammenlignet interpolerede Netatmo regnprodukter og Netatmo punktmålinger med SVK punktmålinger. Dermed er afvigelserne imellem Netatmo regnprodukterne og SVK regndataene vurderet mere acceptable i sammenligning med de afvigelser, der er beregnet imellem Netatmo og DMI gridværdier. Differenserne i årsnedbør fra DMI gridværdierne var dog af samme størrelsesorden, som differenser imellem SVK stationer og DMI værdien for årsnedbør i Nordjylland. Dermed er det ikke vurderet fordelagtig at anvende Netatmo stationer til meteorologiske sammenhænge som eksempelvis registrering af årsnedbør. Formålet med DMI klimagrid 10x10 km på time og døgnbasis er primært at beskrive regnhændelser over en større tidsskala i modsætning til SVK stationerne, som primært anvendes til at beskrive intensitetsforløbet i en regnhændelse. Da der er opnået overensstemmelse med SVK regndataene over en tidsskala på 10 min, er det vurderet, at der er potentiale for at anvende Netatmo regndata til opgaver indenfor den urbane hydrologi.

Netatmo regnprodukterne underestimerede generelt årsnedbør i sammenligning med DMI værdier, hvorimod det overestimerede i sammenligning med SVK. Derfor er det vurderet, at Netatmo regndata udgør en form for middel af regnprodukterne baseret på henholdsvis DMI og SVK regndata. Det er vurderet, at grundet stationsspecifikke usikkerheder underestimerer Netatmo regnproduktet i forhold til DMI. Der er dog ikke foretaget nogen frasortering af vip i forbindelse med definitionen af regnhændelser i Netatmo regndataene, hvilket er vurderet at være en af årsagerne til at Netatmo stationer overestimerer i sammenligning med SVK stationer.

Den anvendte metode til at validere Netatmo regndata hver 10. min er ikke vurderet fordelagtig, da de anvendte grænseværdier er for høje. Derudover foretages tjekket for overskridelse af grænseværdierne på tidsstempelbasis, hvorved der er risiko for, at der valideres stationer, der på døgnbasis afviger væsentligt fra de omkringliggende stationer.

Døgn kvalitetssikringsproceduren er vurderet fordelagtig, da der i valideringen af den enkelte station foretages en sammenligning med omkringliggende stationer. Dette er vurderet at være en fordel i de fleste tilfælde. Dog kan der opstå problemstillinger i forbindelse med regnhændelse, hvor afstanden for den spatiale korrelation er væsentligt reduceret i forhold til den gennemsnitlige 'Range' på årstidsbasis. Dette kan give anledning til, at stationer hvor der reelt skal være registreret høje intensiteter bliver frasorteret, fordi størstedelen af stationerne har registreret væsentligt lavere intensiteter. Derimod er det en fordel at anvende denne sammenligningsmetode i forhold til sikkerheden for, at de stationsspecifikke usikkerheder frasorteres.



Afslutning

11	Diskussion	123
12	Konklusion	127
13	Perspektivering	129
	Litteratur	129

11. Diskussion

Der er i forbindelser med udarbejdelsen af dette projekt anvendt forskellige metoder i analyserne af Netatmo regndataene og sammenligninger imellem disse og regnprodukter fra SVK og DMI systemerne. Metoderne anvendt i analyser og sammenligninger samt usikkerhederne forbundet med Netatmo regndataene er diskuteret i dette kapitel. Der er ligeledes diskuteret andre alternativer til de anvendte metoder.

Dataindhentning

Indhentning af det historiske regndata fra Netatmos servere kræver 34.000 anmodninger per time, hvis data fra hele landet skal indhentes i realtid. Dette skyldes, at metoden kræver, at der først indhentes stations og modul ID'er med anmodningen "Getpublicdata" for derefter at downloade regndata med anmodningen "Getmeasure". Dette har begrænset projektet til udelukkende at behandle regndata fra Aalborg området. I forhold til at anvende regndata fra netværket af Netatmo stationer er antallet af anmodninger, der kan foretages per time dermed kritisk.

Mulige løsninger kan være, at flere personer, forsyninger eller kommuner opretter flere brugere og indgår i et fælles system for indhentning af regndata fra de forskellige områder i Danmark. Igennem en dialog med Netatmo kan der muligvis gives flere anmodninger per time til udvalgte brugere, som kan muliggøre en centraliseret indhentning af Netatmo regndata. Dog er det vurderet, at den nuværende opsætning af dataindhentningen er for langsom i realtid hvis regndata fra hele landet skal indehentes fra en computer. Derfor er det vurderet fordelagtigt, at opdele dataindhentningen således regndata fra flere områder indhentes sideløbende. Det er muligt at optimere dataindhentningsproceduren ved at anvende en liste af stationer, som eksempelvis opdateres på uge eller månedsbasis, hvorved det ikke er nødvendigt at foretage et tjek for hvilke stationer, som er tilgængelig hvert 10. min, hvilket reducerer antallet af nødvendige anmodninger per time med 7.884. Dette kan ligeledes give en tidsbesparing, hvilket muliggør, at der for hver computer kan indhentes data fra et større område i realtid.

Stationsspecifikke usikkerheder

Det er igennem projektet belyst, at der kan forekomme væsentlige stationsspecifikke usikkerheder ved stationer med de standardiserede indstillinger. Disse usikkerheder er dog beregnet på baggrund af forsøg foretaget på to Netatmo regnmålere, hvilket er vurderet at være et usikkert grundlag at foretage reelle konklusioner på baggrund af. Det er vurderet, at der bør foretages forsøg på en større stikprøve for at validere de observationer, der er foretaget i dette projekt. Derudover bør antallet af gentagelser for de enkelte forsøg øges i kombination med at flere varigheder samt regnintensiteter anvendes. Dette er vurderet nødvendigt da resultaterne af forsøgene foretaget i forbindelse med projektet har varieret. Dog er der trods varierende resultater konstateret, at der er tendens til en overestimering med stigende intensitet, da resultaterne har differentieret sig væsentligt imellem de anvendte intensiteter.

I dette projekt har det primære fokus været at udvikle en kvalitetssikringsprocedure for det eksisterende regndata uden nogen form for justering af regndataene. Det blev dog konstateret i forbindelse med beregninger af den gennemsnitlige fejl per time ved forskellige intensiteter, at disse fejl kan reduceres væsentligt, hvis vippekarstørrelsen bestemt igennem en kalibrering anvendes frem for den standardiserede vippekarstørrelse. Det fremgik dog af forsøgene, at en kalibrering ligeledes kan give anledning til et forhøjet estimat af vippekarstørrelsen, hvis kalibreringen foretages med for høje intensiteter, hvilket kan øge usikkerhederne. En kalibrering af regnmålerne vil dermed udelukkende reducere usikkerhederne, hvis denne foretages på fornuftig vis.

Det blev vurderet, at omkring 6 % af stationerne indenfor det analyserede område er kalibreret. Derfor er det vurderet, at der er et stort potentiale for at forbedre Netatmo regndataene ved at opfordre ejerne af stationerne, som fungerer som 'crowd' i dette projekt, til at kalibrere deres stationer. For at sikre at kalibreringerne foretages på fornuftig vis, kan det være nødvendigt at udarbejde en guide. Derudover er det vurderet, at en guide i forhold til placeringen af Netatmo stationerne ligeledes kunne være fordelagtig for at reducere nogle af de usikkerheder, der kan være relateret til placeringen af regnmåleren.

Afstanden for spatial korrelation

Der er i kvalitetssikringen af regndata på døgnbasis taget udgangspunkt i, hvor meget den enkelte station afviger fra median værdier for de omkringliggende stationer indenfor 'Range'. Grænsen, for hvor meget den enkelte station kan afvige uden at blive frasorteret, er fastsat med henblik på at frasortere regndata, hvor de stationsspecifikke usikkerheder kan være særligt udprægede. Dette giver dog udfordringer i forhold til at bibeholde de variationer, som kan forekomme imellem stationsdata for dage med særligt lokale regnhændelser. Den anvendte 'Range' er en gennemsnitlig værdi for den enkelte årstid og er dermed også en repræsentation for afstanden for spatial korrelation for en gennemsnitlig regnhændelse for den pågældende årstid. 'Range' er dermed fordelagtig at anvende til de gennemsnitlige regnhændelser. Det er dog typisk ikke de gennemsnitlige regnhændelser, som har interesse i afløbsteknisk sammenhæng. Derimod er det de lokale og ekstreme regnhændelser, der typisk har interesse i forbindelse med reanalyse af skadevoldende regnhændelser eller i forbindelse med dimensionering af afløbssystemer.

Den anvendte 'Range' samt fastsatte grænseværdi for tilladelig afvigelse fra omkringliggende stationer kan give anledning udfordringer i forhold til at verificere stationer, som indeholder variationer, som skyldes den spatiale variabilitet af regnhændelsen. Det er vurderet nødvendigt at sammenligne stationerne internt for at reducere de stationsspecifikke usikkerheder, som kan forekomme i Netatmo regndataene. Sammenligningerne af stationsdata giver dog anledning til de førnævnte udfordringer i forhold til at bibeholde de variationer, som kan forekomme imellem stationer som følge af den spatiale variabilitet af regnhændelser. Derfor er det vurderet, at der kan være potentiale for at undersøge, hvordan regndataene fra den enkelte Netatmo station kan forbedres, således sammenligningen af stationerne internt i kvalitetssikringsproceduren bliver af mindre betydning.

Sammenligninger med SVK og DMI regndata

Der er i dette projekt foretaget sammenligninger af Netatmo produkter konstrueret på forskellig vis med henholdsvis SVK regndata og DMI klimagrid 10x10 km. I sammenligningerne med SVK og DMI regndata er det antaget, at disse udgør sande værdier, og der har i sammenligningerne været fokus på, at differenserne imellem Netatmo regnproduktet og disse regnprodukter skulle være mindst mulige. Det er dog vigtigt, at der forekommer afvigelser imellem Netatmo regnproduktet og henholdsvis SVK og DMI regndataene, for hvis der ikke forekommer afvigelser, er det ikke nødvendigt at forbedre den spatiale repræsentation af regnhændelser.

Mulige forbedringer af kvalitetssikringsprocedurerne

Som nævnt tidligere har metoden anvendt til at sammenligne den enkelte station med omkringliggende stationer styrker og svagheder. Sammenligningen med omkringliggende stationer er primært foretaget grundet de stationsspecifikke usikkerheder, der kan forekomme. Dette giver for nogle typer regnhændelser udfordringer i forhold til at bibeholde variationer, som forekommer grundet den spatiale variabilitet af disse regnhændelser, når kvalitetssikringen foretages som en fuld automatisk procedure. Derfor er det muligt, at der ved at anvende kvalitetssikringen som et system som markerer tvivlsomme registreringer, som efterfølgende kan valideres af en fagperson, kan produceres regndata, som kan anvendes til reanalyser af skadevoldende regnhændelser og dimensionering af kloaksystemer. Regndata valideret igennem døgn kvalitetssikringsproceduren er generelt brugbar data, da der er større sikkerhed for, at regndataene er retvisende grundet de anvendte 'Range', samt grænser for hvor meget stationsdata er tilladt at afvige fra omkringliggende stationsdata. Det er muligt, at repræsentationen af regnhændelser med valideret regndata kan forbedres væsentligt, hvis Netatmo stationerne blev kalibreret, forinden regndata fra stationerne blev kvalitetssikret.

Det blev i forbindelse med sammenligning med SVK og DMI regnprodukterne belyst, at der kan være problemstillinger med, at der er dage, hvor ingen Netatmo stationer valideres. Dette er vurderet at skyldes frasorteringen af stationer grundet timer med temperaturer $< 0^{\circ}\text{C}$ på døgnbasis, hvilken er foretaget grundet risiko for fastfrysning af regnmåleren samt usikkerhederne forbundet med varigheden af den eventuelle fastfrysning. Det er muligt, at hvis kvalitetssikringen foretages semi-automatisk, kan der på dage med frostgrader godkendes stationer, som i den automatiske procedure er blevet frasortet.

Metoden anvendt i live kvalitetssikringsproceduren til at validere Netatmo regndata er ikke vurderet fordelagtig at anvende. Dette skyldes muligvis, at grænseværdierne er fastsat for høje. Derudover kan metoden ikke tage hensyn til, hvad der er målt over en større tidsskala, hvormed stationer med vedvarende høje nedbørsregistreringer, men som ikke overskrider grænseværdien for 5 min nedbør, ikke kan frasorteres med denne metode. Usandsynlige registreringer af døgnnedbør kan skyldes stationsspecifikke fejl, hvilke døgn kvalitetssikringsproceduren er vurderet fordelagtig til at frasortere. Derfor er det muligt at der ved at anvende månedsrapporten, som er baseret på døgnrapporterne, kan foretages en frasortering af stationer, således usikkerhederne ved live kvalitetssikringsproceduren reduceres.

Kvalitetssikring af Netatmo regndata i fremtiden

Det er forventet, at antallet af Netatmo stationer vil stige i fremtiden, hvorved densiteten af stationer øges, hvilket er forventet vil give anledning til en forbedring af døgn kvalitetssikringsproceduren. Klimaforandringer vil give anledning til ændret nedbørsmønster, hvor det er forventet, at nedbørsmængderne i efterårs-, vinter- og forårsperioden vil stige, hvorimod nedbørsmængden i sommerperioden vil blive mindre. Dog vil regnhændelserne blive kraftigere og hyppigere i sommerperioden. Derfor er det vurderet, at de beregnede 'Range' for årstiderne vil ændres. Det er forventet, at 'Range' i sommerperioden vil blive kortere, mens 'Range' for de øvrige årstider muligvis øges.

I forbindelse med at 'Range' sandsynligvis reduceres i fremtiden, vil antallet af omkringliggende stationer indenfor 'Range' reduceres, hvilket kan give udfordringer i forhold til kvalitetssikring af Netatmo regndata. Dette giver ligeledes udfordringer i forhold til at bibeholde variationer imellem stationsdata, som forekommer grundet den spatiale variabilitet. Det er derfor vurderet, at de udfordringer der er observeret ved kvalitetssikringsproceduren, også vil være til stede i fremtiden dog mere udpræget. Af den grund er det antaget, at der i højere grad vil være behov for en semi-automatisk tilgang til kvalitetssikringen af regndataene, særligt for lokale regnhændelser, eller at der foretages nogle foranstaltninger i forhold til at reducere de stationsspecifikke usikkerheder, forinden regndata fra stationer kvalitetssikres.

12. Konklusion

Der er gennem dette afgangsprøveprojekt arbejdet med hypotesen om, at det er muligt at anvende crowdsourcet regndata fra Netatmo stationer, som er kvalitetssikret og valideret igennem automatiske procedurer til opgaver indenfor den urbane hydrologi. Hypotesen er bearbejdet igennem besvarelsen af flere arbejdsspørgsmål.

Det er muligt at indhente historisk regndata frem til realtid. Den anvendte metode kræver, at der med anmodningen "Getpublicdata" indhentes stations og modul ID'er fra hver Netatmo station. Disse ID'er specificeres i forbindelse med at anvende "Getmeasure" anmodningen til at indhente op til 1024 tidsstempler. Hvis regndata indhentes i hvert 10. min, vil der typisk være to nye tidsstempler tilgængelig. Det er vurderet nødvendigt at opdele Danmark i flere søgebokse, for at det reelle antal Netatmo stationer indenfor hvert område returneres. Det er vurderet, at dataindhentningsproceduren er stabil, og at det er muligt at indhente regndata for Danmark i realtid, såfremt flere anmodninger per time tildeles.

Netatmo opgiver en målepræcision på 1 mm/time. Dette er i projektet vurderet at være retvisende for intensiteter mellem 0,2 mm/5 min - 0,5 mm/5 min, da der er opnået sammenlignelige præcisioner i forsøg foretaget i forbindelse med dette projekt. Der er dog beregnet fejl op til 33,6 mm/time for regnintensiteten på 6 mm/5 min, hvilken er indenfor det gyldige måleinterval for Netatmo regnmålere. Måleusikkerhederne er vurderet primært at skyldes vippekarstørrelser, der afviger væsentligt fra den fabriksangivede størrelse samt fejlregistreringer af vip. Det er dog konstateret, at fejlen i mm/time kan væsentligt reduceres ved at anvende den kalibrerede vippekarstørrelse frem for den angivede standardstørrelse.

Det er på baggrund af sammenligninger imellem de fire forskellige typer af Netatmo regndata på stationsbasis konstateret, at disse ikke registrerer den samme mængde nedbør, hvilket ikke var forventeligt. Det var derimod forventet, at regnprodukterne registrerer den samme mængde nedbør, men blot var nedbørssummer over forskellige tidsskaler. Derudover blev det konstateret, at de tre regnprodukter, som indhentes med anmodningen "Getpublicdata", har varierende tidslig diskretisering, men ofte omkring 30 min. Det historiske regndata har i modsætning til de øvrige tre produkter en stabil tidslig diskretisering på omkring 5 min og har ikke samme hyppighed for fejlregistreringer som de øvrige regnprodukter. Derfor blev det konstateret, at det historiske regndata er fordelagtigt at anvende ud af de fire typer regndata, som er tilgængeligt fra Netatmo stationerne.

Den anvendte metode til kvalitetssikring af Netatmo regndata på døgnbasis er baseret på en sammenligning af regndata fra den enkelte station med median værdier beregnet på baggrund af regndata fra omkringliggende stationer. De omkringliggende stationer er udvalgt ud fra, at disse befinder sig indenfor en bestemt afstand fra den enkelte station. Denne afstand er fastsat til den afstand, hvor der forekommer spatial korrelation imellem stationsdataene for den pågældende årstid. Valideringen af den enkelte station foretages ud fra en betragtning af den procentuelle afvigelse fra de omkringliggende stationer på tre tidsskalaer på henholdsvis 10 og 60 min maksimalværdier samt døgnsummer.

Forskellige tidsskalaer er benyttet for bedre at kunne vurdere flere aspekter af den registrerede nedbør. Den anvendte metode har givet resultater, der er i god overensstemmelse med DMI og SVK regnprodukter, dog stadig med afvigelser der er vurderet at skyldes den spatiale variabilitet samt stationsspecifikke usikkerheder. Det er dog konstateret at metoden særligt frasortere flere stationer for dage med mere lokale regnhændelser, hvormed metoden ikke er velfungerende i alle situationer. Metoden er vurderet fordelagtig til automatisk validering af regndata fra stationer på dage med mere gennemsnitlige regnhændelser.

Med den anvendte metode i live kvalitetssikringsproceduren er det ikke vurderet fordelagtigt at anvende regndata valideret med denne metode til realtidsstyring. Det er ikke vurderet fordelagtigt at anvende interpolerede Netatmo regnprodukter i meteorologiske sammenhænge, da der i sammenligningerne med DMI klimagrid 10x10 km generelt er en tendens til underestimering. Det er vurderet, at der i kombination med den automatiske kvalitetssikringsprocedure på døgnbasis bør foretages en manuel vurdering i forbindelse med validering af regndata registreret under ekstreme og typisk meget lokale regnhændelser for at gøre Netatmo regndataene mere brugbar. Den manuelle vurdering kan anvendes til at inspicere frasorterede stationer, som sandsynligvis er frasorteret, fordi for få stationer har registreret et tilsvarende forløb af regnhændelsen. Det er vurderet, at der er potentiale for at anvende validerede Netatmo stationer som enkeltstående værdier, da dette fremmer beskrivelsen af den spatiale variabilitet af regnhændelser.

13. Perspektivering

Der har generelt været en hollistisk tilgang i dette projekt. Den holistiske tilgang betyder, at de enkelte delelementer af projektet ikke er optimeret, og derfor ikke bør anses som færdige løsninger. Gennem projektet er der belyst et potentiale for anvendelse af Netatmo regndata såvel som flere primære udfordringer, der bør løses, før det fulde potentiale af Netatmo data kan bestemmes. Det er vurderet, at de primære udfordringer er som følger:

- Analyse af hvilken effekt indkludering af Netatmo regndata i opgaver indenfor den urbane hydrologi har for resultatet
- Udarbejdelse af en kvalitetssikringsprocedure for områder med mindre densitet af Netatmo stationer
- Bestemmelse af stationsspecifikke usikkerheder igennem forsøg med Netatmo regnmålere

Der er i dette projekt foretaget nogle analyser for, hvilken effekt anvendelsen af Netatmo regndata vil have for eksempelvis en analyse af en skadevoldende regnhændelse. Derfor er det på baggrund af dette projekt anbefalet, at der foretages videre analyser, hvor eksempelvis resultater opnået med en kombination af Netatmo regndata og SVK regndata sammenlignes med resultaterne opnået med SVK regndata.

Vurderingen af potentialet for at anvende Netatmo regndata er foretaget ud fra resultater opnået indenfor et område der dækker Aalborg og omegn, hvor densiteten af stationer er højere end andre dele af Danmark. Det er anbefalet, at der udvikles andre procedure for validering af regndata i disse områder, da den anvendte metode i projektet har begrænsninger i tilfælde med mindre densitet af Netatmo stationer. Derfor er det muligt, at der i områder med få stationer skal implementeres radardata for, at der er potentiale for at anvende Netatmo regndataene til eksempelvis dimensionering af kloaksystemer i disse områder. Det er ligeledes anbefalet, at der foretages flere forsøg på flere regnmålere for, at det på baggrund af et større datagrundlag kan konkluderes hvilke usikkerheder, der er relateret til Netatmo stationerne. Det er anbefalet, at forsøgene ligeledes anvendes til undersøge mulighederne for at reducere de stationsspecifikke usikkerheder ved Netatmo stationer.

Litteratur

- Andersen og Christiansen, 2016.** Anne Kaag Andersen og Henning Christiansen. *Danmark er mindre urbaniseret end EU som helhed*. ISSN: 2446-0354, Paperback. Danmarks Statistik, 2016. DST analyse.
- Campisano et al., 2013.** A. Campisano, J. Cabot Ple, D. Muschalla, M. Pleau og P. A. Vanrolleghem. *Potential and limitations of modern equipment for real time control of urban wastewater systems*. Urban Water Journal, Vol. 10 nr. 5, s. 300–311, 2013. DOI: 10.1080/1573062X.2013.763996.
- Cappelen, 2019.** John Cappelen. *Ekstrem nedbør i Danmark - opgørelser og analyser til og med 2018*. ISSN: 2445-9127, DMI Rapport 19-06. Danmarks Meteorologiske Institut, 2019.
- Chapman et al., 2017.** Lee Chapman, Cassandra Bell og Simon Bell. *Can the crowdsourcing data paradigm take atmospheric science to a new level? A case study of the urban heat island of London quantified using Netatmo weather stations*. International Journal of Climatology, Vol. 37, s. 3597–3605, 2017.
- Chaubey et al., 1999.** I. Chaubey, C. T. Haan, S. Grunwald og J. M. Salisbury. *Uncertainty in the model parameters due to spatial variability of rainfall*. Journal of Hydrology, Vol. 220, s. 48–61, 1999.
- Danske Regioner, 2012.** Danske Regioner. *Regionerne - kort fortalt*. ISBN: 978-87-7723-752-2, Paperback. Danske Regioner, 2012.
- envco, 2020.** envco. *RIMCO RIM 7499 Tipping Bucket Rain Gauge*. envcoglobal.com/catalog/microclimate-monitoring/weather/microclimate-mini-loggers/datalogging-sensors/rainfall-0?fbclid=IwAR19yFFT208o900nShsr4hoPprC-arP6tBv8lyJ3qrX8NBikcfnErNV5E_A, 2020. Sidst set: 08-06-2020.
- Gregersen et al., 2014.** Ida Bülow Gregersen, Henrik Madsen, Jens Jørgen Linde og Karsten Arnbjerg-Nielsen. *Opdaterede klimafaktorer og dimensionsgivende regnintensiteter*. Skrift nr. 30, Paperback. IDA Spildevandskomiteen, 2014.
- IPCC et al., 2014a.** IPCC, R. Sari Kovats, Riccardo Valentini, Laurens M. Bouwer, Elena Georgopoulou, Daniela Jacob, Eric Martin, Mark Rounsevell og Jean-Francois Soussana. *Europe. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. ISBN: 978-1-107-68386-0, Paperback. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp.1267-1326, 2014. [V. R. Barros and C. B. Field and D. J. Dokken and M. D. Mastrandrea and K. J. Mach and T. E. Bilir and M. Chatterjee and K. L. Ebi and Y. O. Estrada and R. C. Genova and B. Girma and E. S. Kissel and A. N. Levy and S. MacCracken and P. R. Mastrandrea and L. L. White (eds.)].

- IPCC et al., 2014b.** IPCC, Aromar Revi, David E. Satterthwaite, Fernando Aragón-Durand, Jan Corfee-Morlot, Robert B. R. Kiunsi, Mark Pelling, Debra C. Roberts og William Solecki. *Urban areas. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report to the Intergovernmental Panel on Climate Change.* ISBN: 978-1-107-64165-5, Paperback. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 535-612, 2014. [C. B. Field and V. R. Barros and D. J. Dokken and K. J. Mach and M. D. Mastrandrea and T. E. Bilir and M. Chatterjee and K. L. Ebi and Y. O. Estrada and R. C. Genova and B. Girma and E. S. Kissel and A. N. Levy and S. MacCracken and P. R. Mastrandrea and L. L. White (eds.)].
- Krøll, 2019.** Rasmus Krøll. *Voldsomt vejr: Tæt på dobbelt skybrud i Aalborg.* TV2 Nord, 30. jul 2019, 2019.
- Lamorey og Jacobson, 1995.** Gregg Lamorey og Elizabeth Jacobson. *Estimation of semivariogram parameters and evaluation of the effects of data sparsity.* Mathematical Geology, Vol. 27, No. 3, 1995.
- Laustsen et al., 2016.** Anne Laustsen, Morten Steen Sørensen, Ane Loft Møllerup, Annette Brink-Kjær, Ida Bülow Gregersen og Jesper Ellerbæk Nielsen. *Regnmålerstyrregruppen.* <https://ida.dk/om-ida/spildevandskomiteen/regnmaalerstyregruppen>, 2016. Sidst set: 27-11-2019.
- Lopez et al., 2005.** V. Lopez, F. Napolitano og F. Russo. *Calibration of a rainfall-runoff model using radar and raingauge data.* Advances in Geosciences, Vol. 2, s. 41–46, 2005.
- Michaelides, 2008.** Silas Michaelides. *Precipitation: Advances in measurement, estimation and prediction.* ISBN: 978-3-540-77654-3, Paperback. Springer, 2008.
- Mikkelsen et al., 1999.** Peter Steen Mikkelsen, Henrik Madsen, Karsten Arnbjerg-Nielsen, Hanne Kjær Jørgensen, Dan Rosbjerg og Poul Harremoës. *Regional variation af ekstremregn i Danmark.* Skrift nr. 26, ISBN: 87-89220-49-8, Paperback. IDA Spildevandskomiteen, 1999.
- Miljø- og Energiforvaltningen, 2015.** Miljø- og Energiforvaltningen. *Spildevandsplan 2016-2027*, Aalborg Kommune, 2015.
- Netatmo, 2012.** Netatmo. *Netatmo User Manual*, Netatmo, 2012.
- Netatmo, 2020.** Netatmo. *Specifikationer for Smart Vejrstation.* <https://www.netatmo.com/da-dk/weather/weatherstation/specifications>, 2020. Sidst set: 03-03-2020.
- Odense Kommune, 2010.** Odense Kommune. *Spildevandsplan 2011-2022*, Odense Kommune, 2010.
- Olesen et al., 2014.** Martin Olesen, Kristine Skovgaard Madsen, Carsten Ankjær Ludwigsen, Fredrik Boberg, Tina Christensen, John Cappelen, Ole Bøssing Christensen, Katrine Krogh Andersen og Jens Hesselbjerg Christensen. *Fremtidige klimaforandringer i Danmark.* ISBN: 978-87-7478-652-8, Paperback. Danmarks Meteorologiske Institut, 2014. Danmarks Klimacenter rapport nr. 6.

- OTT HydroMet, 2020.** OTT HydroMet. *OTT Pluvio2 L - Weighing Rain Gauge*.
<https://www.ott.com/en-us/products/meteorological-sensors-26/ott-pluvio2-l-weighing-rain-gauge-1521/?fbclid=IwAR3q-TC1KnC8vzYTuMYrJzTgnOHKQBSS9Gr0mmX-SUCtSUnf7tZHTfMEr8A>, 2020. Sidst set: 08-06-2020.
- Pedersen et al., 2010.** Lisbeth Pedersen, Niels Einar Jensen, Lasse Engbo Christensen og Henrik Madsen. *Quantification of the spatial variability of rainfall based on a dense network of rain gauges*. Atmospheric Research, Vol. 95, s. 441–454, 2010.
- Sarup, 2018.** Kim Sarup. *Drift af Spildevandskomitéens Regnmålersystem Årsnotat 2017*. ISSN: 1399-1388, Paperback. Danmarks Meteorologiske Institut, 2018. DMI Rapport 18-03.
- Sarup, 2019.** Kim Sarup. *Drift af Spildevandskomitéens Regnmålersystem Årsnotat 2018*. ISSN: 1399-1388, Paperback. Danmarks Meteorologiske Institut, 2019. DMI Rapport 19-03.
- Scharling, 2000.** Mikael Scharling. *Klimagrid - Danmark Normaler 1961-90 Månedso- og årsværdier, Nedbør 10x10, 20x20 og 40x40 km temperatur og potentiel fordampning 20x20 og 40x40 km - Metodebeskrivelse og datasæt*, DMI Danish Meteorological Institute, 2000. DMI rapport 00-11.
- Schütze et al., 2004.** Manfred Schütze, Alberto Campisano, Hubert Colas, Wolfgang Schilling og Peter A. Vanrolleghem. *Real time control of urban wastewater systems - where do we stand today?* Journal of Hydrology, Vol. 299, s. 335–348, 2004.
- Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering, 2019.** Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering. *Kortforsyningen*, 2019.
- Teknik- og Miljøforvaltningen, 2018.** Teknik- og Miljøforvaltningen. *Spildevandsplan 2018*, Københavns Kommune, 2018.
- Teknik og miljø, 2016.** Teknik og miljø. *Spildevandsplan 2017-2020*, Aarhus Kommune, 2016.
- Thomsen, 2012.** Rikke Sjølin Thomsen. *Drift af Spildevandskomitéens Regnmålersystem Årsnotat 2012*. ISSN: 1399-1388, Paperback. Danmarks Meteorologiske Institut, 2012. DMI Rapport 13-03.
- Thorndahl, 2008.** Søren Thorndahl. *Uncertainty assessment in long term urban drainage modelling*, Department of Civil Engineering, Aalborg University, 2008. ISSN: 1901-7294, DCE Thesis No. 12.
- Thorndahl et al., 2017.** Søren Thorndahl, Thomas Einfalt, Patrick Willems, Jesper Ellerbæk Nielsen, Marie-Claire ten Veldhuis, Karsten Arnbjerg-Nielsen, Michael R. Rasmussen og Peter Molnar. *Weather radar rainfall data in urban hydrology*. Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 21, s. 1359–1380, 2017.
- United Nations, 2019.** United Nations. *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. ISBN: 978-92-1-148319-2, (ST/ESA/SER.A/420). United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019. New York: United Nations.

- Vilic, 2013.** Kenan Vilic. *Technical Report 13-13 Catalogue of Meteorological Stations in Denmark: Overview of Observation Sites and Parameters*, DMI Danish Meteorological Institute, 2013.
- Wang, 2010.** Peter Riddersholm Wang. *Analyse og sammenligning af Hellmann og Pluvio nedbørsmålere*. ISSN: 1399-1388, Paperback. Danmarks Meteorologiske Institut, 2010. DMI Rapport 10-16.
- Wang og Scharling, 2010.** Peter Riddersholm Wang og Mikael Scharling. *Klimagrid Danmark Dokumentation og validering af Klimagrid Danmark i 1x1 km opløsning*, DMI Danish Meteorological Institute, 2010. DMI rapport 10-13.
- Willems et al., 2012.** Patrick Willems, Jonas Olsson, Karsten Arnbjerg-Nielsen, Simon Beecham, Assela Pathirana, Ida Bülow Gregersen, Henrik Madsen og Van-Thanh-Van Nguyen. *Impacts of Climate Change on Rainfall Extremes and Urban Drainage Systems*. ISBN: 9781780401256, Paperback. (IWA) Publishing, London, UK, 2012.

IV

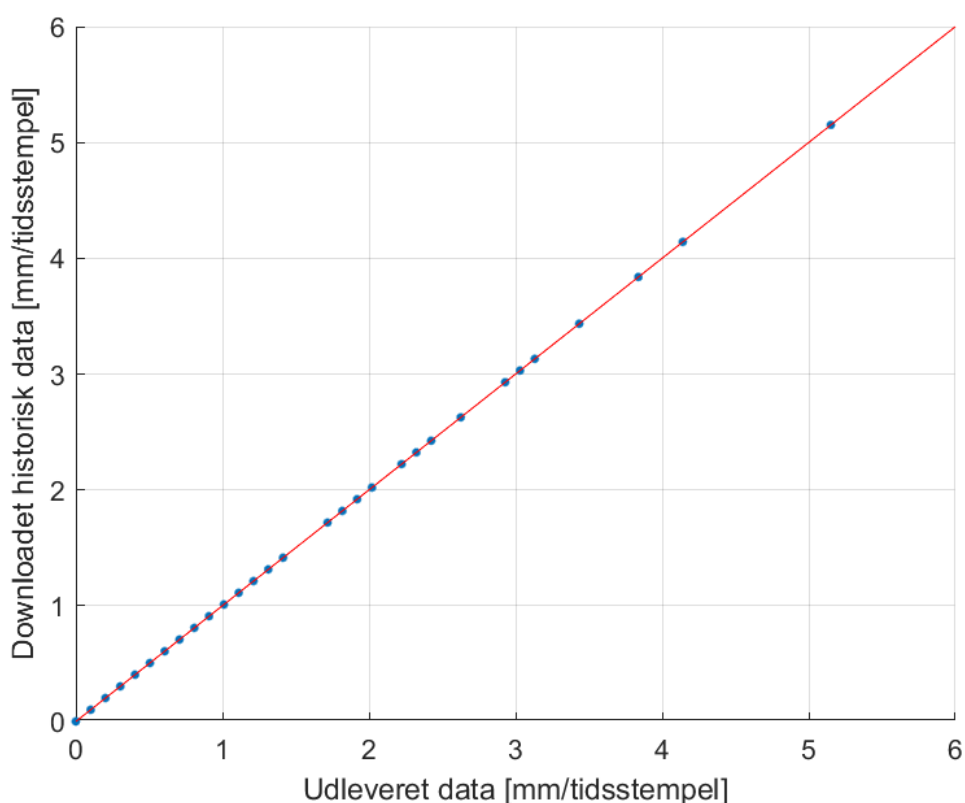
Appendiks

A	Tilgængelighed af Netatmo regndata	137
B	Nummerering af gridceller til dataindhentning	139
C	Nummerering af DMI 10x10 km klimagrid	141
D	Omdannelse af rå regndata til regnserier	143
E	Maksimale 10 min regnintensiteter	145
F	Semi-variogram analyse	151
G	Analyse af trends over en længere periode	159
H	Følsomhedsanalyse til valg af grænseværdi	163
I	Funktionsudtryk til bestemmelse af grænseværdier	173
J	Sammenligning med DMI klimagrid 10x10 km	175
K	Sammenligning af SVK og Netatmo regnprodukter	183
L	Elektroniske appendiks	195

A. Tilgængelighed af Netatmo regndata

I dette appendiks vil det data, som er offentligt tilgængeligt via Netatmo API'en blive sammenlignet med det data, som er tilgængeligt for ejeren af en station. Formålet med denne sammenligning er, at bestemme eventuelle fordele ved at eje en station kontra at kunne tilgå den via Netatmo API'en.

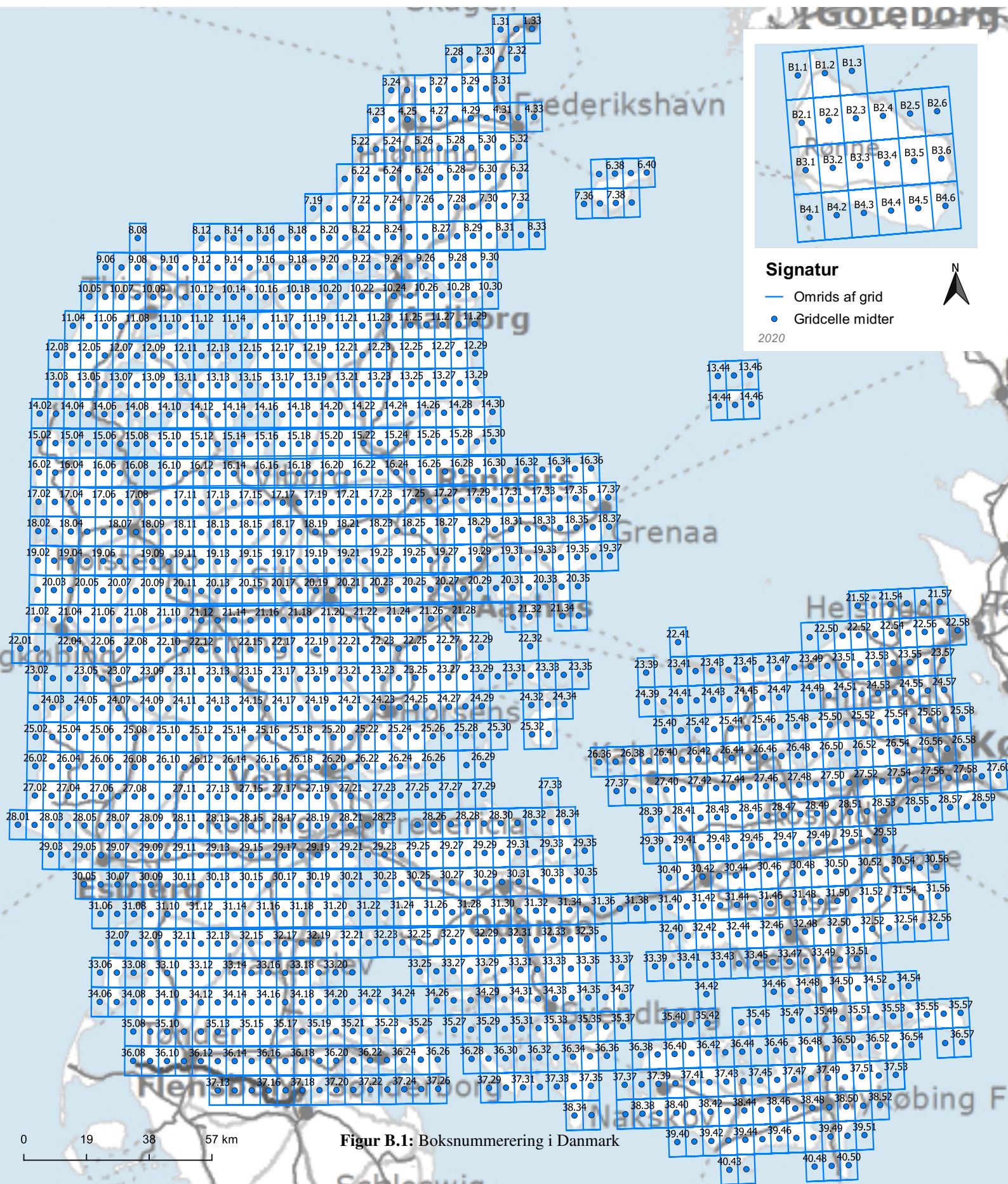
Vejleder Søren Thorndahl har stillet stationsdata til rådighed, som er blevet sammenlignet med det historisk regndata returneret med anmodningen "Getmeasure". Regndataene, som er blevet stillet til rådighed, er fra Netatmo station 70_ee_50_29_of_aa i perioden d. 01.08.19 til 01.09.19. For denne station er der for samme periode returneret regndata med anmodningen "Getmeasure". Det udleverede data indeholder 12.345 datapunkter med en temporal opløsning på omkring 5 minutter. Regndataene hentet med "Getmeasure" anmodningen indeholder ligeledes 12.345 tidsstemppler, hvilke er sammenfaldende med det udleverede stationsdata. Det fremgår ligeledes af figur A.1, som er et scatterplot for regndatene stillet til rådighed og det downloadede regndata, at der er fuld overensstemmelse imellem regndatanene.



Figur A.1: Scatterplot for regndataene stillet til rådighed og det downloadede regndata.

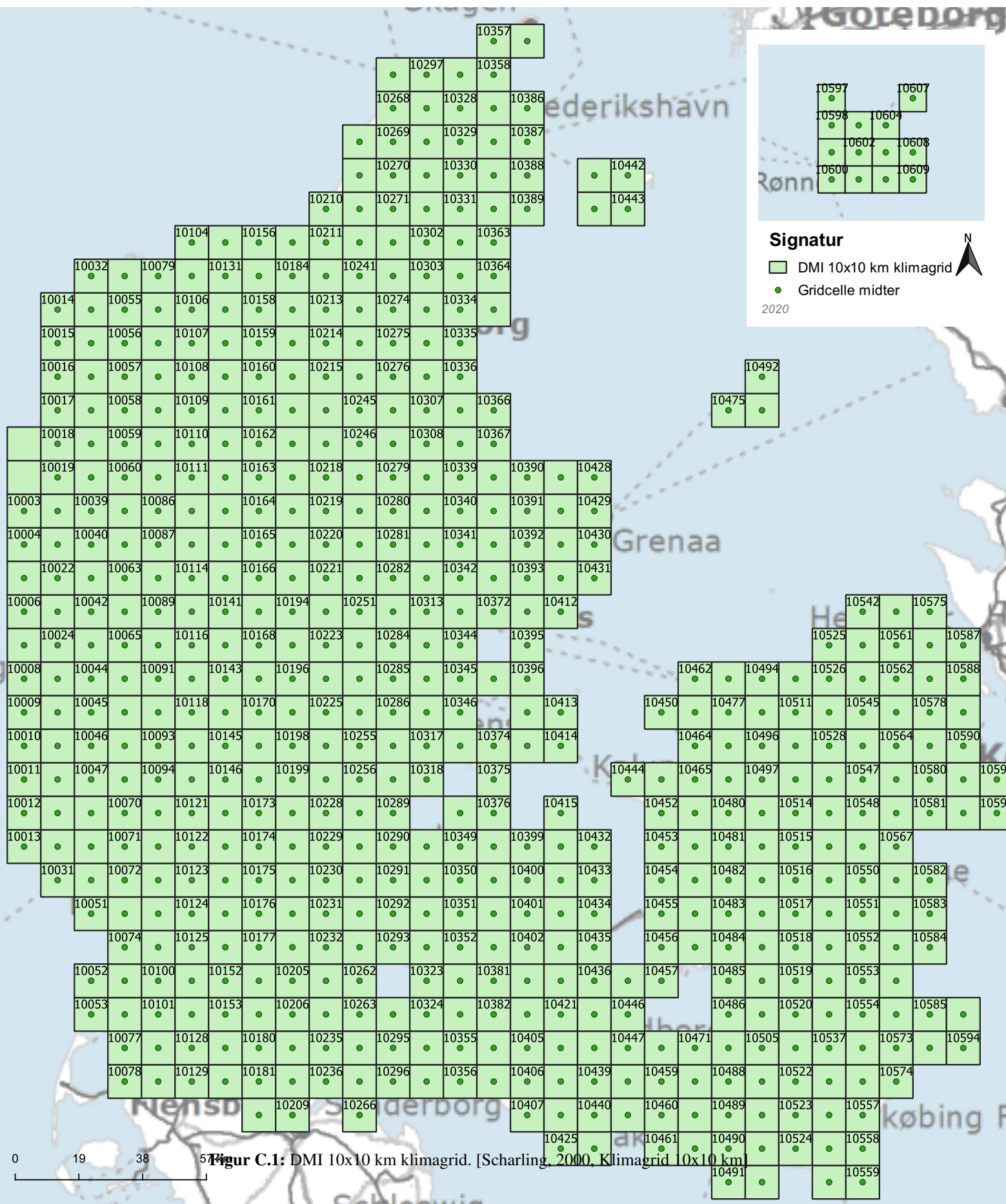
B. Nummerering af gridceller til dataindhentning

Dette appendiks indeholder figur B.1, hvor griddet anvendt til at indhente Netatmo regndata er præsenteret. Der er generelt angivet nummer for hver anden gridcelle. Der forekommer dog tilfælde, hvor der kan være flere gridceller, hvor nummeret ikke er angivet imellem gridceller, hvor nummeret er angivet. Det fremgår af figur B.1, at række nummeret stiger fra nord mod syd, mens kolonnenummeret stiger fra vest mod øst.



C. Nummerering af DMI 10x10 km klimagrid

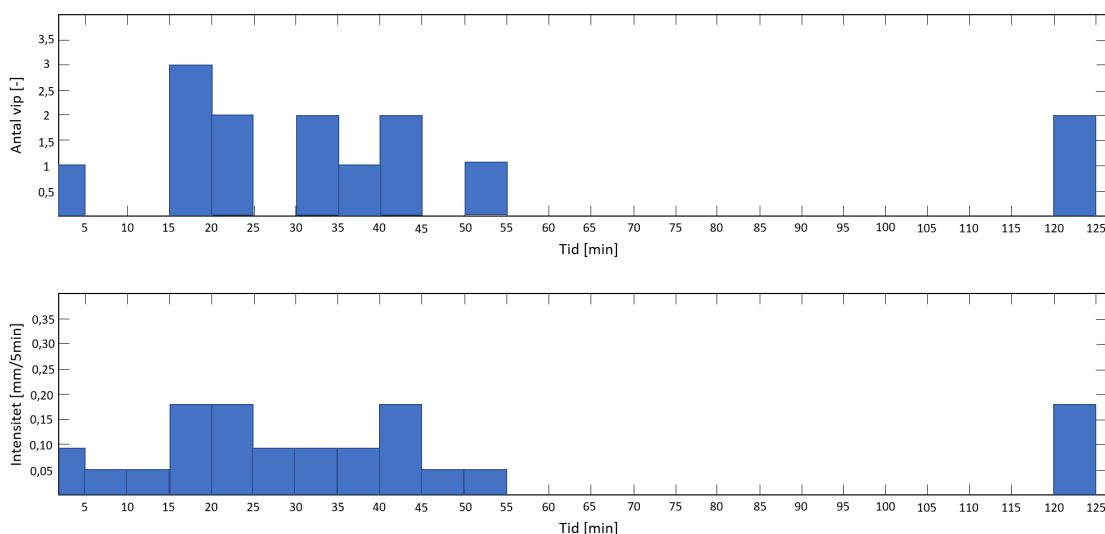
Dette appendiks indeholder figur C.1, hvilken er anvendt til at præsentere DMI klimagrid 10x10 km [Scharling, 2000, Klimagrid 10x10 km]. Der er generelt angivet nummer for hver anden gridcelle. Der forekommer dog tilfælde, hvor der kan være flere gridceller, hvor nummeret ikke er angivet imellem gridceller, hvor nummeret er angivet.



D. Omdannelse af rå regndata til regnserier

Dette appendiks indeholder en beskrivelse af, hvordan rå regndata indehentet med procedurerne præsenteret i kapitel 3 omdannes til regnserier. Det er valgt at tage udgangspunkt i metoden SVK-regnserier er konstrueret ud fra med undtagelse for kravet til antallet af vip, som skal forekomme indenfor én time for at det registreres som en hændelse. Metoden til at konstruere regnserier baseret på rå Netatmo regndata er præsenteret på figur D.1 og beskrevet i det følgende:

- Den første registrerede akkumulering af nedbør tilskrives det første tidsstempel i regnhændelsen.
- Imellem to tidsstempler med registreret nedbør, hvor disse er separeret med mindre end en time, fordeles det første vip ud af eventuelt flere vip, ud i tidsstemplerne imellem, de to tidsstempler der er registreret nedbør i.
- Hvis der er registreret nedbør i to fortløbende tidsstempler, tilskrives alle vip i det sidste af disse tidsstempler dette tidsstempel.
- Hvis der går mere end én time imellem nedbørsregistreringer opdeles det i regnhændelser.



Figur D.1: Princippet bag omdannelse af rå Netatmo regndata til regnserier.

Metoden er anvendt til at konstruere regnserier for alle de fire regnprodukter, som er mulige at hente fra Netatmo serverne.

E. Maksimale 10 min regnintensiteter

Dette appendiks indeholder de maksimale 10 min regnintensiteter, for de 9 udvalgte Netatmo stationer og SVK station 5049, for 39 regnhændelser præsenteret i afsnit 6.4. De maksimale 10 min regnintensiteter er præsenteret i tabel E.1.

Tabel E.1: De højeste regnintensiteter over 10 min baseret på det historiske regndata fra de 9 udvalgte Netatmo stationer og regndata fra SVK station 5049.

Regnhændelse	SVK	Historisk	SVK	Historisk
	[mm/10 min]		[mm/10 min]	
	70_ee_50_1e_04_ce		70_ee_50_03_a5_3e	
11.01.17 04:58:00 - 11.01.17 10:11:00				
15.04.17 07:43:00 - 16.04.17 00:51:00				
06.06.17 18:26:00 - 07.06.17 01:40:00				
09.06.17 13:02:00 - 09.06.17 20:17:00				
29.06.17 03:50:00 - 29.07.17 10:34:00				
20.07.17 16:41:00 - 20.07.17 23:54:00				
23.07.17 08:09:00 - 23.06.17 13:16:00				
03.08.17 08:16:00 - 03.08.17 13:14:00				
15.08.17 18:14:00 - 15.08.17 21:09:00				
17.08.17 14:28:00 - 17.08.17 19:13:00				
06.09.17 12:53:00 - 07.09.17 02:23:00	0,52001	0,03367		
24.10.17 11:51:00 - 24.10.17 21:30:00				
25.10.17 05:02:00 - 25.10.17 12:58:00				
21.11.17 22:43:00 - 22.11.17 07:59:00	0,14000	0,17012		
14.12.17 06:28:00 - 14.12.17 15:07:00	0,05999	0,07113		
01.01.18 03:51:00 - 01.01.18 15:24:00	0,07333	0,08039		
29.01.18 00:48:00 - 29.01.18 07:33:00	0,10001	0,09803		
04.04.18 00:37:00 - 04.04.18 05:56:00	0,17999	0,21669		
30.04.18 11:18:00 - 30.04.18 14:40:00	0,17999	0,27040		
09.08.18 20:51:00 - 09.08.18 23:37:00	0,32000	0,43059	0,32000	0,47791
13.08.18 18:30:00 - 14.08.18 06:48:00	0,26000	0,17620	0,26000	0,14524
19.08.18 07:39:00 - 19.08.18 23:22:00	0,12571	0,23858	0,12571	0,30770
07.09.18 11:25:00 - 07.09.18 16:25:00	0,92000	0,94553	0,92000	0,29002
07.12.18 12:19:00 - 07.12.18 22:23:00	0,07333	0,07982	0,07333	0,07049
21.12.18 12:32:00 - 22.12.18 01:52:00	0,05200	0,06023	0,05200	0,05036
08.02.19 14:59:00 - 09.02.19 03:08:00	0,04572	0,04033		
06.03.19 13:40:00 - 07.03.19 00:56:00	0,05334	0,06040	0,05334	0,02997
16.03.19 15:37:00 - 17.03.19 02:20:00	0,05999	0,06032	0,05999	0,04002

Fortsættes på næste side

Tabel E.1 – Fortsættelse fra forrige side.

Regnhændelse	SVK [mm/10 min]	Historisk	SVK [mm/10 min]	Historisk
27.04.19 05:01:00 - 27.04.19 10:34:00	0,16000	0,12795	0,16000	0,11012
08.05.19 20:18:00 - 09.05.19 08:38:00	0,04400	0,04026	0,04400	0,05029
17.05.19 09:55:00 - 17.05.19 20:12:00	0,09000	0,09857	0,09000	0,09111
07.08.19 13:24:00 - 07.08.19 17:11:00	1,01999	1,31100	1,01999	1,40137
04.09.19 08:56:00 - 04.09.19 16:33:00	0,23999	0,51250	0,23999	0,43907
10.09.19 00:00:00 - 10.09.19 22:44:00	0,14000	0,19125	0,14000	0,16788
13.10.19 15:10:00 - 13.10.19 21:52:00	0,13001	0,15059	0,13001	0,17026
25.10.19 19:41:00 - 26.10.19 06:11:00	0,04799	0,03103	0,04799	0,06046
26.10.19 06:52:00 - 26.10.19 21:59:00	0,04244	0,03944	0,04244	0,03983
03.11.19 05:54:00 - 03.11.19 14:31:00	0,06666	0,09870	0,06666	0,10008
15.12.19 08:25:00 - 15.12.19 14:20:00	0,06499	0,05906	0,06499	0,08047
70_ee_50_16_08_68 70_ee_50_17_ab_e8				
11.01.17 04:58:00 - 11.01.17 10:11:00	0,07200	0,08338	0,07200	0,08040
15.04.17 07:43:00 - 16.04.17 00:51:00	0,04352	0,05924	0,04352	0,03989
06.06.17 18:26:00 - 07.06.17 01:40:00	0,16000	0,25935	0,16000	0,22028
09.06.17 13:02:00 - 09.06.17 20:17:00	0,41000	0,44262	0,41000	0,48352
29.06.17 03:50:00 - 29.07.17 10:34:00	0,20000	0,22035	0,20000	0,17795
20.07.17 16:41:00 - 20.07.17 23:54:00	0,14501	0,14097	0,14501	0,17948
23.07.17 08:09:00 - 23.06.17 13:16:00	0,24001	0,36002	0,24001	0,22982
03.08.17 08:16:00 - 03.08.17 13:14:00	0,26000	0,27976	0,26000	0,24115
15.08.17 18:14:00 - 15.08.17 21:09:00	0,17002	0,22267	0,17002	0,31931
17.08.17 14:28:00 - 17.08.17 19:13:00	0,32000	0,26260	0,32000	0,34765
06.09.17 12:53:00 - 07.09.17 02:23:00	0,52001	0,66499	0,52001	0,72224
24.10.17 11:51:00 - 24.10.17 21:30:00	0,18800	0,15890	0,18800	0,15652
25.10.17 05:02:00 - 25.10.17 12:58:00	0,17999	0,12962	0,17999	0,16064
21.11.17 22:43:00 - 22.11.17 07:59:00	0,14000	0,11960	0,14000	0,11051
14.12.17 06:28:00 - 14.12.17 15:07:00	0,05999	0,05207	0,05999	0,02543
01.01.18 03:51:00 - 01.01.18 15:24:00	0,07333	0,07955	0,07333	0,07056
29.01.18 00:48:00 - 29.01.18 07:33:00	0,10001	0,09953	0,10001	0,10773
04.04.18 00:37:00 - 04.04.18 05:56:00	0,17999	0,16849	0,17999	0,18554
30.04.18 11:18:00 - 30.04.18 14:40:00	0,17999	0,15074	0,17999	0,17956
09.08.18 20:51:00 - 09.08.18 23:37:00	0,32000	0,16954	0,32000	0,29997
13.08.18 18:30:00 - 14.08.18 06:48:00	0,26000	0,06149	0,26000	0,09872
19.08.18 07:39:00 - 19.08.18 23:22:00	0,12571	0,35045	0,12571	0,14571
07.09.18 11:25:00 - 07.09.18 16:25:00	0,92000	0,77492		
07.12.18 12:19:00 - 07.12.18 22:23:00	0,07333	0,06040	0,07333	0,06992
21.12.18 12:32:00 - 22.12.18 01:52:00	0,05200	0,05002	0,05200	0,03981
08.02.19 14:59:00 - 09.02.19 03:08:00	0,04572	0,03978	0,04572	0,04026
06.03.19 13:40:00 - 07.03.19 00:56:00	0,05334	0,04026	0,05334	0,04948
16.03.19 15:37:00 - 17.03.19 02:20:00	0,05999	0,04027	0,05999	0,05978
27.04.19 05:01:00 - 27.04.19 10:34:00	0,16000	0,07152	0,16000	0,10908

Fortsættes på næste side

Tabel E.1 – Fortsættelse fra forrige side.

Regnhændelse	SVK [mm/10 min]	Historisk [mm/10 min]	SVK [mm/10 min]	Historisk [mm/10 min]
08.05.19 20:18:00 - 09.05.19 08:38:00	0,04400	0,04011	0,04400	0,03952
17.05.19 09:55:00 - 17.05.19 20:12:00	0,09000	0,08854	0,09000	0,06858
07.08.19 13:24:00 - 07.08.19 17:11:00	1,01999	0,60803	1,01999	1,09341
04.09.19 08:56:00 - 04.09.19 16:33:00	0,23999	0,14026	0,23999	0,27293
10.09.19 00:00:00 - 10.09.19 22:44:00	0,14000	0,08937	0,14000	0,13071
13.10.19 15:10:00 - 13.10.19 21:52:00	0,13001	0,06040	0,13001	0,13086
25.10.19 19:41:00 - 26.10.19 06:11:00	0,04799	0,03948	0,04799	0,06007
26.10.19 06:52:00 - 26.10.19 21:59:00	0,04244	0,02054	0,04244	0,03023
03.11.19 05:54:00 - 03.11.19 14:31:00	0,06666	0,04099	0,06666	0,07063
15.12.19 08:25:00 - 15.12.19 14:20:00	0,06499	0,03982	0,06499	0,05998
70_ee_50_22_ed_e2		70_ee_50_28_8b_38		
11.01.17 04:58:00 - 11.01.17 10:11:00	0,07200	0,06046		
15.04.17 07:43:00 - 16.04.17 00:51:00	0,04352	0,05916		
06.06.17 18:26:00 - 07.06.17 01:40:00				
09.06.17 13:02:00 - 09.06.17 20:17:00	0,41000	0,45577		
29.06.17 03:50:00 - 29.07.17 10:34:00	0,20000	0,18943		
20.07.17 16:41:00 - 20.07.17 23:54:00	0,14501	0,19169		
23.07.17 08:09:00 - 23.06.17 13:16:00	0,24001	0,27013		
03.08.17 08:16:00 - 03.08.17 13:14:00	0,26000	0,21148		
15.08.17 18:14:00 - 15.08.17 21:09:00	0,17002	0,23597		
17.08.17 14:28:00 - 17.08.17 19:13:00	0,32000	0,34750		
06.09.17 12:53:00 - 07.09.17 02:23:00	0,52001	0,56238		
24.10.17 11:51:00 - 24.10.17 21:30:00	0,18800	0,19223	0,18800	0,16946
25.10.17 05:02:00 - 25.10.17 12:58:00	0,17999	0,17113	0,17999	0,18078
21.11.17 22:43:00 - 22.11.17 07:59:00	0,14000	0,09063	0,14000	0,11950
14.12.17 06:28:00 - 14.12.17 15:07:00	0,05999	0,03427	0,05999	0,04026
01.01.18 03:51:00 - 01.01.18 15:24:00	0,07333	0,10773	0,07333	0,07022
29.01.18 00:48:00 - 29.01.18 07:33:00	0,10001	0,13051	0,10001	0,09978
04.04.18 00:37:00 - 04.04.18 05:56:00	0,17999	0,16019	0,17999	0,19703
30.04.18 11:18:00 - 30.04.18 14:40:00	0,17999	0,20046	0,17999	0,23151
09.08.18 20:51:00 - 09.08.18 23:37:00	0,32000	0,27920	0,32000	0,35411
13.08.18 18:30:00 - 14.08.18 06:48:00	0,26000	0,09059	0,26000	0,11834
19.08.18 07:39:00 - 19.08.18 23:22:00	0,12571	0,22671	0,12571	0,21032
07.09.18 11:25:00 - 07.09.18 16:25:00	0,92000	0,69412	0,92000	0,82039
07.12.18 12:19:00 - 07.12.18 22:23:00	0,07333	0,07031	0,07333	0,07031
21.12.18 12:32:00 - 22.12.18 01:52:00	0,05200	0,04027	0,05200	0,04020
08.02.19 14:59:00 - 09.02.19 03:08:00	0,04572	0,04023	0,04572	0,04027
06.03.19 13:40:00 - 07.03.19 00:56:00	0,05334	0,05036	0,05334	0,05992
16.03.19 15:37:00 - 17.03.19 02:20:00	0,05999	0,05042	0,05999	0,06047
27.04.19 05:01:00 - 27.04.19 10:34:00	0,16000	0,10047	0,16000	0,11770
08.05.19 20:18:00 - 09.05.19 08:38:00	0,04400	0,03516	0,04400	0,02522

Fortsættes på næste side

Tabel E.1 – Fortsættelse fra forrige side.

Regnhændelse	SVK [mm/10 min]	Historisk	SVK [mm/10 min]	Historisk
17.05.19 09:55:00 - 17.05.19 20:12:00	0,09000	0,08004	0,09000	0,07927
07.08.19 13:24:00 - 07.08.19 17:11:00	1,01999	1,22025	1,01999	0,13750
04.09.19 08:56:00 - 04.09.19 16:33:00	0,23999	0,26960	0,23999	0,13746
10.09.19 00:00:00 - 10.09.19 22:44:00	0,14000	0,13659	0,14000	0,08050
13.10.19 15:10:00 - 13.10.19 21:52:00	0,13001	0,13107	0,13001	0,13036
25.10.19 19:41:00 - 26.10.19 06:11:00	0,04799	0,06047	0,04799	0,06906
26.10.19 06:52:00 - 26.10.19 21:59:00	0,04244	0,03027	0,04244	0,04017
03.11.19 05:54:00 - 03.11.19 14:31:00	0,06666	0,08968	0,06666	0,08043
15.12.19 08:25:00 - 15.12.19 14:20:00	0,06499	0,07107	0,06499	0,06991
70_ee_50_28_b7_26		70_ee_50_33_0d_a0		
11.01.17 04:58:00 - 11.01.17 10:11:00				
15.04.17 07:43:00 - 16.04.17 00:51:00				
06.06.17 18:26:00 - 07.06.17 01:40:00				
09.06.17 13:02:00 - 09.06.17 20:17:00				
29.06.17 03:50:00 - 29.07.17 10:34:00				
20.07.17 16:41:00 - 20.07.17 23:54:00				
23.07.17 08:09:00 - 23.06.17 13:16:00				
03.08.17 08:16:00 - 03.08.17 13:14:00	0,26000	0,26742		
15.08.17 18:14:00 - 15.08.17 21:09:00	0,17002	0,23438		
17.08.17 14:28:00 - 17.08.17 19:13:00	0,32000	0,29506		
06.09.17 12:53:00 - 07.09.17 02:23:00	0,52001	0,50842		
24.10.17 11:51:00 - 24.10.17 21:30:00	0,18800	0,16099		
25.10.17 05:02:00 - 25.10.17 12:58:00	0,17999	0,16964		
21.11.17 22:43:00 - 22.11.17 07:59:00	0,14000	0,18707		
14.12.17 06:28:00 - 14.12.17 15:07:00	0,05999	0,06039		
01.01.18 03:51:00 - 01.01.18 15:24:00	0,07333	0,08024		
29.01.18 00:48:00 - 29.01.18 07:33:00	0,10001	0,10021		
04.04.18 00:37:00 - 04.04.18 05:56:00	0,17999	0,17722		
30.04.18 11:18:00 - 30.04.18 14:40:00	0,17999	0,21700		
09.08.18 20:51:00 - 09.08.18 23:37:00	0,32000	0,37178		
13.08.18 18:30:00 - 14.08.18 06:48:00	0,26000	0,13795		
19.08.18 07:39:00 - 19.08.18 23:22:00	0,12571	0,23117		
07.09.18 11:25:00 - 07.09.18 16:25:00	0,92000	0,82949		
07.12.18 12:19:00 - 07.12.18 22:23:00	0,07333	0,07037		
21.12.18 12:32:00 - 22.12.18 01:52:00	0,05200	0,05036		
08.02.19 14:59:00 - 09.02.19 03:08:00			0,04572	0,04033
06.03.19 13:40:00 - 07.03.19 00:56:00	0,05334	0,05036	0,05334	0,05035
16.03.19 15:37:00 - 17.03.19 02:20:00	0,05999	0,05016	0,05999	0,04019
27.04.19 05:01:00 - 27.04.19 10:34:00	0,16000	0,12025	0,16000	0,11977
08.05.19 20:18:00 - 09.05.19 08:38:00	0,04400	0,04025	0,04400	0,04033
17.05.19 09:55:00 - 17.05.19 20:12:00	0,09000	0,08008	0,09000	0,09990

Fortsættes på næste side

Tabel E.1 – Fortsættelse fra forrige side.

Regnhændelse	SVK [mm/10 min]	Historisk [mm/10 min]	SVK [mm/10 min]	Historisk [mm/10 min]
07.08.19 13:24:00 - 07.08.19 17:11:00	1,01999	1,05283	1,01999	1,17820
04.09.19 08:56:00 - 04.09.19 16:33:00	0,23999	0,29203	0,23999	0,49201
10.09.19 00:00:00 - 10.09.19 22:44:00	0,14000	0,13062	0,14000	0,21022
13.10.19 15:10:00 - 13.10.19 21:52:00	0,13001	0,14094	0,13001	0,16918
25.10.19 19:41:00 - 26.10.19 06:11:00			0,04799	0,07015
26.10.19 06:52:00 - 26.10.19 21:59:00	0,04244	0,03932	0,04244	0,05030
03.11.19 05:54:00 - 03.11.19 14:31:00	0,06666	0,06979	0,06666	0,09046
15.12.19 08:25:00 - 15.12.19 14:20:00	0,06499	0,05893	0,06499	0,06019
70_ee_50_36_cd_f2				
11.01.17 04:58:00 - 11.01.17 10:11:00				
15.04.17 07:43:00 - 16.04.17 00:51:00				
06.06.17 18:26:00 - 07.06.17 01:40:00				
09.06.17 13:02:00 - 09.06.17 20:17:00				
29.06.17 03:50:00 - 29.07.17 10:34:00				
20.07.17 16:41:00 - 20.07.17 23:54:00				
23.07.17 08:09:00 - 23.06.17 13:16:00				
03.08.17 08:16:00 - 03.08.17 13:14:00				
15.08.17 18:14:00 - 15.08.17 21:09:00				
17.08.17 14:28:00 - 17.08.17 19:13:00				
06.09.17 12:53:00 - 07.09.17 02:23:00				
24.10.17 11:51:00 - 24.10.17 21:30:00				
25.10.17 05:02:00 - 25.10.17 12:58:00				
21.11.17 22:43:00 - 22.11.17 07:59:00				
14.12.17 06:28:00 - 14.12.17 15:07:00				
01.01.18 03:51:00 - 01.01.18 15:24:00				
29.01.18 00:48:00 - 29.01.18 07:33:00				
04.04.18 00:37:00 - 04.04.18 05:56:00				
30.04.18 11:18:00 - 30.04.18 14:40:00				
09.08.18 20:51:00 - 09.08.18 23:37:00				
13.08.18 18:30:00 - 14.08.18 06:48:00				
19.08.18 07:39:00 - 19.08.18 23:22:00				
07.09.18 11:25:00 - 07.09.18 16:25:00				
07.12.18 12:19:00 - 07.12.18 22:23:00				
21.12.18 12:32:00 - 22.12.18 01:52:00				
08.02.19 14:59:00 - 09.02.19 03:08:00	0,04572	0,07037		
06.03.19 13:40:00 - 07.03.19 00:56:00	0,05334	0,06532		
16.03.19 15:37:00 - 17.03.19 02:20:00	0,05999	0,06762		
27.04.19 05:01:00 - 27.04.19 10:34:00	0,16000	0,02508		
08.05.19 20:18:00 - 09.05.19 08:38:00	0,04400	0,04751		
17.05.19 09:55:00 - 17.05.19 20:12:00	0,09000	0,08220		
07.08.19 13:24:00 - 07.08.19 17:11:00	1,01999	0,63609		

Fortsættes på næste side

Tabel E.1 – Fortsættelse fra forrige side.

Regnhændelse	SVK [mm/10 min]	Historisk [mm/10 min]	SVK [mm/10 min]	Historisk [mm/10 min]
04.09.19 08:56:00 - 04.09.19 16:33:00	0,23999	0,41014		
10.09.19 00:00:00 - 10.09.19 22:44:00	0,14000	0,19085		
13.10.19 15:10:00 - 13.10.19 21:52:00	0,13001	0,13058		
25.10.19 19:41:00 - 26.10.19 06:11:00	0,04799	0,05036		
26.10.19 06:52:00 - 26.10.19 21:59:00	0,04244	0,03795		
03.11.19 05:54:00 - 03.11.19 14:31:00	0,06666	0,08068		
15.12.19 08:25:00 - 15.12.19 14:20:00	0,06499	0,06422		

F. Semi-variogram analyse

Dette appendiks indeholder de generelle udtryk for de fire modeller, som er tilpasset semi-variogrammerne. Derudover indeholder det resultatet af at anvende den bedste parametersammensætning for hver af de fire modeller, som er bestemt på baggrund af Monte Carlo simuleringer. Der er foretaget en entydighedsanalyse ud fra de 20 bedste parametersammensætninger for hver model til de enkelte semi-variogrammer. Disse er i kombination med den opnåede R^2 -værdi for hver model anvendt til at vurdere hvilken model, som er bedst at anvende, og derudover om semi-variogrammerne for de undersøgte tidsskalaer er fordelagtige at anvende. Dette appendiks indeholder ligeledes funktionsudtrykkende, som er anvendt til at beregne afstanden, som stationsdata kan sammenlignes indenfor. Derudover er det undersøgt, hvor stor betydning det har for denne afstand at ekskludere det sidste punkt i semi-variogrammet for forår, da det er vurderet, at denne afviger væsentligt fra de øvrige årstider.

F.1 Generelle udtryk for de anvendte modeller

Det generelle udtryk for den eksponentielle model er præsenteret med formel F.1.

$$\gamma(h) = C_1 + C_2 \cdot (1 - e^{(-\frac{h}{a})}) \quad (\text{F.1})$$

Det generelle udtryk for den gaussiske model er præsenteret med formel F.2.

$$\gamma(h) = C_1 + C_2 \cdot (1 - e^{-(\frac{h}{a})^2}) \quad (\text{F.2})$$

Det generelle udtryk for den lineære model er præsenteret med formel F.3.

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_1 + C_2 \cdot \frac{h}{a} & \text{for } h \leq a \\ C_1 + C_2 & \text{for } h > a \end{cases} \quad (\text{F.3})$$

Det generelle udtryk for den sfæriske model er præsenteret med formel F.4.

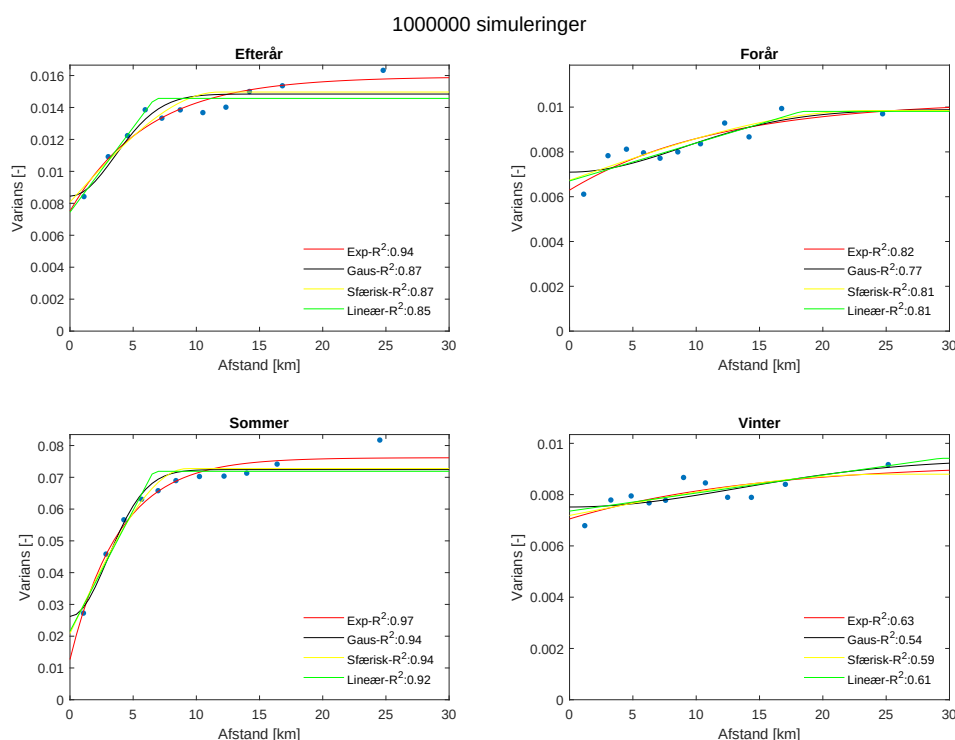
$$\gamma(h) = \begin{cases} C_1 + C_2 \cdot (\frac{3}{2} \cdot \frac{h}{a} - \frac{1}{2} \cdot (\frac{h}{a})^3) & \text{for } h \leq a \\ C_1 + C_2 & \text{for } h > a \end{cases} \quad (\text{F.4})$$

Hvor:

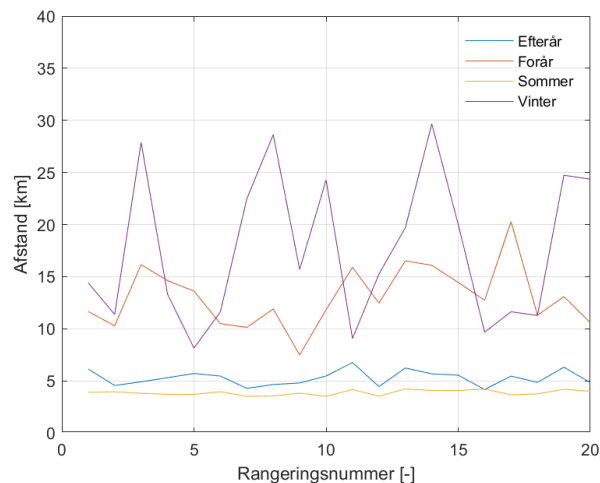
γ	[mm/tidsskala]	Varians
C_1	[mm/tidsskala]	Nugget, er der hvor kurven skærer y-aksen
C_2	[mm/tidsskala]	Sill, er den y-værdi hvor kurven er fladet ud
h	[km]	Afstand
a	[km]	Range, er den afstand hvor stationer kan sammenlignes indenfor

F.2 Tilpasning af modeller og entydighedsanalyse

Det fremgår af figur F.1, at der generelt er opnået høje R^2 -værdier med de fire modeller, som er tilpasset semi-variogrammet baseret på 10 min maksimalværdier med 10 afstandsintervaller. Det er i vinterperioden, at der er opnået afvigende R^2 -værdier. Generelt er der opnået de højeste R^2 -værdier for hver årstid med den eksponentielle model. Der er for alle fire modeltyper ikke opnået entydige resultater, da der er store afvigelser imellem de 20 bedste parameterkombinationer, hvilket er illustreret på figur F.2. Derfor er det vurderet, at semi-variogrammer med 10 afstandsintervaller baseret på 10 min maksimalværdier ikke er egnede til, at estimere afstanden stationsdata kan sammenlignes indenfor.

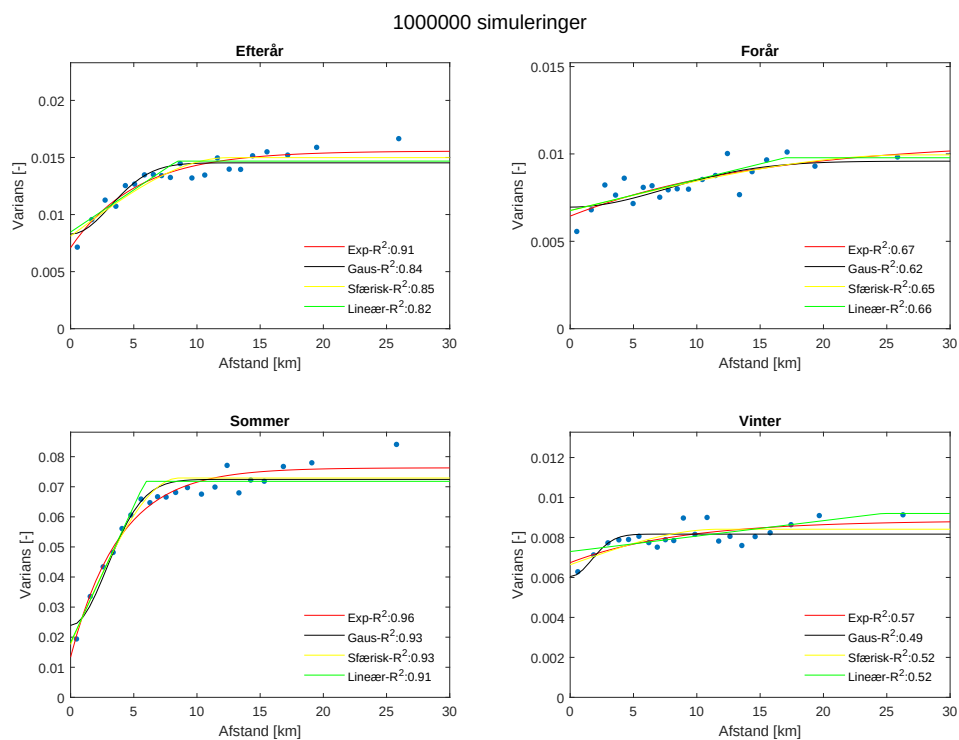


Figur F.1: Tilpassede modeller til semi-variogrammerne for de fire årstider baseret på 10 min maksimalværdier med 10 afstandsintervaller.



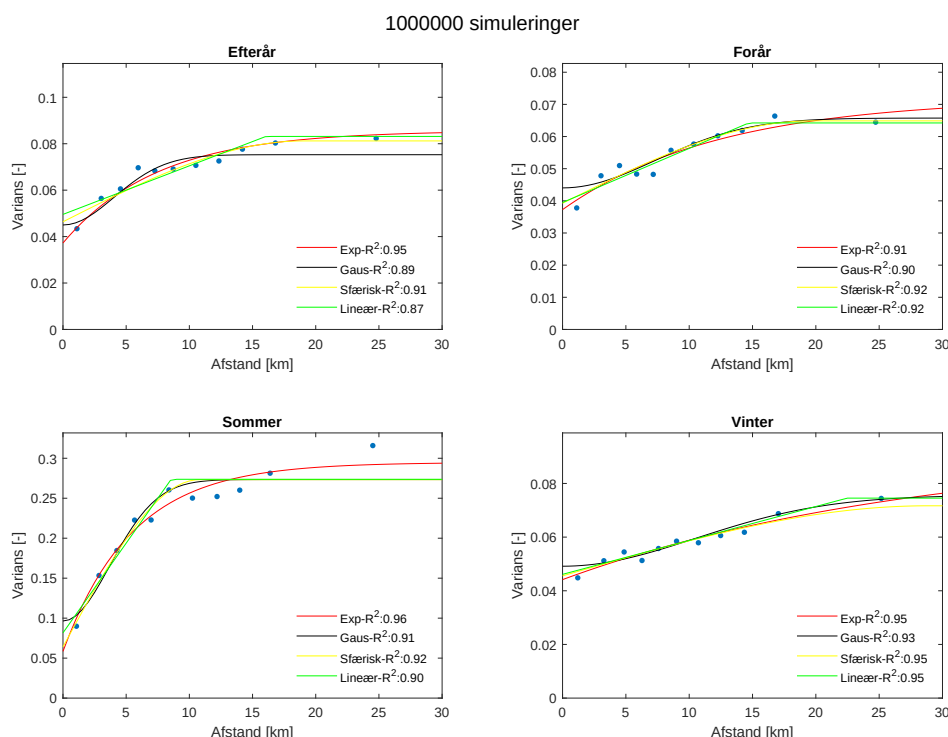
Figur F.2: De 20 bedste parameterkombinationer for den eksponentielle model bestemt med Monte Carlo simuleringer til semi-variogrammerne baseret på 10 min maksimalværdier med 10 afstandsintervaller.

Det fremgår af figur F.3, at der er opnået høje R^2 -værdier i sommer- og efterårsperioden, hvorimod der i vinter- og forårsperioden er opnået lavere R^2 -værdier. Det er ligeledes tilfældet med 20 afstandsintervaller, at der generelt er opnået de højeste R^2 -værdier med den eksponentielle model. Derudover er der ikke opnået entydige resultater, da der forekommer store variationer imellem de 20 bedste parameterkombinationer for modellerne, hvilket er tilsvarende det illustreret på figur F.2. Derfor er det ligeledes vurderet, at semi-variogrammer baseret på 10 min maksimalværdier med 20 afstandsintervaller ikke er egnet til, at estimere afstanden stationsdata kan sammenlignes indenfor.



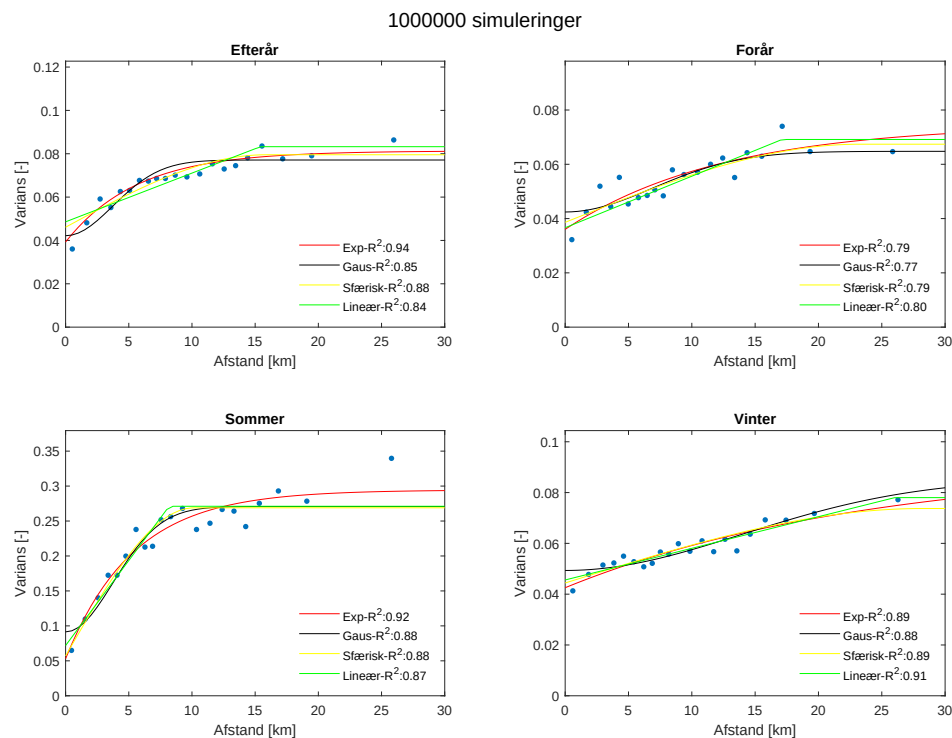
Figur F.3: Tilpassede modeller til semi-variogrammerne for de fire årstider baseret på 10 min maksimalværdier med 20 afstandsintervaller.

Der er generelt opnået høje R^2 for de fire modeller, som er tilpasset semi-variogrammerne for de fire årstider, som har 10 afstandsintervaller og er baseret på 60 min maksimalværdier, hvilket fremgår af figur F.4. Dette er i overensstemmelse med, at der er anvendt en større tidsskala. Generelt er der opnået de højeste R^2 -værdier med den eksponentielle model. Der er ligeledes ikke opnået entydige resultater i tilpasningen til semi-variogrammerne baseret på 60 min maksimalværdier, hvilket er tilsvarende det illustreret på figur F.2. Derfor er det ligeledes vurderet, at semi-variogrammer med 10 afstandsintervaller, og som er baseret på 60 min maksimalværdier ikke er egnet til, at estimere afstanden som stationsdata kan sammenlignes indenfor.



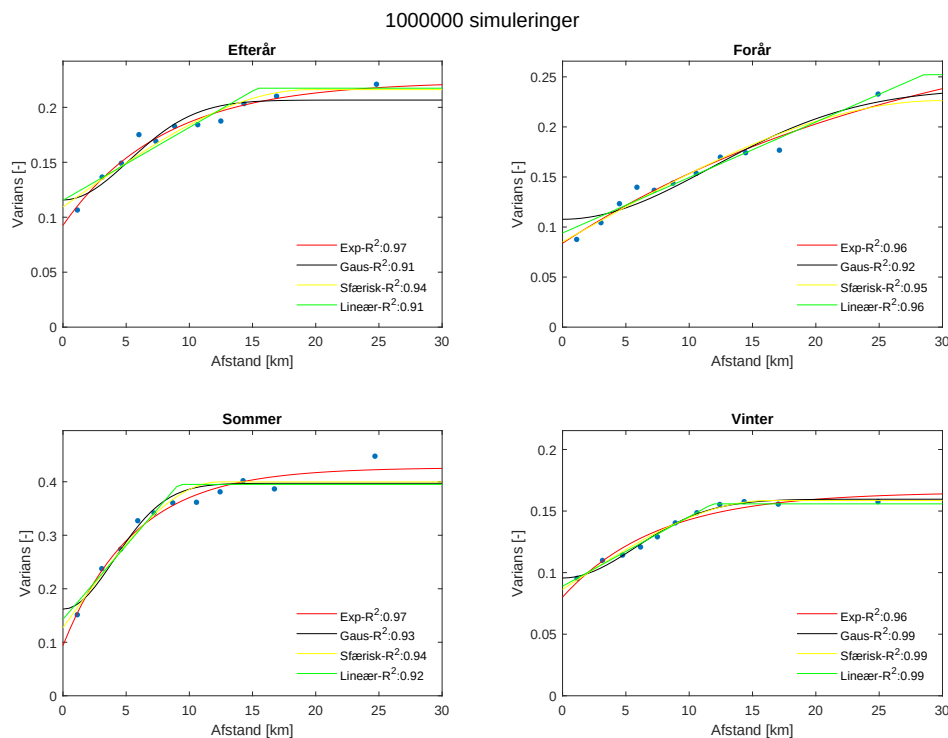
Figur F.4: Tilpassede modeller til semi-variogrammerne for de fire årstider baseret på 60 min maksimalværdier med 10 afstandsintervaller.

Det fremgår af figur F.5, at der er opnået de højeste R^2 -værdier med den eksponentielle model i sommer og efterår, mens de højeste R^2 -værdier i vinter og forår er opnået med den lineære model, når 20 afstandsintervaller anvendes til semi-variogrammer baseret på 60 min maksimalværdier. Der er ligesom for semi-variogrammerne med 10 afstandsintervaller ikke opnået entydige løsninger i tilpasningen af de fire modeller til semi-variogrammerne baseret på 60 min maksimalværdier med 20 afstandsintervaller, hvilket er tilsvarende det illustreret på figur F.2. Derfor er det vurderet, at disse ikke er egnede til, at estimere afstanden som stationsdata kan sammenlignes indenfor.

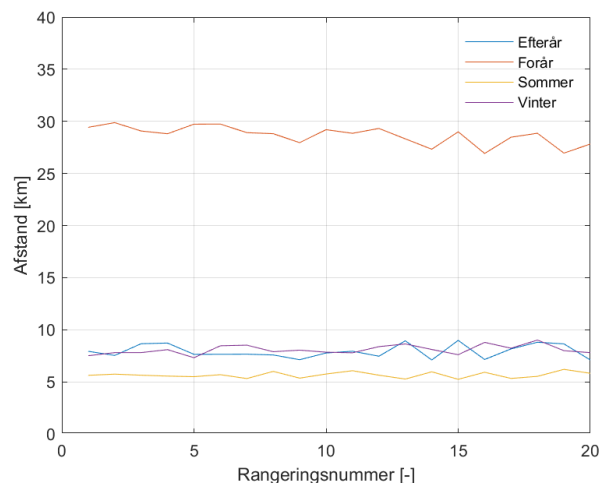


Figur F.5: Tilpassede modeller til semi-variogrammerne for de fire årstider baseret på 60 min maksimalværdier med 20 afstandsintervaller.

Det fremgår af figur F.6, at der generelt er opnået høje R^2 -værdier for alle fire modeltyper. Den eksponentielle model giver den højeste R^2 -værdi i sommer og efterår. Derudover giver den eksponentielle og den lineære model begge den højeste værdi i forårsperioden. I vinterperioden har den lineære model givet det bedste resultat ud fra en betragtning af R^2 -værdien. Der er generelt opnået entydige løsninger, hvilket er vurderet ud fra en betragtning af de 20 bedste parameterkombinationer bestemt med Monte Carlo simuleringer, hvilket er illustreret med de 20 bedste parameterkombinationer for den eksponentielle model på figur F.7. Det fremgår ligeledes, at forår generelt afviger væsentligt fra de øvrige årstider, hvilket sandsynligvis skyldes det sidste punkt i semi-variogrammet for forår, som afviger væsentligt i varians i sammenligning med de øvrige punkter. Derfor er det i afsnit F.4 undersøgt, hvad betydning det har, for afstanden stationsdata kan sammenlignes indenfor, at ekskluderer det sidste punkt, når modellerne skal tilpasses variogrammet. Det fremgår ligeledes af figurene, at afstanden som stationsdata kan sammenlignes indenfor, for de fire årstider, varierer imellem de anvendte modeller. Derfor er det ikke vurderet hensigtsmæssigt at anvende forskellige modeller til de fire årstider. Den eksponentielle model gav generelt den bedste R^2 -værdi, og afvigelsen fra det lineære modelresultat i vinterperioden var begrænset, hvorfor den eksponentielle model er vurderet egnet til, at estimere afstanden stationsdata kan sammenlignes indenfor. Derudover er det vurderet som det sikre valg at anvende den eksponentielle model, da denne estimerer, den korteste afstand stationsdata kan sammenlignes indenfor, hvormed det er vurderet, at der er større sikkerhed for, at stationsdata korrelerer.

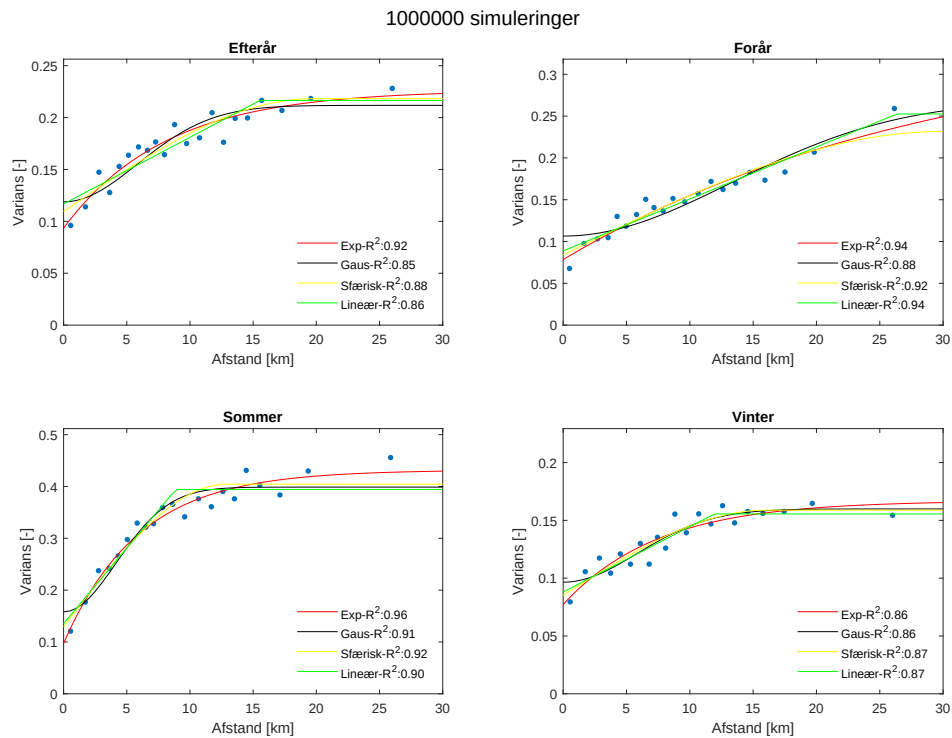


Figur F.6: Tilpassede modeller til semi-variogrammerne for de fire årstider baseret på døgnsommer med 10 afstandsintervaller.



Figur F.7: De 20 bedste parameterkombinationer for den eksponentielle model bestemt med Monte Carlo simuleringer til semi-variogrammerne baseret på døgnsommer med 10 afstandsintervaller.

Semi-variogrammerne som er baseret på døgnsommer med 20 afstandsintervaller, hvilke er præsenteret på figur F.8, er sammenlignelige med semi-variogrammerne baseret på døgnsommer med 10 afstandsintervaller. Der er ligeledes opnået entydige resultater, hvilket er tilsvarende det illustreret på figur F.7. Derfor er det vurderet, at den eksponentielle model tilpasset til semivariogrammerne med 10 afstandsintervaller er bedre egnet til, at estimerer afstanden stationsdata kan sammenlignes indenfor i sammenligning med at anvende 20 afstandsintervaller, da 10 afstandsintervaller indeholder flere datapunkter.



Figur F.8: Tilpassede modeller til semi-variogrammerne for de fire årstider baseret på døgnsummer med 20 afstandsintervaller.

F.3 Funktionsudtryk for valgte semi-variogrammer

Udtrykket for den eksponentielle model som er tilpasset semi-variogrammet for forårsperioden, hvilken er baseret på døgnsummer, og som er inddelt i 10 afstandsintervaller, er præsenteret med formel F.5.

$$\gamma(h) = 0,08 + 0,33 \cdot \left(1 - e^{\left(-\frac{h}{29,4}\right)}\right) \quad (\text{F.5})$$

Udtrykket for den eksponentielle model som er tilpasset semi-variogrammet for sommerperioden, hvilken er baseret på døgnsummer, og som er inddelt i 10 afstandsintervaller, er præsenteret med formel F.6.

$$\gamma(h) = 0,09 + 0,43 \cdot \left(1 - e^{\left(-\frac{h}{5,62}\right)}\right) \quad (\text{F.6})$$

Udtrykket for den eksponentielle model som er tilpasset semi-variogrammet for efterårsperioden, hvilken er baseret på døgnsummer, og som er inddelt i 10 afstandsintervaller, er præsenteret med formel F.7.

$$\gamma(h) = 0,09 + 0,22 \cdot \left(1 - e^{\left(-\frac{h}{7,93}\right)}\right) \quad (\text{F.7})$$

Udtrykket for den eksponentielle model som er tilpasset semi-variogrammet for vinterperioden, hvilken er baseret på døgnsummer, og som er inddelt i 10 afstandsintervaller, er præsenteret med formel F.8.

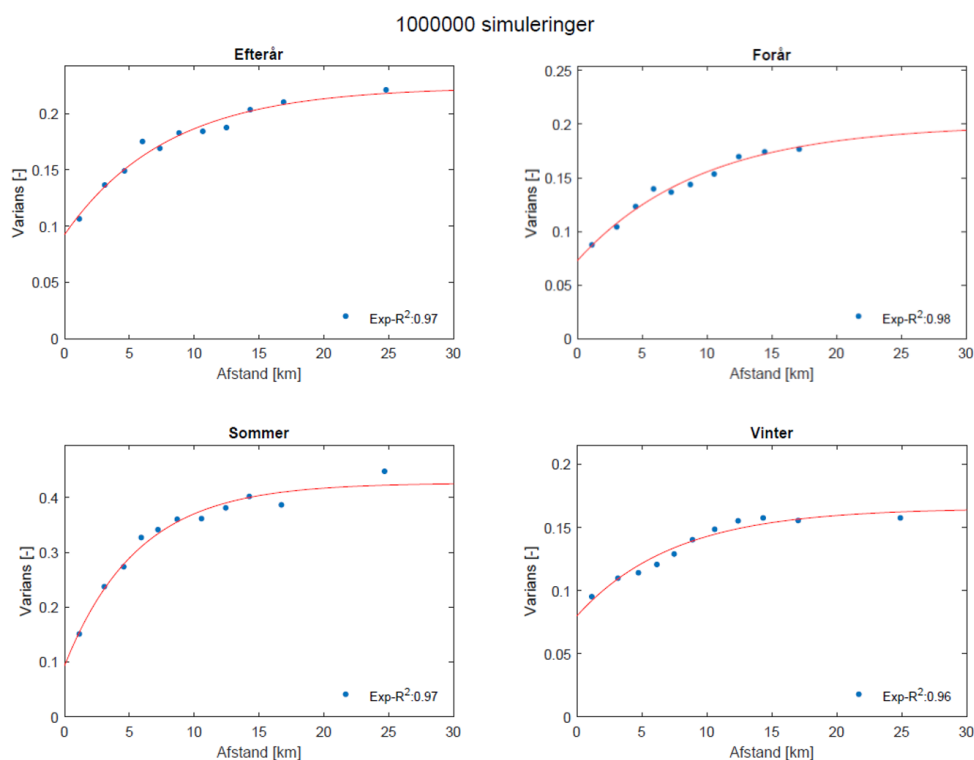
$$\gamma(h) = 0,08 + 0,17 \cdot (1 - e^{-\frac{h}{7,50}}) \quad (\text{F.8})$$

F.4 Videre undersøgelse af beregnet afstand i forårsperioden

Det tilpassede udtryk for den eksponentielle model til forårsperioden, hvor det sidste punkt i semi-variogrammet er ekskluderet, er præsenteret med formel F.9.

$$\gamma(h) = 0,07 + 0,12 \cdot (1 - e^{-\frac{h}{9,48}}) \quad (\text{F.9})$$

Den manuelle justering af tilpasningen af den eksponentielle model til forårsperioden er præsenteret på figur F.9 sammen med de tilpassede eksponentielle modeller til de øvrige årstider.



Figur F.9: Den eksponentielle model tilpasset til semi-variogrammerne baseret på 24t tidsskalaen med 10 afstandsintervaller for de fire årstider. Forårsperioden er manuelt justeret.

Det fremgår af formel F.9, at den afstand som stationsdata kan sammenlignes indenfor er reduceret fra 29 km til 9,5 km.

G. Analyse af trends over en længere periode

Dette appendiks indeholder den procentuelle andel lange tidsstempler udgør af den enkelte Netatmo stations totale dataperiode. Derudover indeholder dette appendiks antallet af stationsdage, hvor time maksimalværdierne på døgnbasis for de enkelte stationer overskrider henholdsvis 34,6 og 150 mm/t. Disse tre parametre er præsenteret i tabel G.1.

Tabel G.1: Dette appendiks indeholder den procentuelle andel lange tidsstempler udgør af den enkelte Netatmo stations totale dataperiode. Derudover er antallet af stationsdage, hvor time maksimalværdierne på døgnbasis for de enkelte stationer overskrider henholdsvis 34,6 og 150 mm/t angivet.

Station	Andel af lange tidsstempler i dataperiode [%]	Antal gange over 34,6 mm/t [-]	Antal gange over 150 mm/t [-]
70_ee_50_00_52_e8	0.99	0	0
70_ee_50_00_da_e6	1.63	0	0
70_ee_50_00_f5_cc	3.15	1	0
70_ee_50_01_1d_86	11.37	0	0
70_ee_50_01_92_c6	3.08	0	0
70_ee_50_02_3c_66	9.99	0	0
70_ee_50_02_93_54	20.85	0	0
70_ee_50_02_f2_0c	8.82	1	0
70_ee_50_03_5c_c8	0.97	0	0
70_ee_50_03_6b_dc	8.20	0	0
70_ee_50_03_a5_3e	12.30	0	0
70_ee_50_04_eb_a0	2.49	0	0
70_ee_50_05_89_b4	6.01	0	0
70_ee_50_05_fc_a8	6.94	0	0
70_ee_50_05_fd_4e	1.08	0	0
70_ee_50_05_ff_be	5.02	0	0
70_ee_50_12_7c_38	6.20	0	0
70_ee_50_12_d2_76	6.67	0	0
70_ee_50_13_00_52	0.27	0	0
70_ee_50_16_08_68	0.76	0	0
70_ee_50_17_8b_ac	4.47	0	0
70_ee_50_17_ab_e8	3.85	0	0
70_ee_50_19_2f_2e	0.58	0	0
70_ee_50_19_31_d6	1.34	0	0
70_ee_50_19_a4_64	1.11	0	0
70_ee_50_19_ca_1e	5.70	0	0

Fortsættes på næste side

Tabel G.1 – Fortsættelse fra forrige side.

Station	Andel af lange tidsstempler i dataperiode [%]	Antal gange over 34,6 mm/t [-]	Antal gange over 150 mm/t [-]
70_ee_50_1b_33_22	1.18	1	0
70_ee_50_1b_3a_d0	0.28	0	0
70_ee_50_1c_61_80	6.12	0	0
70_ee_50_1c_73_0e	1.27	0	0
70_ee_50_1c_76_24	4.48	0	0
70_ee_50_1c_76_9c	4.13	0	0
70_ee_50_1c_79_c2	4.46	0	0
70_ee_50_1e_04_ce	11.59	0	0
70_ee_50_1e_13_e2	3.34	1	0
70_ee_50_21_1a_64	0.78	0	0
70_ee_50_22_ed_e2	1.75	0	0
70_ee_50_22_ee_2a	2.49	0	0
70_ee_50_27_35_9a	4.21	0	0
70_ee_50_27_3a_f0	0.24	0	0
70_ee_50_27_3d_46	7.38	0	0
70_ee_50_27_4a_3e	0.74	0	0
70_ee_50_27_8a_2e	11.98	0	0
70_ee_50_27_8a_b0	5.89	0	0
70_ee_50_27_95_ec	6.60	0	0
70_ee_50_28_8b_38	3.22	0	0
70_ee_50_28_b6_b8	15.15	0	0
70_ee_50_28_b7_26	10.19	0	0
70_ee_50_28_bf_fe	7.20	0	0
70_ee_50_28_c7_6a	29.39	1	1
70_ee_50_28_c8_14	13.06	1	0
70_ee_50_29_0f_aa	5.94	0	0
70_ee_50_29_37_12	1.35	0	0
70_ee_50_29_46_f0	4.35	0	0
70_ee_50_29_4f_fe	6.18	0	0
70_ee_50_2b_08_70	12.62	0	0
70_ee_50_2b_2c_b0	0.44	0	0
70_ee_50_2b_59_ca	2.04	0	0
70_ee_50_2b_69_0a	7.82	0	0
70_ee_50_2b_6e_ac	4.64	0	0
70_ee_50_2c_73_f6	1.04	1	0
70_ee_50_2c_8f_88	14.82	0	0
70_ee_50_2c_90_10	41.96	0	0
70_ee_50_2c_9e_be	0.25	1	0
70_ee_50_2c_a2_14	5.02	0	0
70_ee_50_2c_cb_30	0.81	0	0

Fortsættes på næste side

Tabel G.1 – Fortsættelse fra forrige side.

Station	Andel af lange tidsstempler i dataperiode [%]	Antal gange over 34,6 mm/t [-]	Antal gange over 150 mm/t [-]
70_ee_50_2c_d3_c0	4.12	0	0
70_ee_50_2c_e1_bc	0.04	0	0
70_ee_50_2c_ff_3a	19.50	0	0
70_ee_50_2e_a6_24	2.18	0	0
70_ee_50_2e_bc_58	63.29	1	0
70_ee_50_2e_bf_2e	2.20	0	0
70_ee_50_2e_c2_b8	14.30	0	0
70_ee_50_2e_e9_38	1.98	0	0
70_ee_50_2e_ec_2e	23.60	1	0
70_ee_50_2e_f7_24	0.74	1	0
70_ee_50_2f_00_1e	1.01	0	0
70_ee_50_2f_02_08	1.14	1	0
70_ee_50_2f_0b_44	1.86	1	0
70_ee_50_2f_28_06	7.84	0	0
70_ee_50_2f_28_c8	22.51	0	0
70_ee_50_32_b7_b8	10.03	0	0
70_ee_50_32_bb_40	4.44	0	0
70_ee_50_32_cb_ce	2.31	0	0
70_ee_50_32_cc_f6	0.46	0	0
70_ee_50_32_de_0e	1.48	0	0
70_ee_50_32_e1_1e	0.89	0	0
70_ee_50_32_ec_56	19.40	0	0
70_ee_50_32_f9_ce	2.33	0	0
70_ee_50_33_0d_a0	1.72	0	0
70_ee_50_33_1c_12	1.40	0	0
70_ee_50_36_9d_5a	3.92	0	0
70_ee_50_36_a3_74	4.73	0	0
70_ee_50_36_a6_00	9.97	0	0
70_ee_50_36_a8_4c	0.35	0	0
70_ee_50_36_e3_b2	0.48	0	0
70_ee_50_36_f0_90	30.20	1	0
70_ee_50_36_f2_40	3.30	0	0
70_ee_50_37_00_fa	6.79	0	0
70_ee_50_37_01_08	0.17	0	0
70_ee_50_37_0d_3c	2.16	0	0
70_ee_50_39_f7_ec	1.59	4	0
70_ee_50_39_fd_e0	9.49	1	0
70_ee_50_3a_03_f0	7.70	0	0
70_ee_50_3a_09_d4	1.15	0	0
70_ee_50_3a_0e_04	11.39	0	0

Fortsættes på næste side

Tabel G.1 – Fortsættelse fra forrige side.

Station	Andel af lange tidsstempler i dataperiode [%]	Antal gange over 34,6 mm/t [-]	Antal gange over 150 mm/t [-]
70_ee_50_3a_0e_8a	42.44	3	1
70_ee_50_3a_21_b4	3.13	0	0
70_ee_50_3a_32_f2	1.55	0	0
70_ee_50_3a_46_5c	95.03	0	0
70_ee_50_3b_ef_a2	0.03	0	0
70_ee_50_3b_f4_f6	20.58	1	0
70_ee_50_3b_f5_94	17.93	0	0
70_ee_50_3b_f6_7e	17.08	1	0
70_ee_50_3b_fd_10	12.75	0	0
70_ee_50_3c_1b_80	28.39	1	1
70_ee_50_3c_21_dc	11.63	0	0
70_ee_50_3d_28_fc	17.77	0	0
70_ee_50_3e_f0_18	0.05	0	0
70_ee_50_3e_f1_f4	1.51	0	0
70_ee_50_3f_09_a2	33.65	0	0
70_ee_50_3f_19_b4	15.79	0	0
70_ee_50_3f_1b_64	0.03	0	0
70_ee_50_3f_24_c6	0.46	0	0
70_ee_50_3f_34_da	5.76	1	0
70_ee_50_3f_34_e4	0.51	0	0
70_ee_50_3f_53_0c	0.09	0	0
70_ee_50_3f_60_00	0.03	0	0
70_ee_50_52_d6_3c	4.90	0	0
70_ee_50_52_f7_b6	1.51	0	0
70_ee_50_52_fe_1c	44.00	0	0
70_ee_50_53_3a_b8	0.50	0	0
70_ee_50_53_45_f4	0.67	0	0
70_ee_50_58_6b_26	6.64	0	0
70_ee_50_58_6b_5c	2.11	0	0
70_ee_50_58_71_a8	13.41	0	0
70_ee_50_58_73_60	9.87	0	0
70_ee_50_58_76_fc	0.01	0	0
70_ee_50_58_ca_e2	0.19	0	0
70_ee_50_58_da_72	1.85	0	0
70_ee_50_58_dd_52	0.00	0	0

H. Følsomhedsanalyse til valg af grænseværdi

Dette appendiks indeholder en følsomhedsanalyse, som har til formål at bestemme effekten af at ændre grænsen for, hvor meget regndata fra den enkelte station må afvige fra median værdier beregnet med regndata fra omkringliggende stationer. De omkringliggende stationer er udvalgt på baggrund af, at disse skal være placeret indenfor 'Range' fra den enkelte station. På baggrund af effekten af at ændre denne grænse er der valgt en grænseværdi for den procentuelle afvigelse fra median værdier, som er anvendt i døgn kvalitetssikringsproceduren.

Til følsomhedsanalysen er der anvendt data fra stationer, som er udvalgt på baggrund af den procentuelle afvigelse fra median døgnsummen baseret på de omkringliggende stationer. Stationer, hvor døgnsummen afviger mindre end den testede grænse, er udvalgt. For hver udvalgt station er der i kombination med andre udvalgte stationer 'Range' konstrueret afstandsvægtede regnserier. Metoden anvendt til at konstruere de afstandsvægtede serier er præsenteret i formel 8.1. Gennemsnitsværdierne er bestemt på tidsstempelbasis, hvilke er 5 min.

I følsomhedsanalysen er det undersøgt, hvad effekten er af at anvende stationer, hvor døgnsummen afviger henholdsvis $\pm 10\%$, $\pm 20\%$, $\pm 50\%$ og $\pm 100\%$ fra median døgnsummen til de afstandsvægtede regnserier. Effekten er vurderet ud fra, hvor meget 10 og 60 min maksimalværdierne på døgnbasis samt døgnsummen afviger fra den nærmeste SVK station. Det er varierende, hvor lange dataperioderne for de enkelte stationer er, hvilket blev præsenteret på figur 7.3.

For den enkelte udvalgte station er antallet af omkringliggende udvalgte stationer indenfor 'Range' varierende. Dermed er det varierende hvor mange stationer, som er anvendt til at konstruere den afstandsvægtede regnserie, som skal sammenlignes med den nærmeste SVK station. Det er forventet, at der er større procentuelle afvigelser fra SVK regnserien i de tilfælde, hvor få udvalgte stationer er anvendt til at beregne den afstandsvægtede regnserie. Derfor er følsomhedsanalysen opdelt i to betragtninger, hvor den ene er for de tilfælde, hvor < 5 stationer er anvendt til den afstandsvægtede regnserie, og den anden er tilsvarende blot med ≥ 5 stationer. Der er færre stationsdage med < 5 stationer, og derfor vil der være forskel i antal af datapunkter i de resulterende histogrammer. Derfor er der opstillet intervaller for den procentuelle afvigelse fra den nærmeste SVK station. Derefter er det beregnet hvor stor en andel af den samlede datamængde for den enkelte afstandsvægtede regnserie, som har haft afvigelser fra den nærmeste SVK station indenfor de forskellige intervaller. Dette er benyttet til at vurdere effekten for afvigelserne mellem den afstandsvægtede regnserie og den nærmeste SVK station, når grænseværdierne for, hvor meget den enkelte station må afvige fra medianen baseret på de omkringliggende stationer, ændres. Det er forventet, at en grænseværdi på $\pm 10\%$ giver det bedste resultat i forhold til den procentuelle afvigelse fra SVK regndata, da det er det mest skærpede krav til Netatmo regndataene.

Følsomhedsanalysen er opdelt således, at der er foretaget en analyse, hvor ≥ 5 stationer danner grundlaget for de enkelte gennemsnitlige regnserier og en analyse, hvor < 5 stationer anvendes til de enkelte gennemsnitlige regnserier. Dette er valgt for at undersøge potentielle problemstillinger i forhold til at opnå god overensstemmelse mellem de gennemsnitlige regnserier baseret på få stationer og den nærmeste SVK station. Følsomhedsanalysen er foretaget for 10 udvalgte dage for henholdsvis vinter- og sommerperioden. Der er udvalgt dage fra 2019, hvor regnhændelserne har haft længst mulig varighed. Dette giver sandsynligvis anledning til, at korte højintense regnhændelser i sommerperioden ikke er inkluderet i analysen. I vinterperioden er dagene yderligere udvalgt således, at det ikke har sneet, eller at temperaturen ikke var $< 3^{\circ}\text{C}$.

Det kan forekomme, at der ikke er nogle af de omkringliggende stationer, som kan valideres med den testede grænseværdi, hvilket kan skyldes, at der forekommer større spredning indenfor 'Range' fra den station, der tages udgangspunkt i. Dette er særligt tilfældet for analyserne med grænseværdierne på $\pm 10\%$ og $\pm 20\%$ i afvigelse fra median døgnsommen. Er det tilfældet, at ingen stationer har afvigelser indenfor den testede grænseværdi, inddeles stationerne i en øvre og nedre gruppering, som indeholder stationer med døgnsomme, som afviger mere end den testede grænseværdi fra median døgnsommen. Stationer med døgnsomme, som har en procentuel afvigelse svarende til den testede grænseværdi fra medianen i henholdsvis den øvre og nedre gruppering, anvendes til at konstruere en øvre og nedre gennemsnitlig Netatmo regnserie.

Udvælgelsen af stationer, som anvendes til at konstruere de afstandsvægtede regnserier, er baseret på den procentuelle afvigelse fra median døgnsommen, som er beregnet på baggrund af data fra de omkringliggende stationer. Derfor er det forventet, at der i følsomhedsanalysen vil forekomme større procentuelle afvigelser imellem 10 og 60 min maksimalværdierne for den gennemsnitlige regnserie og den nærmeste SVK station i forhold til at sammenligne døgnsomme.

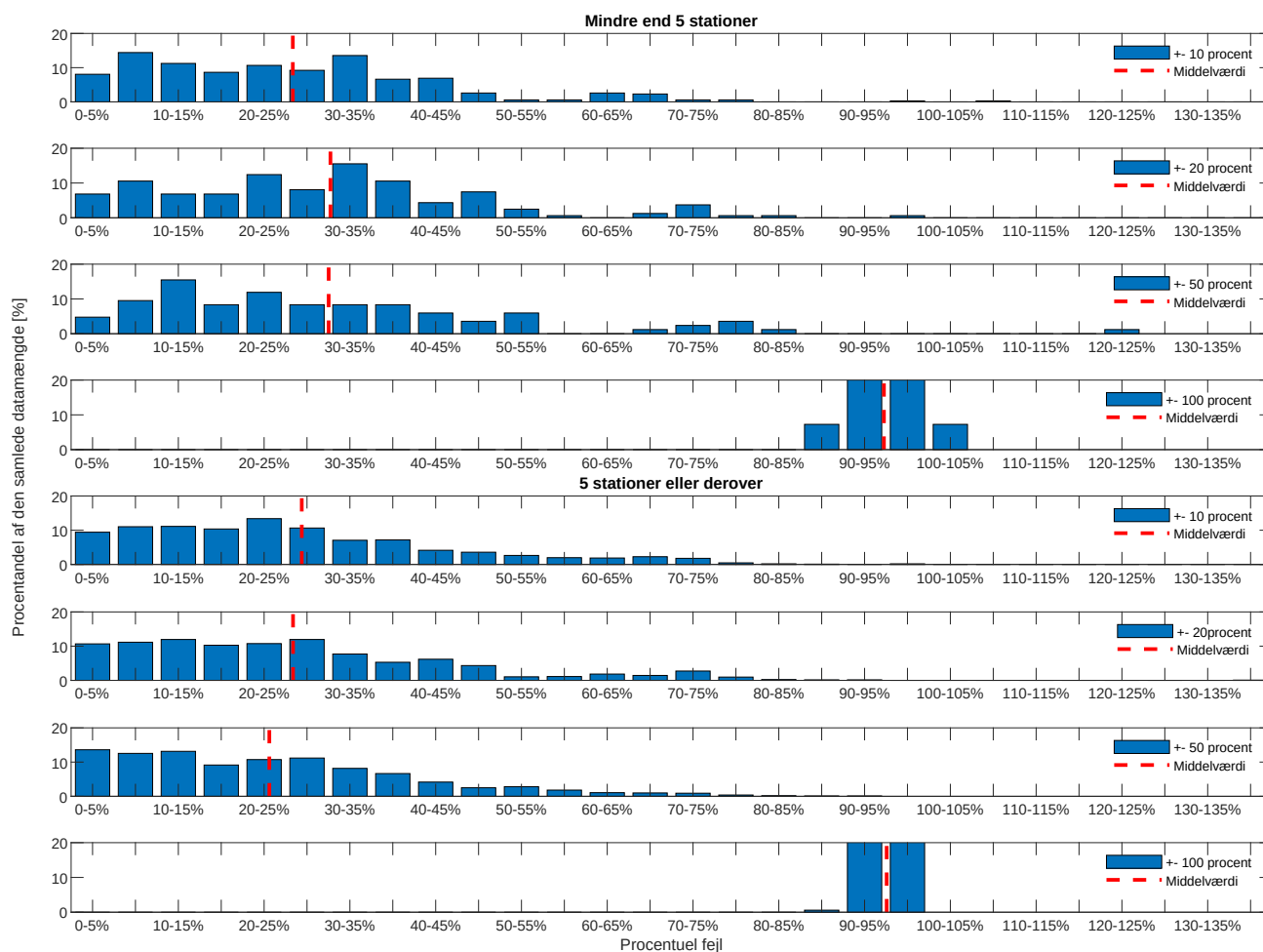
Da der anvendes gennemsnitlige regnserier, er det forventet, at regnhændelser vil forekomme længere, da gennemsnit for hvert tidsstempel anvendes. Derudover er det forventet, at der ikke vil være stor overensstemmelse mellem peak-værdierne i den gennemsnitlige regnserie og peak-værdierne i den nærmeste SVK regnserie. Ydermere er det forventet, at der vil forekomme perioder, hvor der ikke er registreret regn ved den nærmeste SVK station grundet forskelle i vippekarstørrelse, og måden hvormed SVK regndata registreres. Dette er forventet at være særligt udpræget for lavintense regnhændelse, da der vil være længere imellem vip i SVK regnserien.

Resultaterne for følsomhedsanalysen er præsenteret på figur H.1, H.2, H.3, H.4, H.5 og H.6. Figurerne indeholder resultater for i hvor stor en andel af den totale datamængde, den procentuelle afvigelse fra SVK regndataene har været indenfor forskellige intervaller.

Resultatet af følsomhedsanalysen for parameteren 10 min maksimalværdien i vinterperioden er præsenteret på figur H.1. Det fremgår af figur H.1, at der ikke er nogen udpræget ændring ved at vælge $\pm 10\%$, $\pm 20\%$ eller $\pm 50\%$ for analyserne, hvor henholdsvis < 5 Netatmo stationer og ≥ 5 Netatmo stationer er anvendt til at beregne den gennemsnitlige regnserie. Dette er vurderet på baggrund af at den gennemsnitlige afvigelse fra 10 min maksimalværdien fra den nærmeste SVK station ikke ændre sig væsentligt med ændringen af grænseværdier. Dog er der en væsentlig ændring ved at anvende en grænseværdi på $\pm 100\%$, hvor den gennemsnitlige afvigelse fra SVK regndataene er væsentligt forøget i sammenligning med afvigelserne ved de øvrige testede grænseværdier.

Årsagen til at afvigelsen øges væsentligt ved at anvende stationer, hvor døgnsummen afviger $\pm 100\%$ fra median døgnsummen, kan være, at stationer med falske nul-værdier inkluderes i beregningen af de gennemsnitlige regnserier.

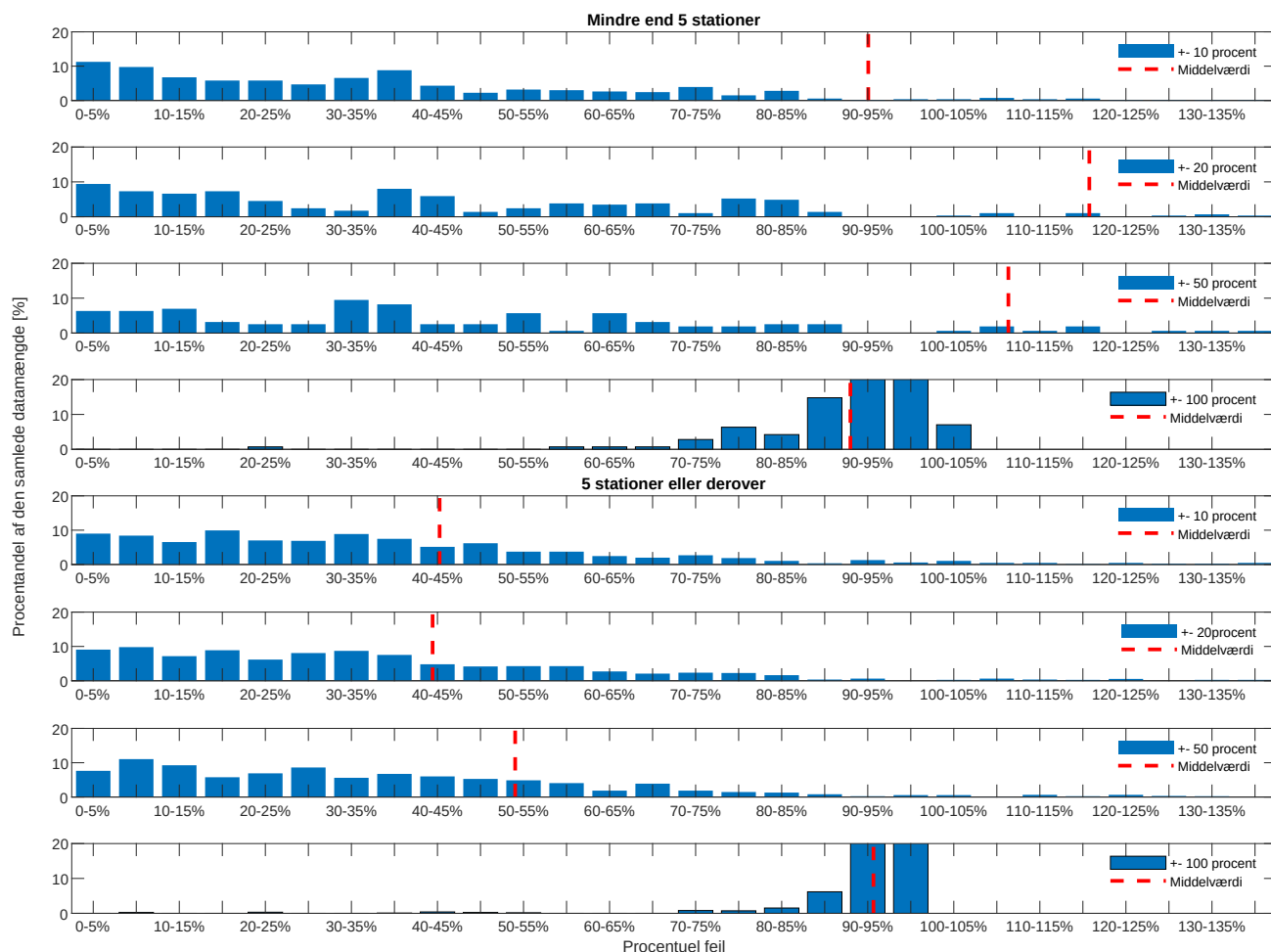
Af figur H.1 fremgår det, at den gennemsnitlige afvigelse fra den nærmeste SVK station forøges for analysen med < 5 Netatmo stationer med en større grænseværdi. Modsat reduceres den gennemsnitlige afvigelse fra den nærmeste SVK station med en forøgelse af grænseværdien i analysen med ≥ 5 Netatmo stationer. Dette skyldes formodentligt, at når den gennemsnitlige regnserie konstrueres ud fra færre stationer, kan outliers få større betydning, og derfor kan det være nødvendigt med et mere skærpet krav til regndataene, som indkluderes eller acceptere større usikkerheder ved valideringen af stationerne.



Figur H.1: Andelen af den totale datamængde hvor den procentuelle afvigelse mellem 10 min maksimalværdierne for den gennemsnitlige regnserie og den nærmeste SVK station i vinterperioden. Resultatet af analysen for < 5 Netatmo stationer og ≥ 5 Netatmo stationer er ligeledes præsenteret.

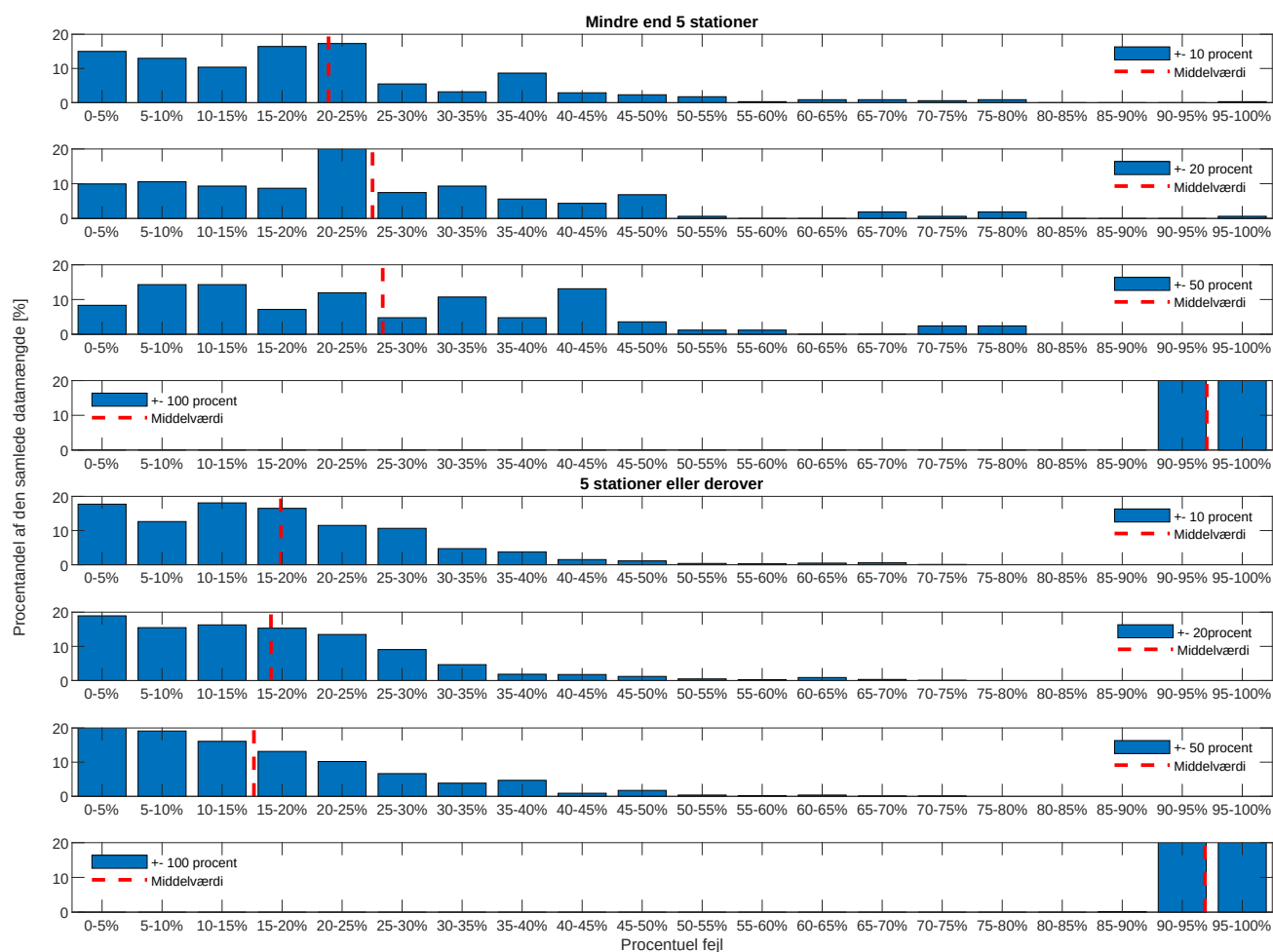
Resultatet af følsomhedsanalysen for parameteren 10 min maksimalværdien i sommerperioden er præsenteret på figur H.2. I sommerperioden er effekten af at ændre grænseværdierne mere udpræget, da der er større forskel mellem de gennemsnitlige afvigelser fra SVK regndata. Det fremgår for analysen med ≥ 5 Netatmo stationer, at den gennemsnitlige afvigelse fra den nærmeste SVK station forøges med en større grænseværdi.

Dette indikerer, at der i sommerperioden kan være behov for at skærpe kravene i forhold til at validere regndata. Årsagen til at de væsentligt forhøjede gennemsnitlige afvigelser fra SVK regndata samt væsentligt varierende resultater for analysen med < 5 Netatmo stationer er vurderet at være outliers, hvilket områder med få stationer er særligt følsomme overfor.



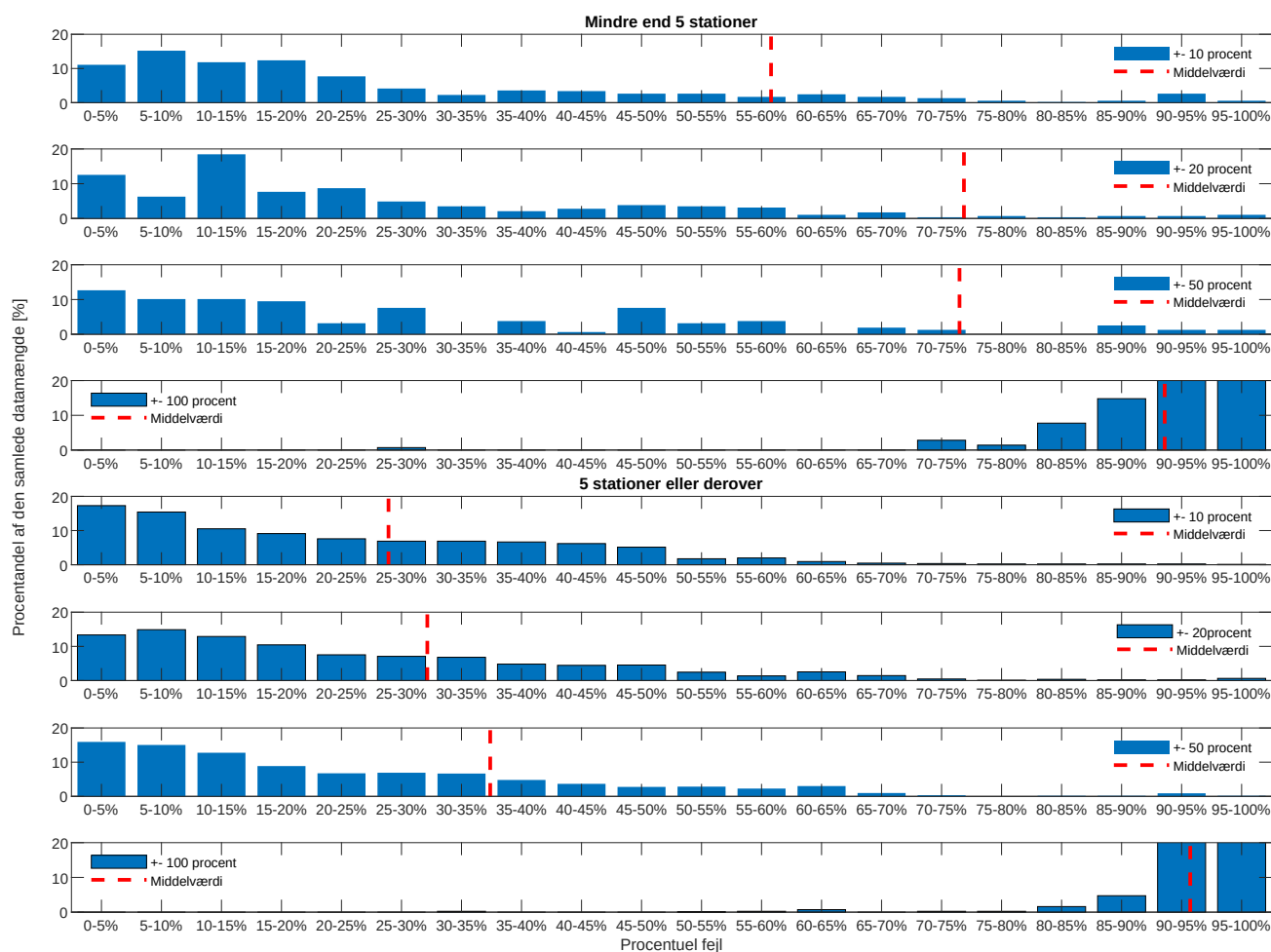
Figur H.2: Andelen af den totale datamængde hvor den procentuelle afvigelse mellem 10 min maksimalværdierne for den gennemsnitlige regnserie og den nærmeste SVK station i sommerperioden. Resultatet af analysen for < 5 Netatmo stationer og ≥ 5 Netatmo stationer er ligeledes præsenteret.

Resultatet af følsomhedsanalysen for parameteren 60 min maksimalværdien i vinterperioden er præsenteret på figur H.3. Det fremgår af figuren, at en grænseværdi på ± 100 % giver en forhøjet procentuel afvigelse fra den nærmeste SVK station, hvilket er formodet, at skyldes outliers og falske nul-værdier medtages i beregningen af de gennemsnitlige regnserier. Generelt er de procentuelle afvigelser fra den nærmeste SVK station reduceret i sammenligning med de procentuelle afvigelser, som forekommer mellem 10 min maksimalværdierne. Den procentuelle afvigelse fra den nærmeste SVK station er stigende med forøget grænseværdi for analysen med < 5 Netatmo stationer, mens det modsatte er tilfældet for analysen med ≥ 5 Netatmo stationer med undtagelse af grænseværdien på ± 100 %. Dette er ligeledes det generelle billede for parameteren 10 min maksimalværdien.



Figur H.3: Andelen af den totale datamængde hvor den procentuelle afvigelse mellem 60 min maksimalværdierne for den gennemsnitlige regnserie og den nærmeste SVK station i vinterperioden. Resultatet af analysen for < 5 Netatmo stationer og ≥ 5 Netatmo stationer er ligeledes præsenteret.

Resultatet af følsomhedsanalysen for parameteren 60 min maksimalværdien i sommerperioden er præsenteret på figur H.3. Ligesom for afvigelserne imellem 10 min maksimalværdierne i sommerperioden er der for 60 min maksimalværdi en forøget gennemsnitlig procentuel afvigelse fra SVK regndata med en større grænseværdi. Dette kan skyldes, at der er større variation imellem regndata fra forskellige stationer i sommermånederne. Det fremgår ligeledes af analysen med < 5 Netatmo stationer, at den procentuelle afvigelse fra SVK regndata er væsentligt forhøjet som resultat af, at outliers får større betydning. Generelt er de procentuelle afvigelser fra SVK regndata for 60 min maksimalværdierne reduceret i sammenligning med afvigelserne imellem 10 min maksimalværdierne.



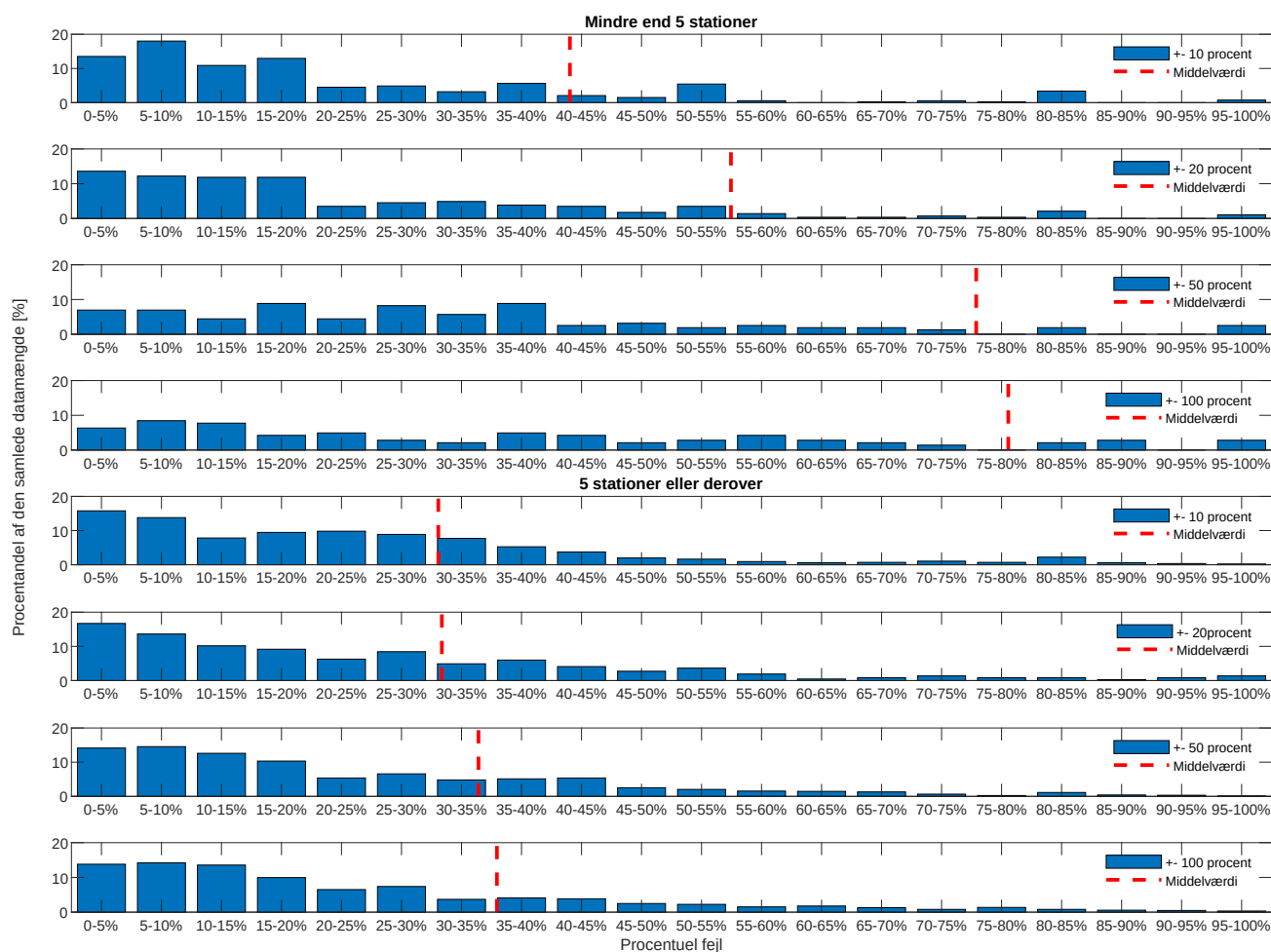
Figur H.4: Andelen af den totale datamængde hvor den procentuelle afvigelse mellem 60 min maksimalværdierne for den gennemsnitlige regnserie og den nærmeste SVK station i sommerperioden. Resultatet af analysen for < 5 Netatmo stationer og ≥ 5 Netatmo stationer er ligeledes præsenteret.

Resultatet af følsomhedsanalysen for parameteren døgnsun i vinterperioden er præsenteret på figur H.5. Af figuren fremgår det, at der ikke er nogen udpræget ændring i den procentuelle afvigelse fra SVK døgnsunsummen når forskellige grænseværdier analyseres. Derudover er den procentuelle afvigelse fra SVK regndata, hvor grænseværdien på $\pm 100\%$ er anvendt væsentligt reduceret i sammenligning med parametrene 10 og 60 min maksimalværdier. Dette skyldes sandsynligvis, at betragtningen er foretaget over en større tidsskala, hvormed variationer i de enkelte tidsstempler får reduceret betydning. Derudover er stationerne, som er anvendt til den gennemsnitlige regnserie udvalgt på baggrund af døgnsun, hvilket muligvis giver anledning til den reducerede afvigelse fra SVK regndata. Dette er i overensstemmelse med, at der i kapitel 6 er opnået større korrelation imellem regndata, når sammenligningen blev foretaget over en større tidsskala.



Figur H.5: Andelen af den totale datamængde hvor den procentuelle afvigelse mellem døgnsummer for den gennemsnitlige regnserie og den nærmeste SVK station i vinterperioden. Resultatet af analysen for < 5 Netatmo stationer og ≥ 5 Netatmo stationer er ligeledes præsenteret.

Resultatet af følsomhedsanalysen for parameteren døgnsum i sommerperioden er præsenteret på figur H.6. Det fremgår, at den gennemsnitlige procentuelle afvigelse fra den nærmeste SVK døgnsum generelt er steget, hvilket også var tilfældet for parametrene 10 og 60 min maksimalværdier i sommermånederne. Dette indikerer, at det kan være nødvendigt at anvende skærpede krav i kvalitetssikringsproceduren for regndata fra sommermåneder. Det fremgår ligeledes, at der kan være større usikkerheder relateret til validering af regndata i områder med færre stationer, da den procentuelle afvigelse fra den nærmeste SVK station er større.



Figur H.6: Andelen af den totale datamængde hvor den procentuelle afvigelse mellem døgnsummer for den gennemsnitlige regnserie og den nærmeste SVK station i sommerperioden. Resultatet af analysen for < 5 Netatmo stationer og ≥ 5 Netatmo stationer er ligeledes præsenteret.

Generelt er der opnået de mindste procentuelle afvigelser fra SVK regndata i vinterperioden, hvilket sandsynligvis skyldes, at der i sommerperioden kan være større afvigelser imellem, hvad der er målt ved de enkelte Netatmo stationer. Effekten af at ændre grænseværdierne for afvigelsen fra median døgnsummer fra de omkringliggende stationer, hvilke er anvendt til at udvælge stationer, som indgår i analysen er ligeledes større i sommerperioden i sammenligning med vinterperioden. Derfor er det muligt, at der bør opsættes differentierede grænseværdier afhængig af sæson. Dette er dog vurderet hovedsageligt at være nødvendigt for de stationsdage med < 5 Netatmo stationer.

Der er generelt opnået større procentuelle afvigelser imellem SVK regndata og den gennemsnitlige regnserie baseret på < 5 Netatmo stationer. Dette er vurderet at skyldes, at outliers får større betydning, når få stationer anvendes til den afstandsvægtede regnserie, hvilket giver anledning til større usikkerheder. Metoden, der er anvendt til at konstruere de afstandsvægtede regnserier, som sammenlignes med SVK regndata, afhænger af mængden af data. Derfor er det muligt, at der bør opsættes differentierede krav i kvalitetssikringsproceduren afhængig af antal stationer.

I tabel H.1 er det præsenteret, hvordan grænseværdien har betydning for hvor mange stationsdage med < 5 stationer, som forekommer. Dette er medtaget i vurderingen af hvilken grænseværdi, som er fordelagtigt at anvende i kvalitetssikringsproceduren.

Tabel H.1: Antal stationsdage med $<$ eller ≥ 5 stationer når de forskellige grænseværdier anvendes.

Grænseværdi [%]	Antal stationsdage med < 5 stationer [-]	Antal stationsdage med ≥ 5 stationer [-]
± 10	533	856
± 20	287	1102
± 50	158	1231
± 100	142	1247

Det fremgår af figurerne i dette afsnit, at det oftest er ± 10 %, som giver anledning til den mindste gennemsnitlige afvigelse fra SVK regndata. Det fremgår dog også af tabel H.1, at en grænseværdi på ± 10 % giver flest stationsdage, hvor der er < 5 stationer til at beregne den gennemsnitlige regnserie, hvilket er i overensstemmelse med, at dette er det mest skærpede krav. Derfor er det ikke vurderet fordelagtigt at anvende ± 10 %, da dette vil give flere tilfælde med større usikkerheder i forhold til at beregne gennemsnitlige regnserier grundet få stationer.

Generelt fremgår det af følsomhedsanalysen, at den procentuelle afvigelse fra SVK regndata øges væsentligt, når en grænseværdi på ± 100 % er anvendt. Dette er vurderet at skyldes, at outliers og falske nul-værdier får større betydning, og dermed giver dårligere overensstemmelse mellem den afstandsvægtede regnserie og regnserien fra den nærmeste SVK station. Årsagen til at resultatet for ± 100 % er væsentligt forbedret, når parameteren døgnsum analyseres, er vurderet at skyldes, at analysen er foretaget over en større tidsskala, samt at stationerne som anvendes er udvalgt på baggrund af afvigelsen fra en median døgnsum.

Der er ikke nogen udpræget forskel mellem at anvende en grænseværdi på ± 20 % og ± 50 % når den gennemsnitlige procentuelle afvigelse fra SVK regndata betragtes. Metoden, som er anvendt til at udvælge stationer ud fra en procentuel afvigelse fra median døgnsummer og derefter anvende de udvalgte stationer i en afstandsvægtet gennemsnitlig regnserie, er mere robust des mere data, som inkluderes. Det fremgår af tabel H.1, at antallet af stationsdage med < 5 stationer til at konstruere den gennemsnitlige regnserie er væsentligt reduceret ved at anvende en grænseværdi på ± 50 % i sammenligning med ± 10 % og ± 20 %. Særligt i sommerperioden er det fordelagtigt at begrænse antallet af stationsdage med < 5 stationer. Det blev i afsnit 8.4 vurderet, at omkring 85 % af Netatmo døgnsummerne befinder sig indenfor grænseværdien på ± 50 % fra median døgnsummen baseret på de omkringliggende stationer. Det er på baggrund af analysen i dette appendiks vurderet fordelagtigt at anvende en grænseværdi på ± 50 % for den procentuelle afvigelse fra median værdier beregnet med omkringliggende stationer.

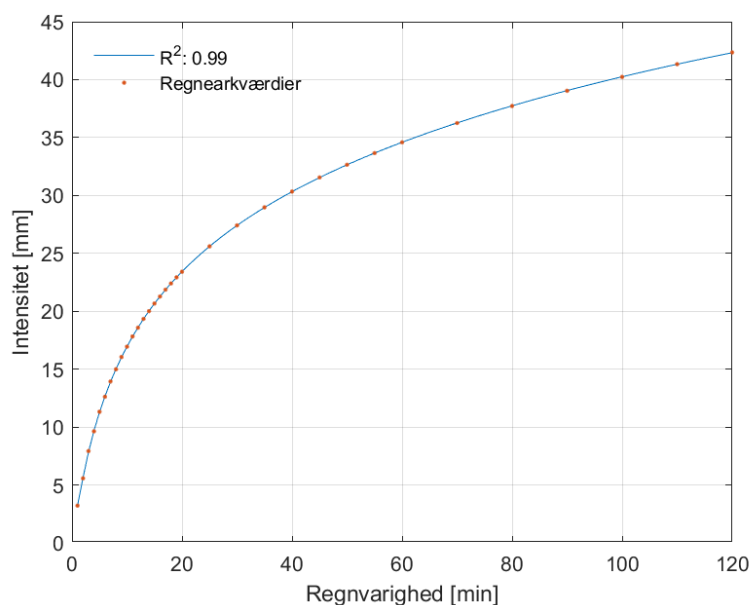
I. Funktionsudtryk til bestemmelse af grænseværdier

I dette appendiks er funktionen anvendt til at fastsætte grænseværdierne for nedbørsregistreringerne af forskellig varighed præsenteret. Funktionsudtrykket er fastsat ved at fitte en kurve til værdier fra Gregersen et al. [2014, Bilag til skrift 30. Regional regnrække version 4.1 - regneark], fittet er præsenteret på figur I.1. Funktionen er gældende for varigheder til og med 120 min. Funktionsudtrykket er præsenteret i formel I.1.

$$\text{Lim}_t = \frac{(68,43 \cdot t^5 + 5736 \cdot t^4 + 15,48 \cdot t^3 - 660,3 \cdot t^2 + 22,48 \cdot t + 1475)}{(t^5 + 194,4 \cdot t^4 + 1825 \cdot t^3 - 1026 \cdot t^2 + 1856 \cdot t - 774)} \quad (\text{I.1})$$

Hvor:

Lim_t	[mm/varighed]	Grænseværdien for intensiteten for den pågældende varighed
t	[min]	Regnvarighed

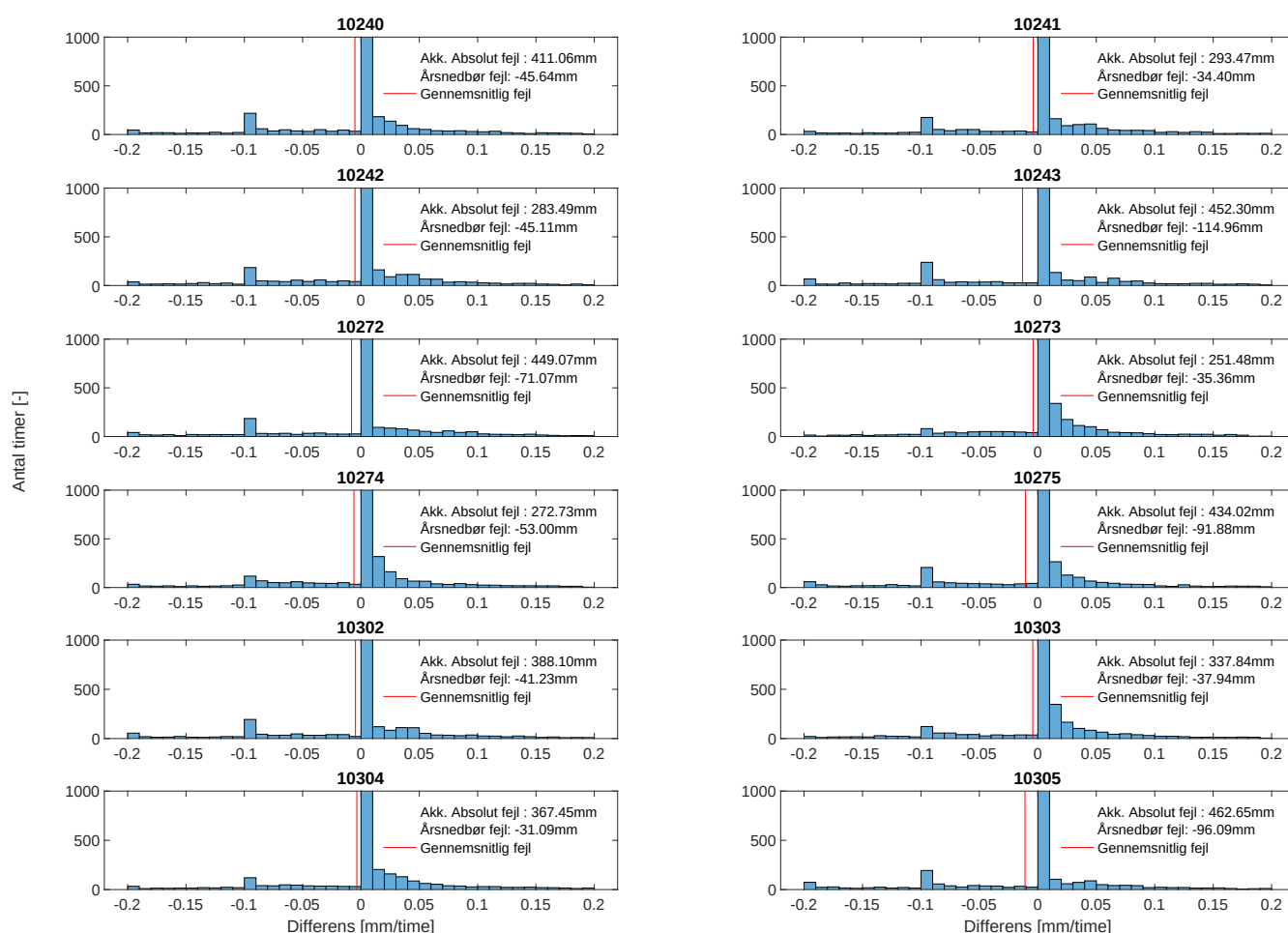


Figur I.1: Funktionsudtryk til bestemmelse af grænseværdier baseret på Gregersen et al. [2014, Bilag til skrift 30. Regional regnrække version 4.1 - regneark].

J. Sammenligning med DMI klimagrid 10x10 km

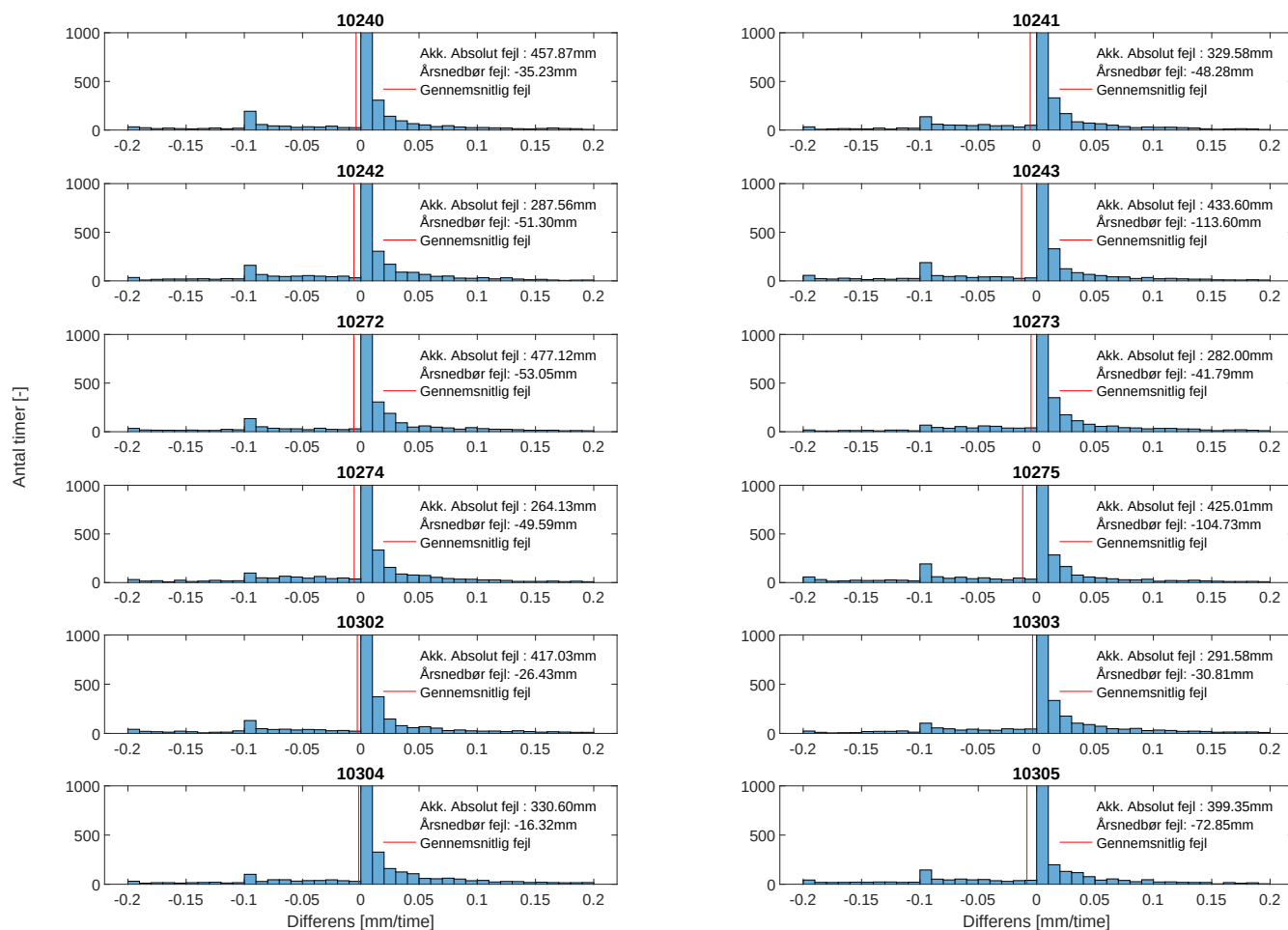
Dette appendiks indeholder resultater for analysen af afvigelserne imellem Netatmo gridproduktet og DMI gridproduktet, når der anvendes tre forskellige antal Netatmo stationer til at beregne Netatmo gridproduktet. De resulterende histogrammer er præsenteret på figur J.1, J.2, J.3, J.4, J.5 og J.6. Scatterplottene, hvor døgnværdier sammenlignes, er angivet på figur J.7 og J.8.

Nærmeste godkendte stationer



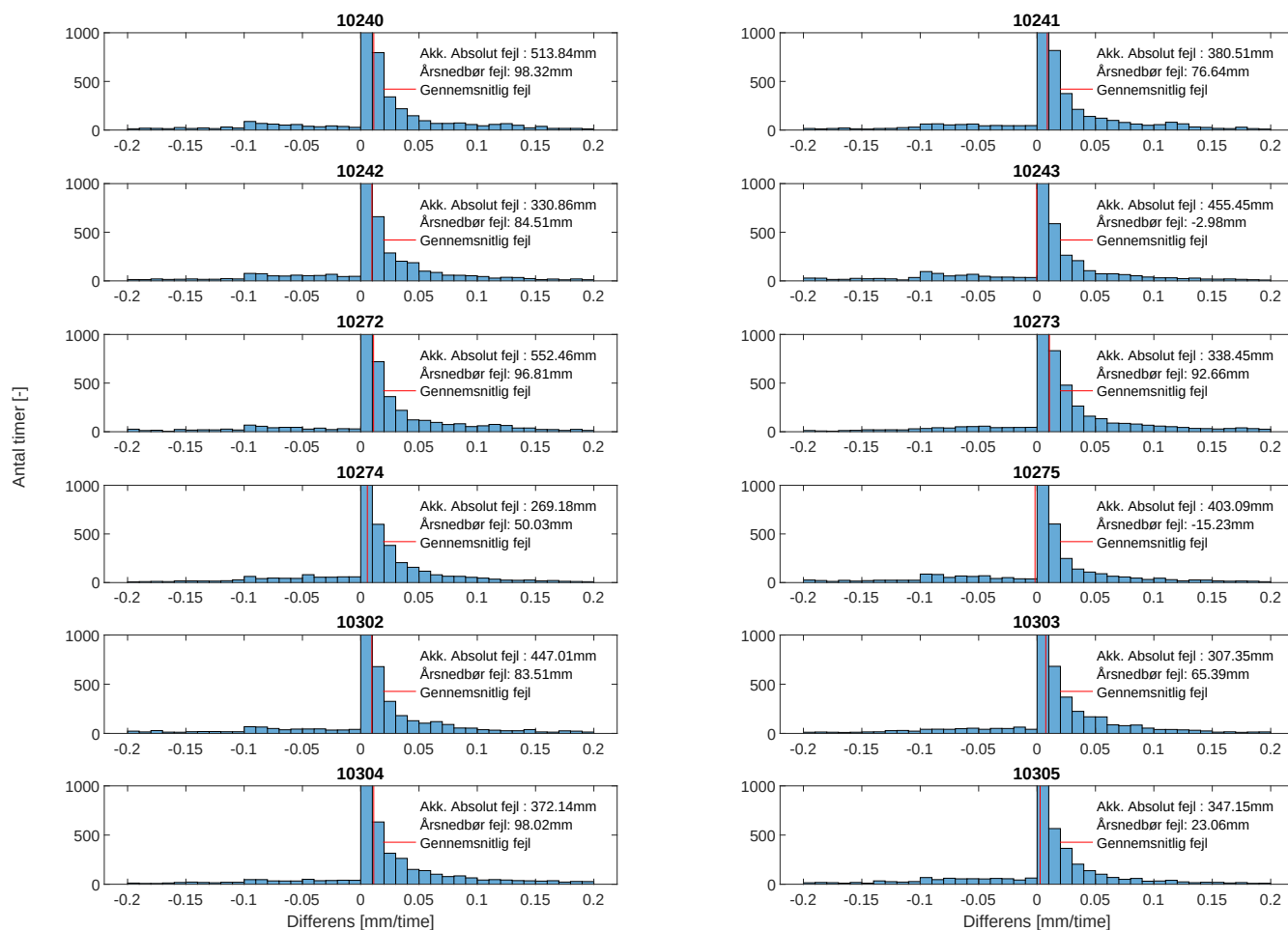
Figur J.1: Den nærmeste station i hver sektor har været anvendt til at beregne det afstandsvægtede Netatmo gridprodukt på timebasis. Der er angivet årlig akkumuleret absolut fejl, afvigelse i årsnedbør samt gennemsnitlig differens imellem timeværdierne.

Alle godkendte stationer



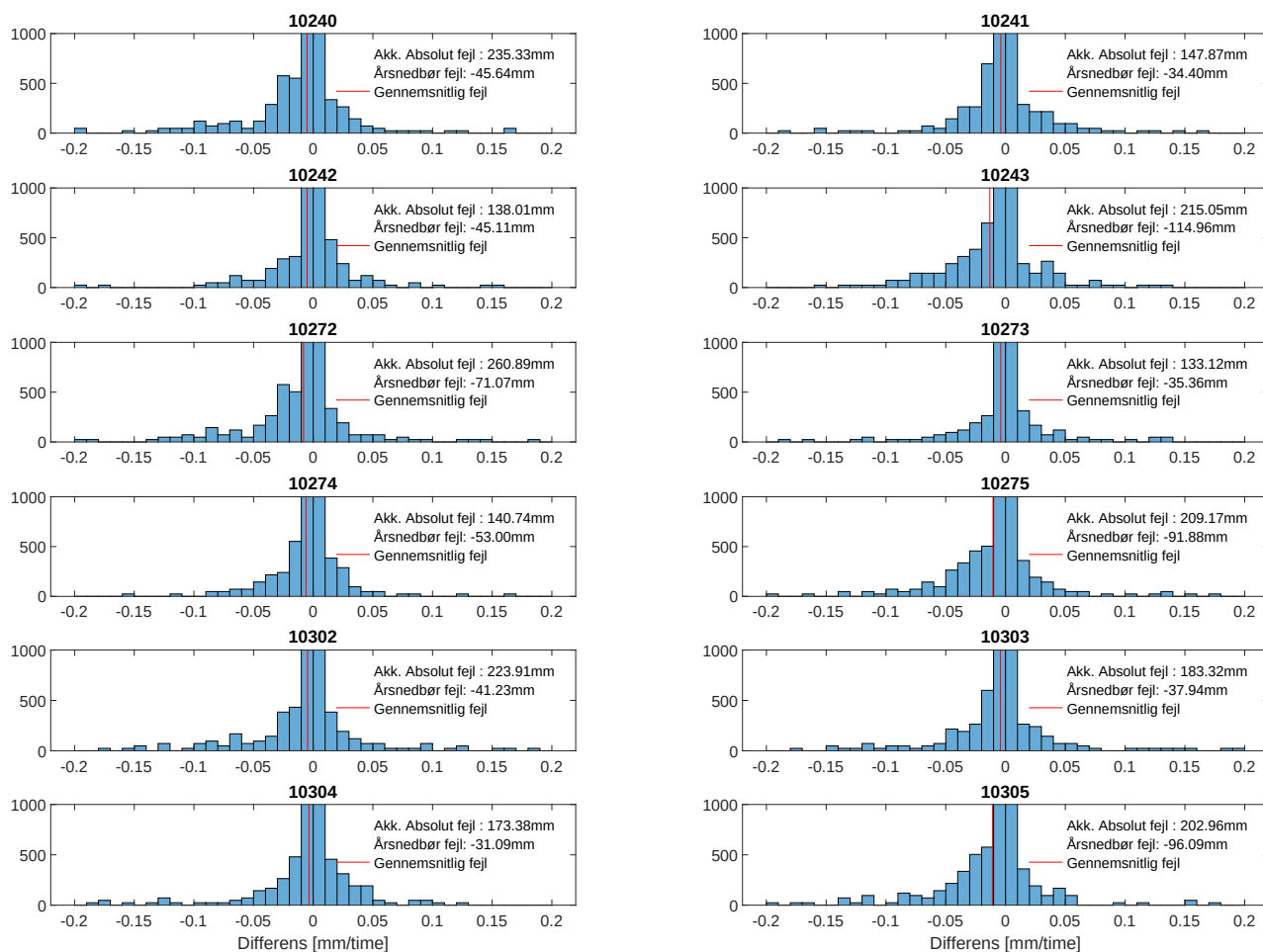
Figur J.2: Alle validerede stationer har været anvendt til at beregne det afstandsvægtede Netatmo gridprodukt på timebasis. Der er angivet årlig akkumuleret absolut fejl, afvigelse i årsnedbør samt gennemsnitlig differens imellem timeværdierne.

Alle stationer



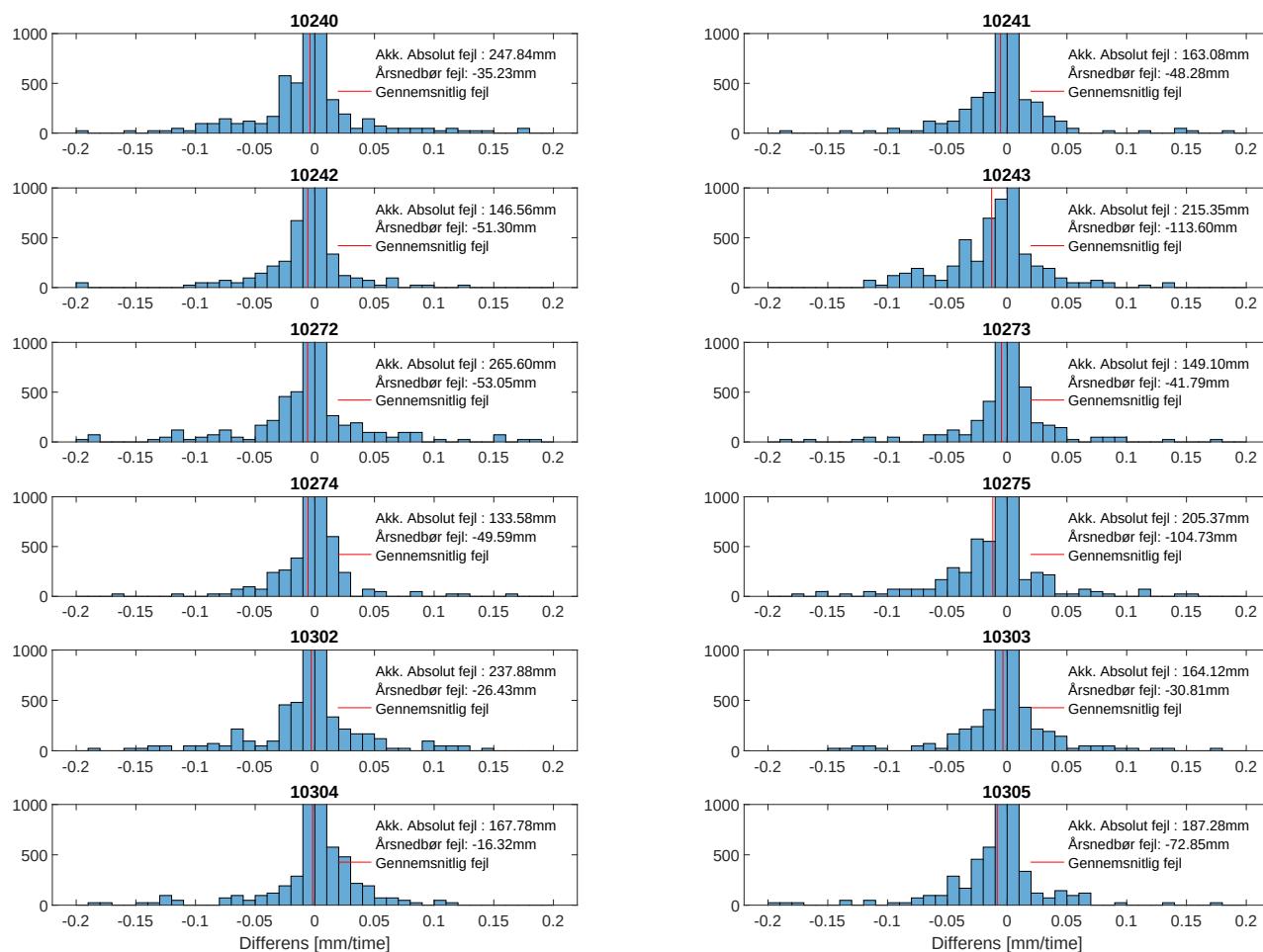
Figur J.3: Alle stationer også ikke validerede stationer har været anvendt til at beregne det afstandsvægtede Netatmo gridprodukt på timebasis. Der er angivet årlig akkumuleret absolut fejl, afvigelse i årsnedbør samt gennemsnitlig differens imellem timeværdierne.

Nærmeste godkendte stationer



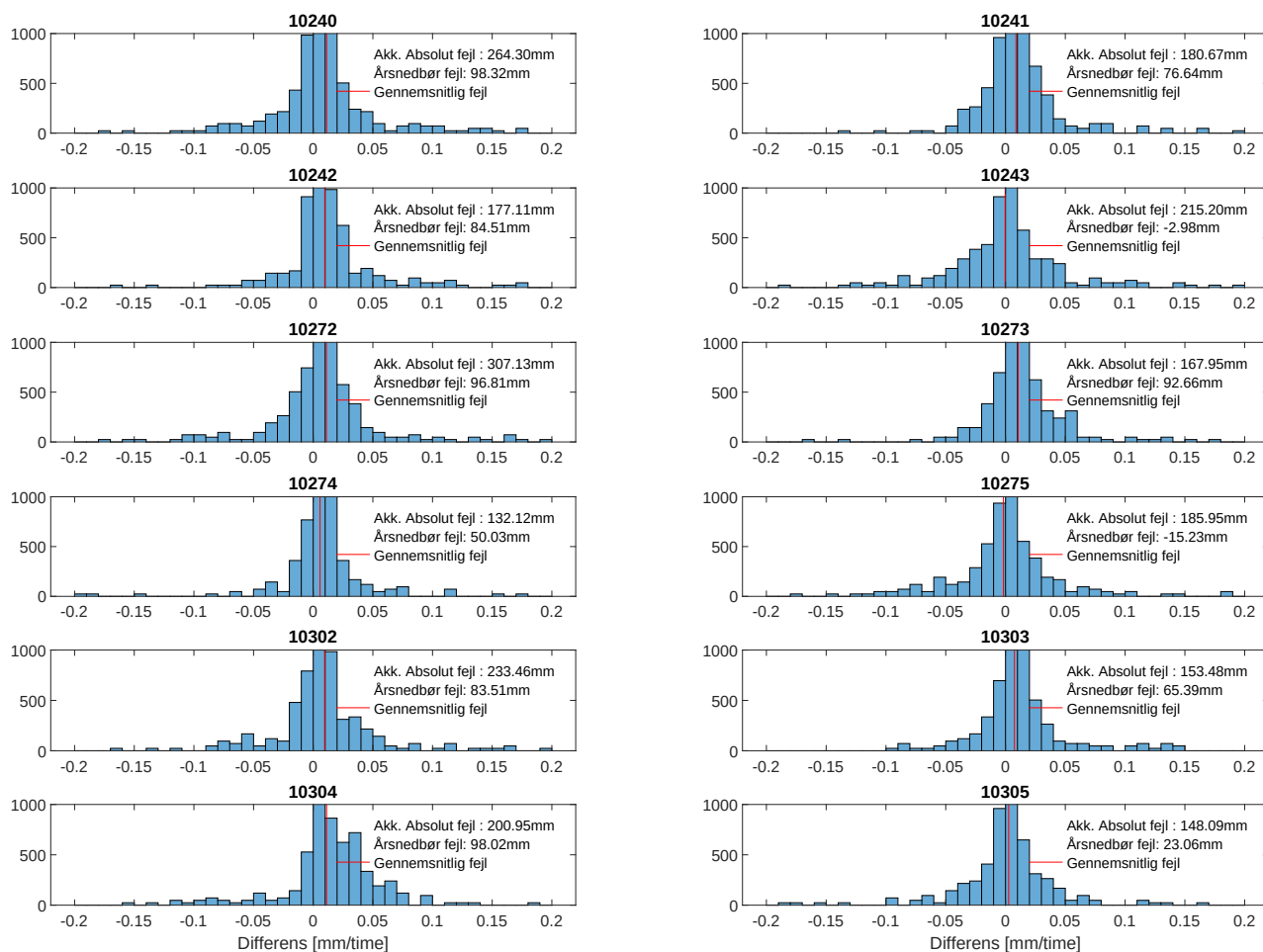
Figur J.4: Den nærmeste station i hver sektor har været anvendt til at beregne det afstandsvægtede Netatmo gridprodukt. Netatmo timeværdierne er gennemsnitlige, da disse er beregnet på baggrund af døgnsummer. Der er angivet årlig akkumuleret absolut fejl, afvigelse i årsnedbør samt gennemsnitlig differens imellem timeværdierne.

Alle godkendte stationer

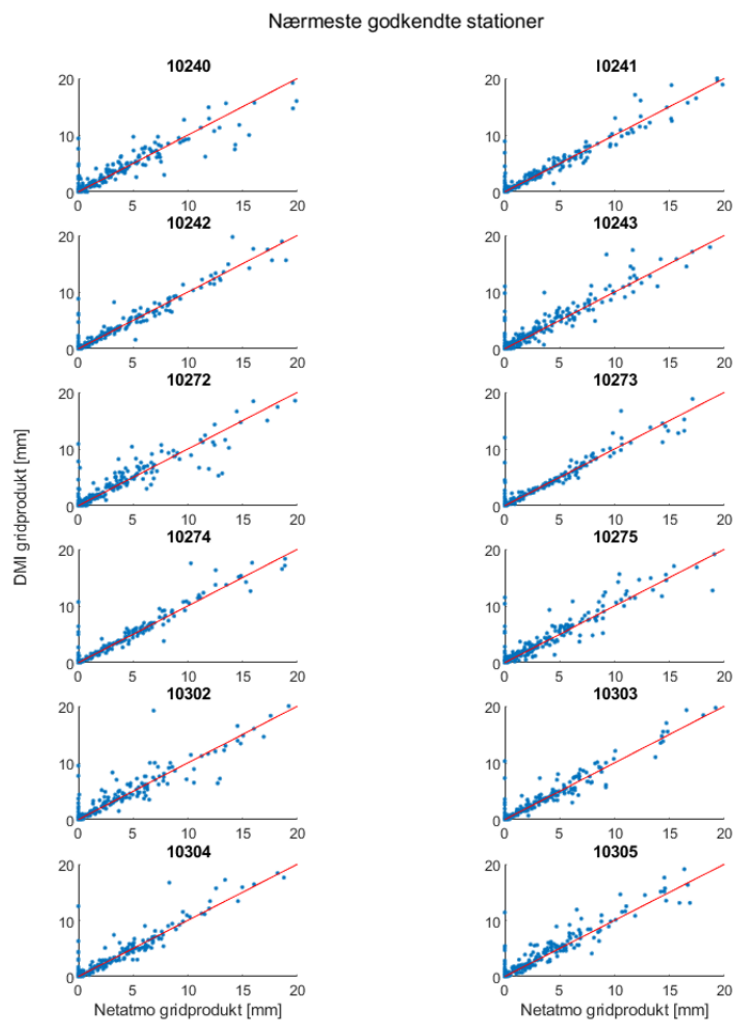


Figur J.5: Alle validerede stationer har været anvendt til at beregne det afstandsvægtede Netatmo gridprodukt. Netatmo timeværdierne er gennemsnitlige, da disse er beregnet på baggrund af døgnsummer. Der er angivet årlig akkumuleret absolut fejl, afvigelse i årsnedbør samt gennemsnitlig differens imellem timeværdierne.

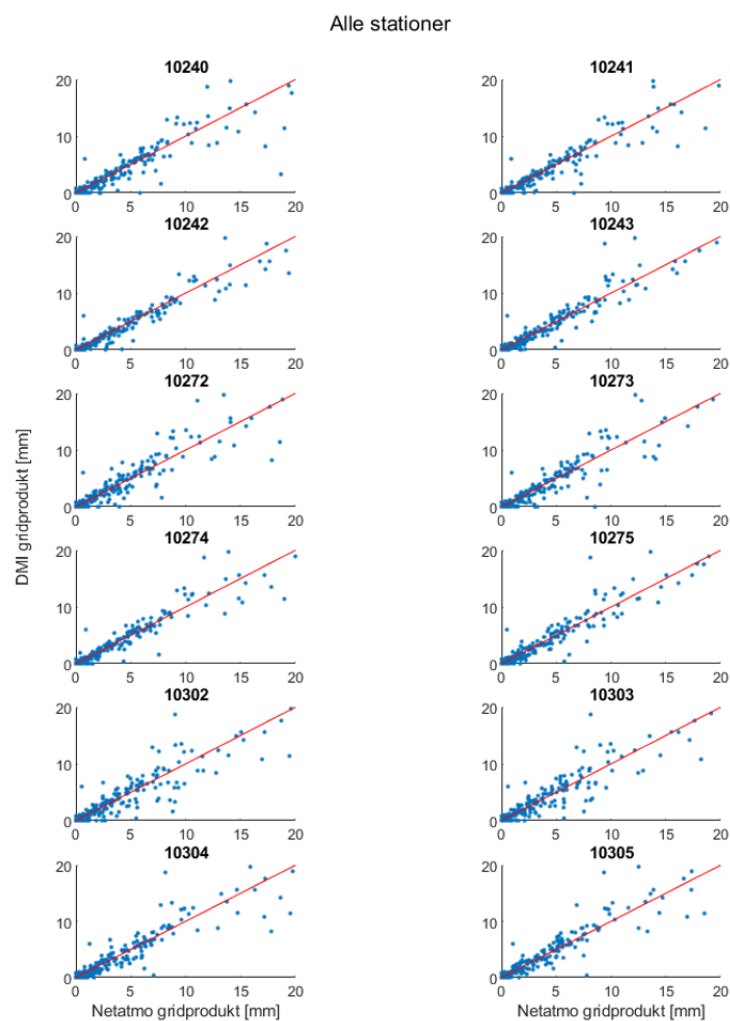
Alle stationer



Figur J.6: Alle stationer også ikke validerede stationer har været anvendt til at beregne det afstandsvægtede Netatmo gridprodukt. Netatmo timeværdierne er gennemsnitlige, da disse er beregnet på baggrund af døgnsummer. Der er angivet årlig akkumuleret absolut fejl, afvigelse i årsnedbør samt gennemsnitlig differens imellem timeværdierne.



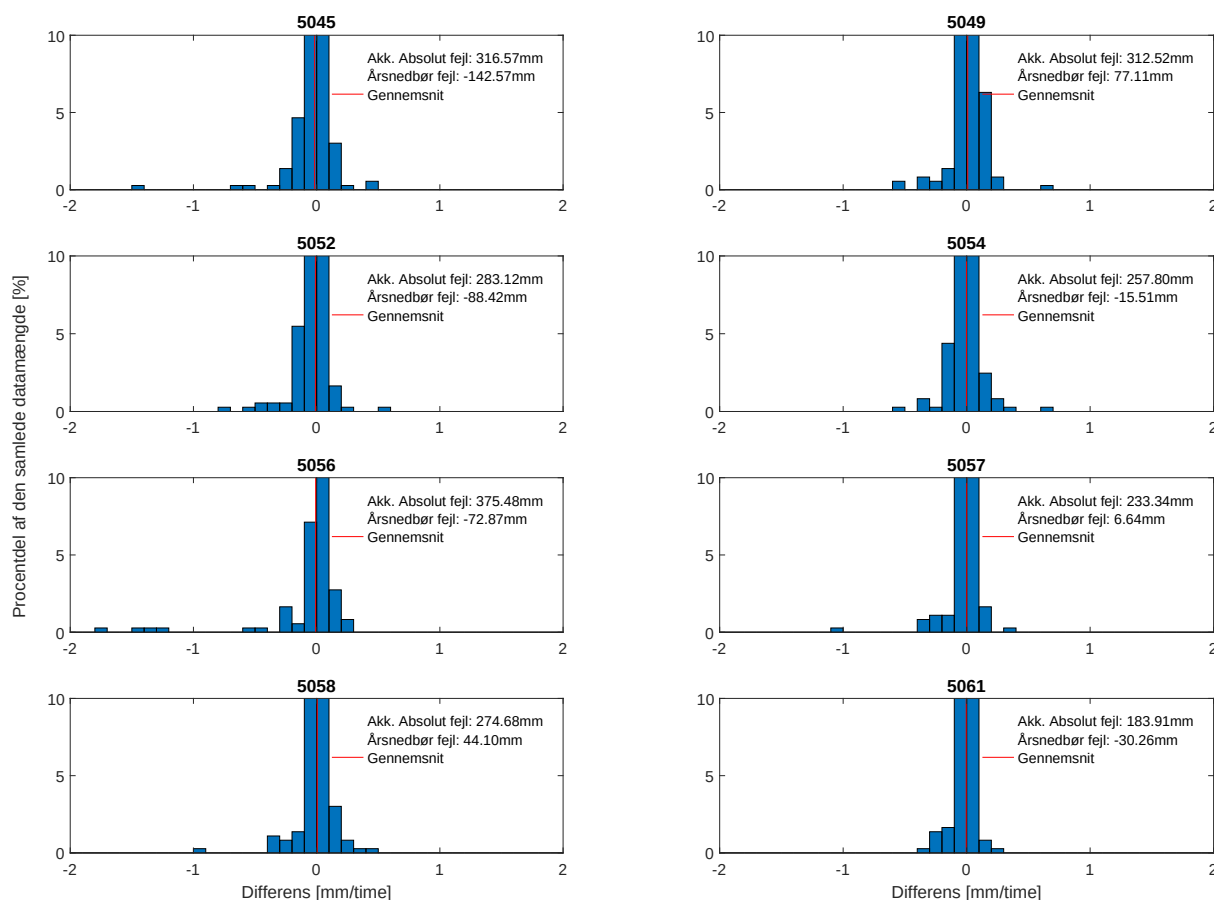
Figur J.7: Scatterplot for døgnværdier fra DMI klimagrid 10x10 km og Netatmo regnproduktet hvor den nærmeste validerede station er anvendt.



Figur J.8: Scatterplot for døgnværdier fra DMI klimagrid 10x10 km og Netatmo regnproduktet hvor alle stationer er anvendt.

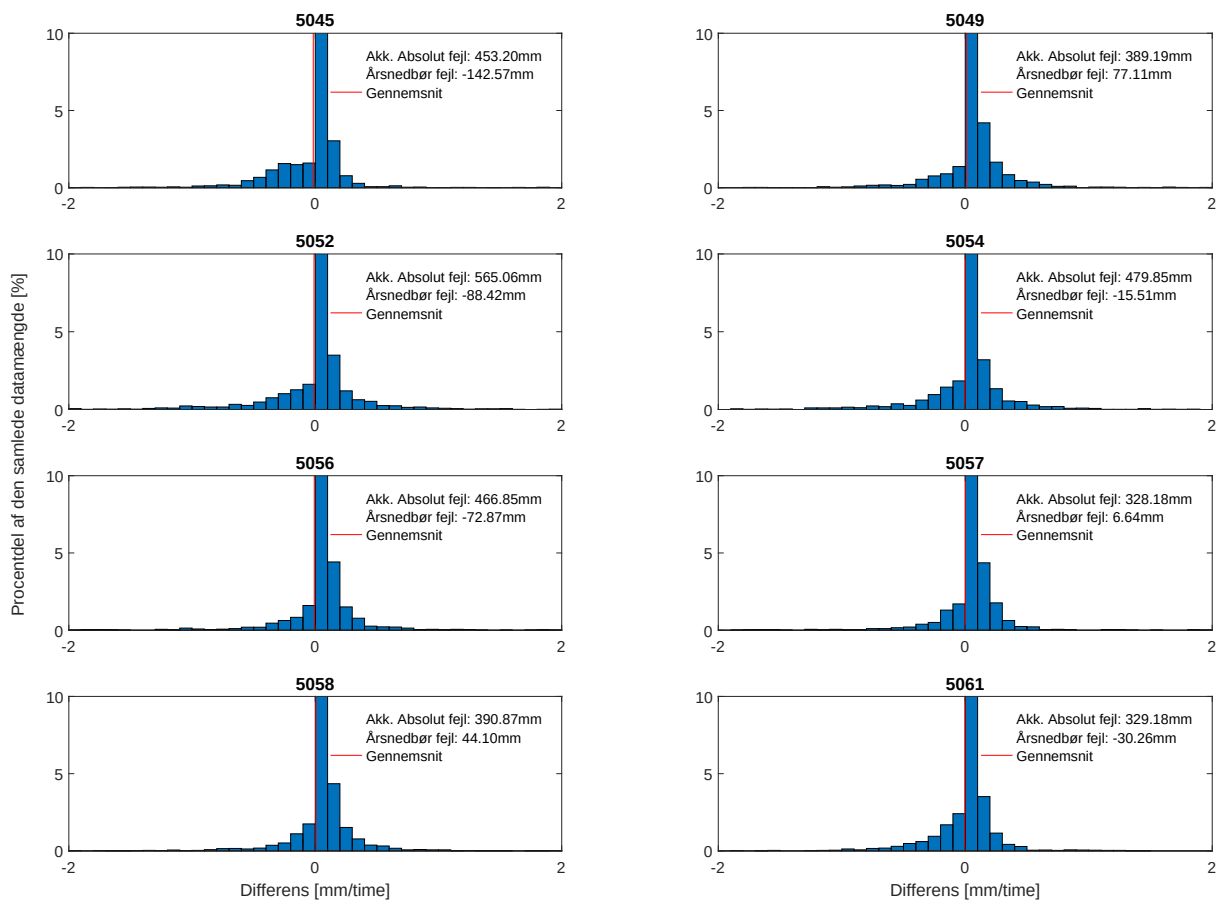
K. Sammenligning af SVK og Netatmo regnprodukter

Dette appendiks indeholder resultaterne for sammenligningen af SVK regndata med valideret Netatmo regndata samt interpolerede regnprodukter baseret på Netatmo regndata. Sammenligningen er foretaget på døgn- og timebasis samt på 10 min basis. I sammenligningerne af de interpolerede regnprodukter med SVK regndata er der anvendt et datasæt. Derimod er der i sammenligningen af individuelle stationer med SVK regndata sammenlignet flere datasæt med SVK stationen, hvilket resulterer i flere datapunkter. Derfor, for at kunne sammenligne resultaterne, er der anvendt intervaller for den procentuelle afvigelse fra SVK regndata. Dermed er den procentuelle andel af den totale datamængde for hver sammenligning mellem et Netatmo regnprodukt og SVK regndata, som er indenfor de forskellige intervaller for procentuel afvigelse fra SVK regndata, angivet. Overensstemmelsen mellem Netatmo regndataene samt de interpolerede regnprodukter og SVK regndataene er kvantificeret på baggrund af den årlige absolutte fejl, fejl i årsnedbør samt den gennemsnitlige absolutte fejl. Resultaterne er præsenteret på figur K.1, K.2, K.3, K.4, K.5 og K.6. Scatterplottene, hvor 10 og 60 min maksimalværdier og døgnsummer for de tre regnprodukter sammenlignes med tilsvarende SVK værdier, er angivet på figur K.7, K.8, K.9, K.10, K.11, K.12, K.13 og K.14.

Døgnsam
4x4km grid

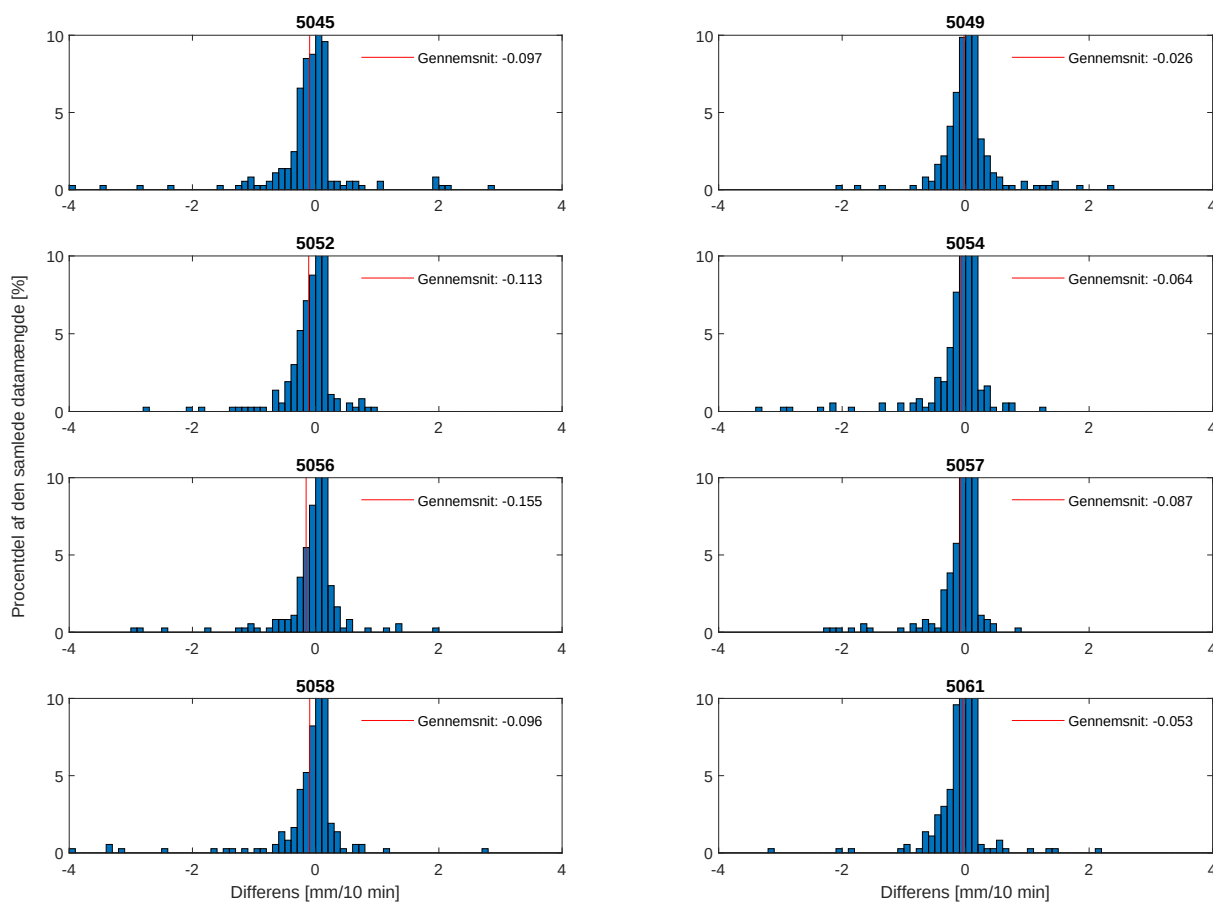
Figur K.1: Den procentuelle andel af den totale datamængde indenfor forskellig intervaller for differensen imellem SVK regndataene og den gennemsnitlige regnserie baseret på stationer indenfor 4x4 km gridcellen. Derudover er den årlige akkumulerede absolutte fejl, fejl i årsnedbør samt den gennemsnitlige differens i mm/time angivet. Den gennemsnitlige differens i mm/time er beregnet på baggrund af differensen på døgnbasis.

Timesum 4x4km grid

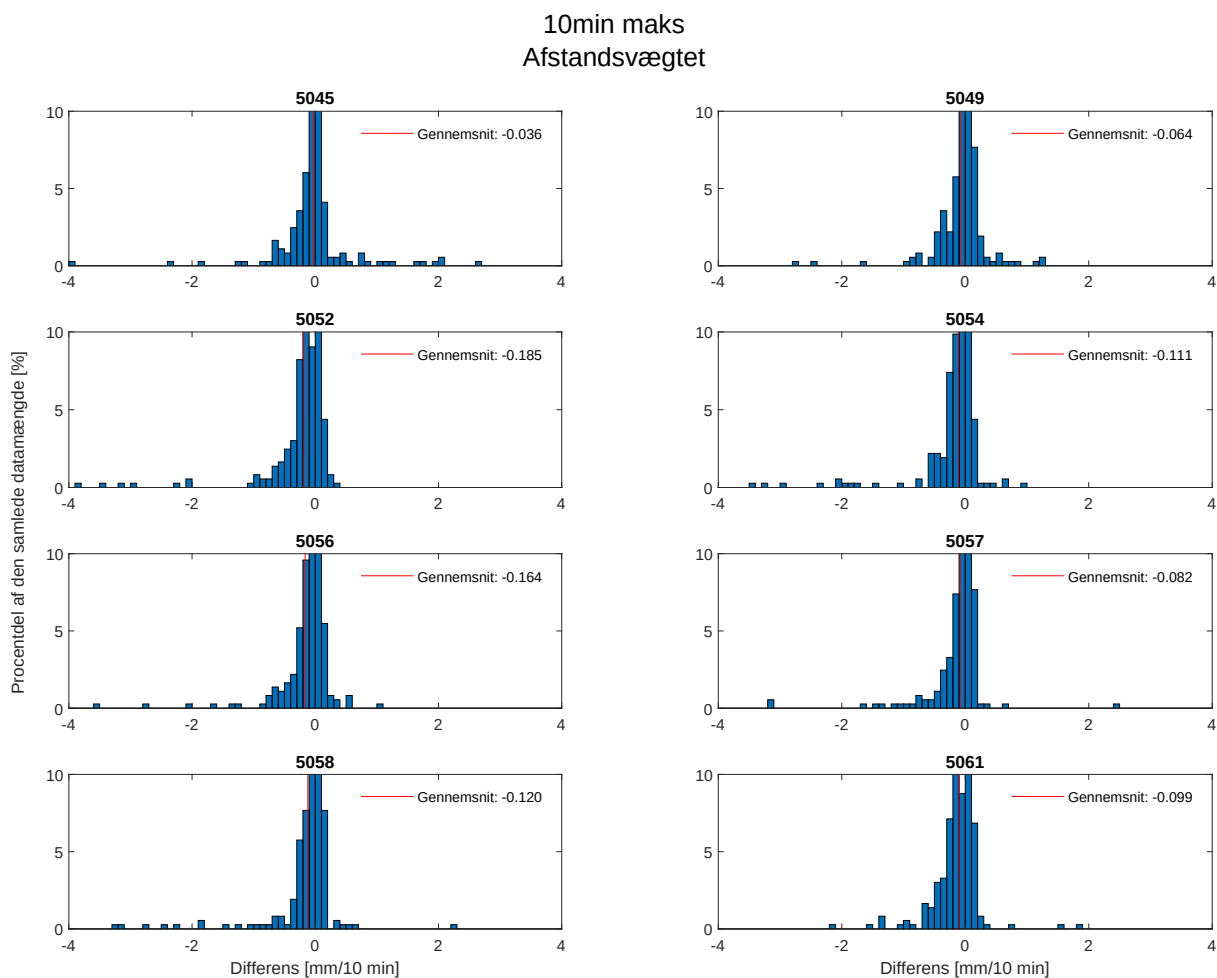


Figur K.2: Den procentuelle andel af den totale datamængde indenfor forskellige intervaller for differensen imellem SVK regndataene og den gennemsnitlige regnserie baseret på stationer indenfor 4x4 km gridcellen. Derudover er den årlige akkumulerede absolutte fejl, fejl i årsnedbør samt den gennemsnitlige differens i mm/time angivet.

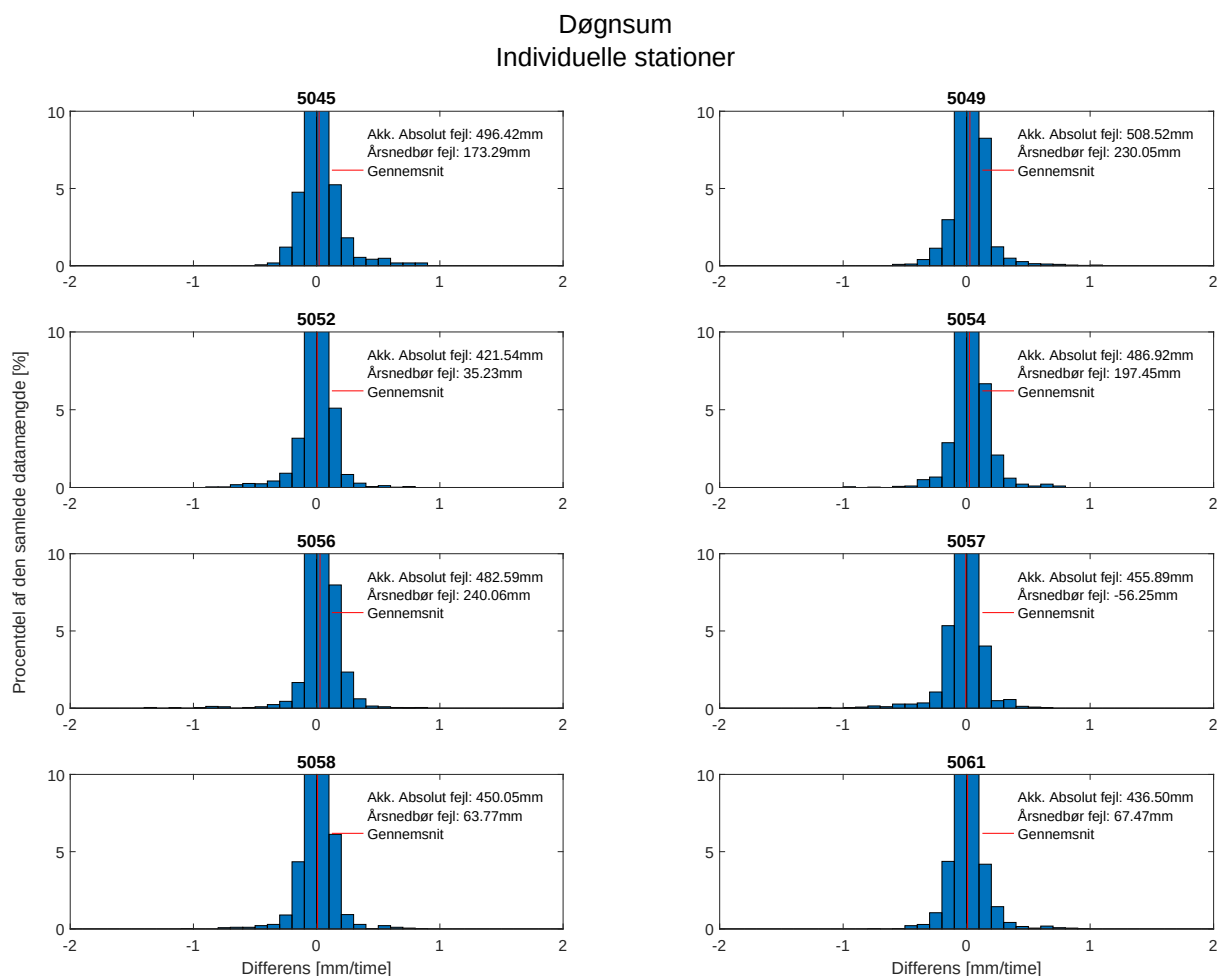
10min maks
4x4km grid



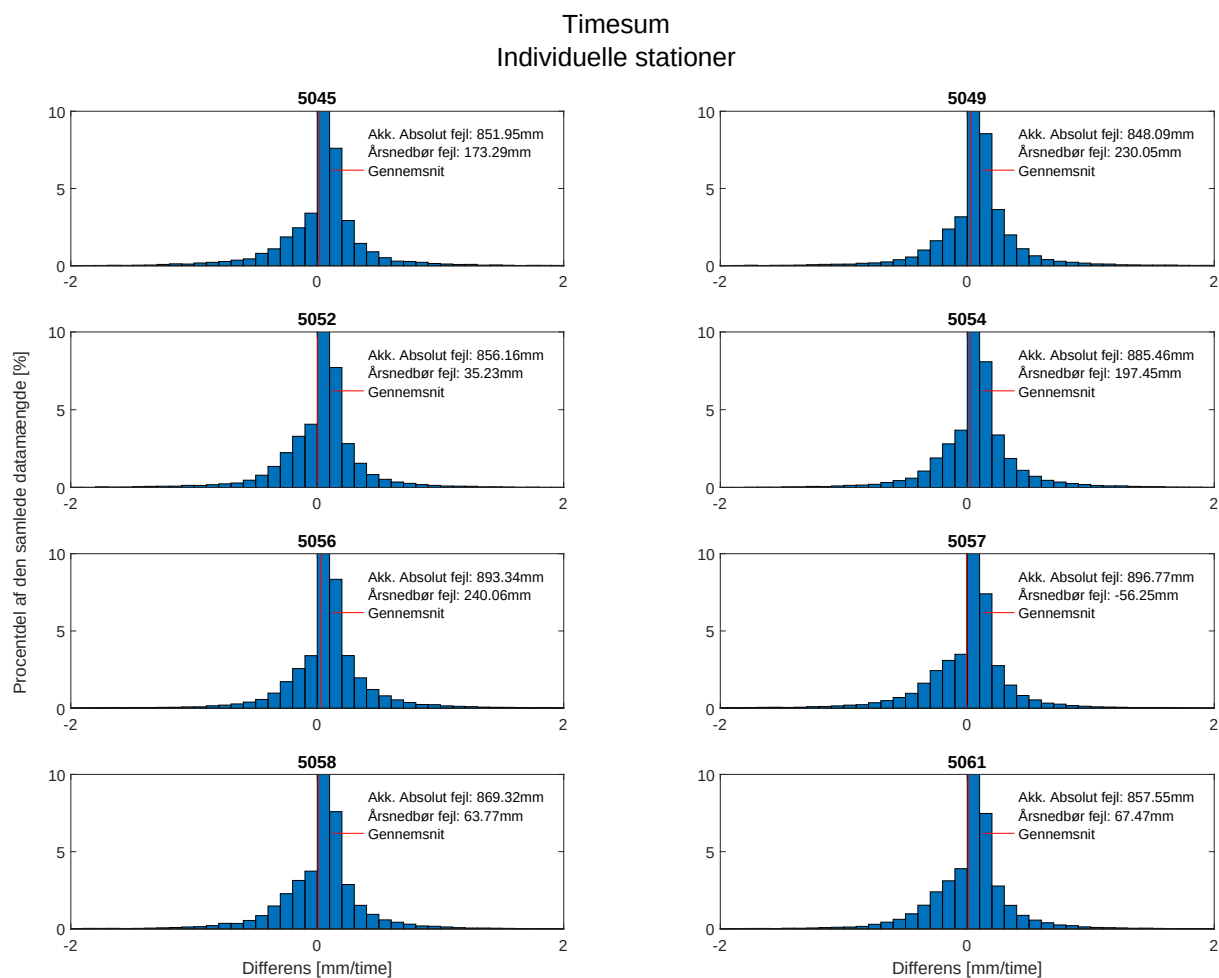
Figur K.3: Den procentuelle andel af den totale datamængde indenfor forskellig intervaller for differensen imellem SVK regndataene og den gennemsnitlige regnserie baseret på stationer indenfor 4x4 km gridcellen. Derudover er den gennemsnitlige differens i mm/10 min angivet.



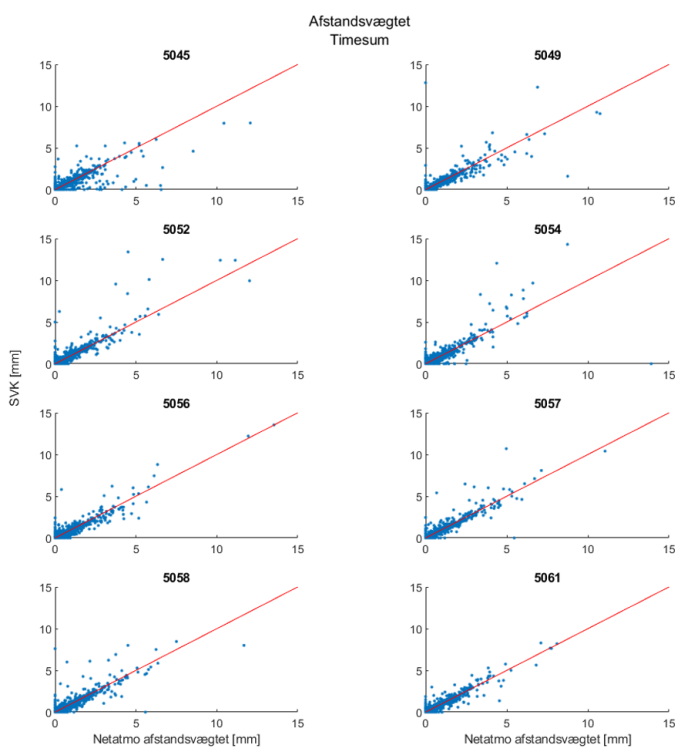
Figur K.4: Den procentuelle andel af den totale datamængde indenfor forskellig intervaller for differensen imellem SVK regndataene og den gennemsnitlige regnserie baseret på stationer indenfor 'Range' fra SVK stationen. Derudover er den gennemsnitlige differens i mm/10 min angivet.



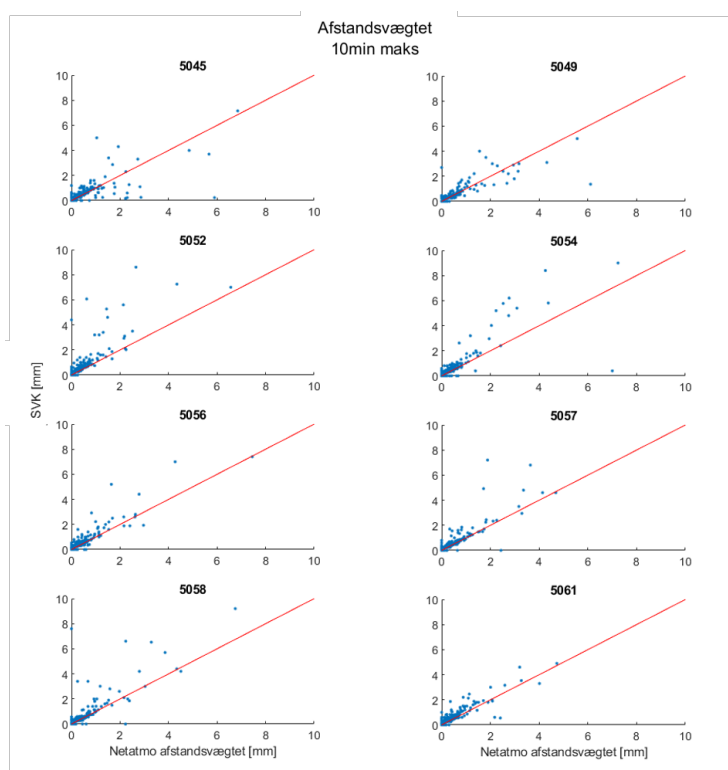
Figur K.5: Den procentuelle andel af den totale datamængde indenfor forskellig intervaller for differensen imellem SVK regndataene og regnserierne fra de enkelte stationer indenfor 'Range' fra SVK stationen. Derudover er den årlige akkumulerede absolutte fejl, fejl i årsnedbør samt den gennemsnitlige differens i mm/time angivet. Den gennemsnitlige differens i mm/time er beregnet på baggrund af differensen på døgnbasis.



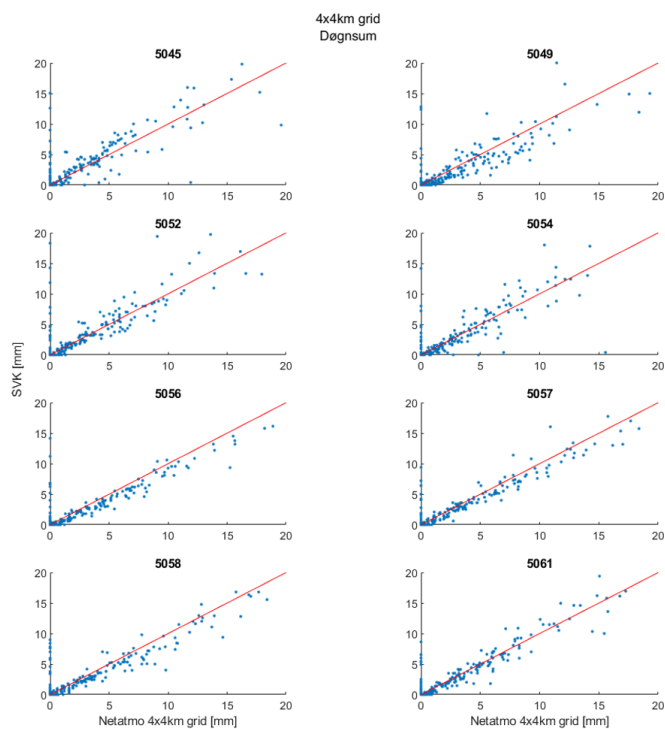
Figur K.6: Den procentuelle andel af den totale datamængde indenfor forskellige intervaller for differensen imellem SVK regndataene og regnserierne fra de enkelte stationer indenfor 'Range' fra SVK stationen. Derudover er den årlige akkumulerede absolutte fejl, fejl i årsnedbør samt den gennemsnitlige differens i mm/time angivet.



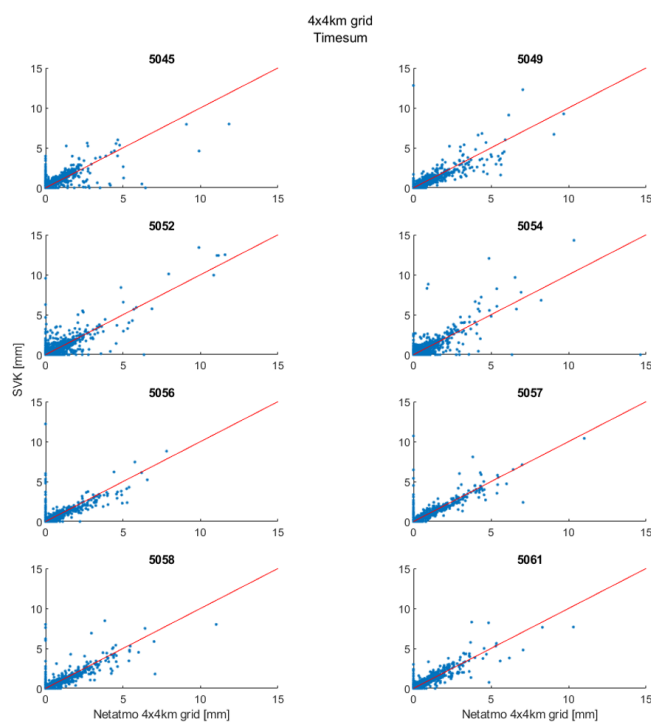
Figur K.7: Scatterplot hvor timeværdier for det interpolerede regnprodukt baseret på validerede stationer indenfor 'Range' er sammenlignet med SVK værdier.



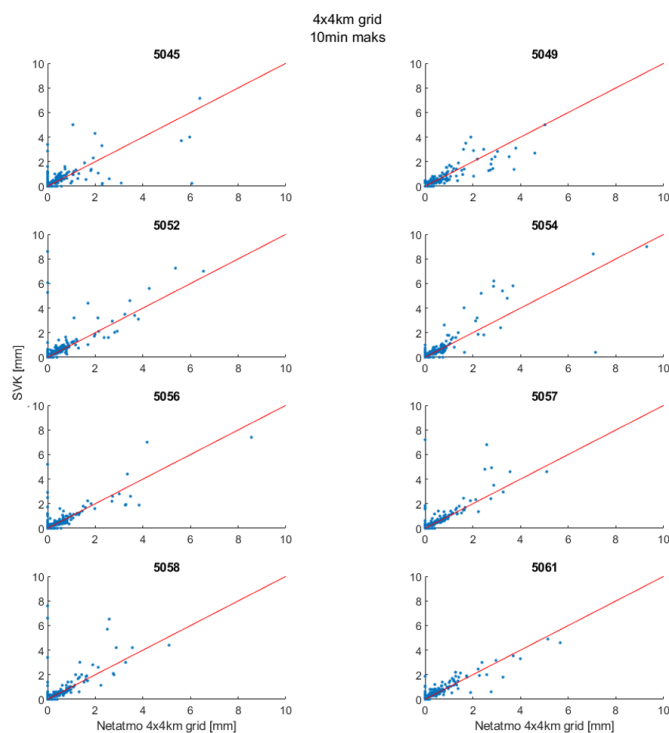
Figur K.8: Scatterplot hvor 10 min maksimalværdier for det interpolerede regnprodukt baseret på validerede stationer indenfor 'Range' er sammenlignet med SVK værdier.



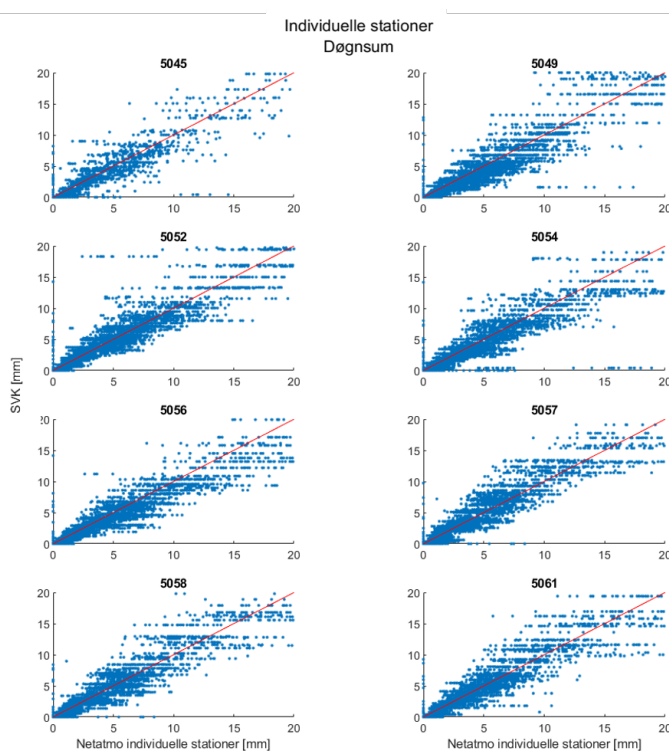
Figur K.9: Scatterplot hvor døgnaværdier for det interpolerede regnprodukt baseret på validerede stationer indenfor 4x4 gridcellen er sammenlignet med SVK værdier.



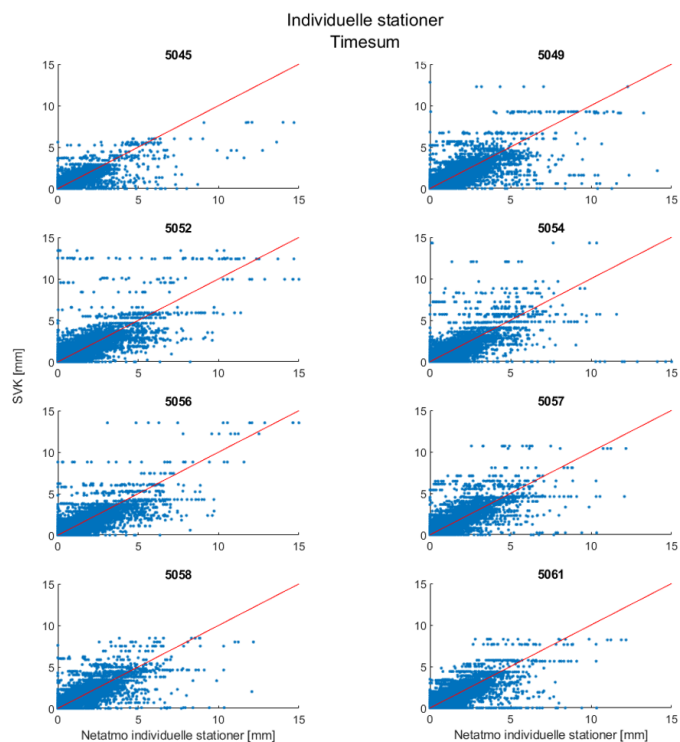
Figur K.10: Scatterplot hvor timeværdier for det interpolerede regnprodukt baseret på validerede stationer indenfor 4x4 gridcellen er sammenlignet med SVK værdier.



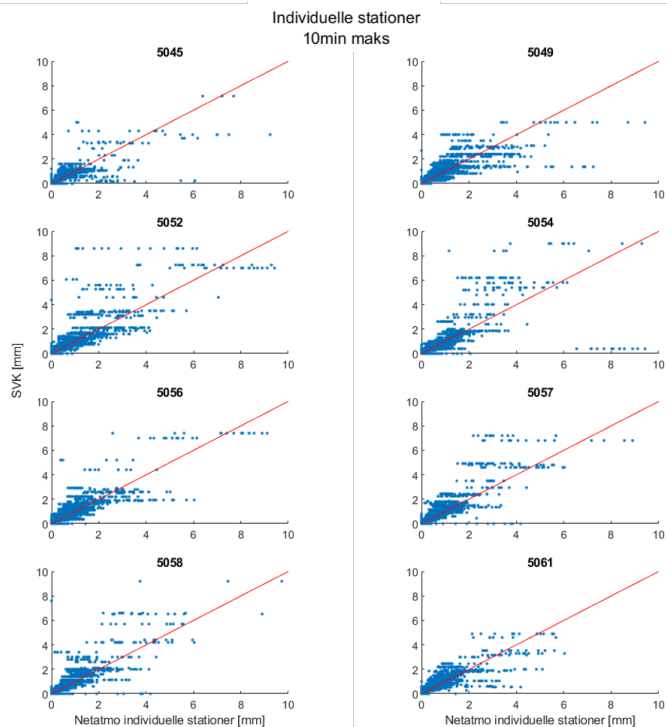
Figur K.11: Scatterplot hvor 10 min maksimalværdier for det interpolerede regnprodukt baseret på validerede stationer indenfor 4x4 gridcellen er sammenlignet med SVK værdier.



Figur K.12: Scatterplot hvor døgnværdier for individuelle og validerede stationer indenfor 'Range' er sammenlignet med SVK værdier.



Figur K.13: Scatterplot hvor timeværdier for individuelle og validerede stationer indenfor 'Range' er sammenlignet med SVK værdier.



Figur K.14: Scatterplot hvor 10 min maksimalværdier for individuelle og validerede stationer indenfor 'Range' er sammenlignet med SVK værdier.

L. Elektroniske appendiks

- L.1 Procedure for dataindhentning**
- L.2 Omregning til regnserier**
- L.3 Bestemmelse af Netatmo specifikke usikkerheder**
- L.4 Sammenligning af Netatmo regnprodukter**
- L.5 Analyse af krydskorrelation**
- L.6 Sammenligning af Netatmo og SVK regndata**
- L.7 Live kvalitetssikringsprocedure**
- L.8 Døgn kvalitetssikringsprocedure**
- L.9 Månedsrapport**