

DANISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

———— TECHNICAL REPORT ————

99-07

**KORREKTION FOR FEJLKILDER AF
DAGLIGE NEDBØRMÅLINGER I DANMARK**

Resultater: 1989-1997

**Flemming Vejen
Peter Allerup
Henning Madsen**



COPENHAGEN 1999

1399-1388 (on-line)

ISSN-nr.0906-897X

INDHOLDSFORTEGNELSE

1 INDLEDNING.....	2
2 KORREKTION AF NEDBØRMÅLINGER FOR FEJLKILDER	3
2.1 DEN GENERELLE KORREKTIONSMODEL	3
2.2 LÆFORHOLDENES BETYDNING	4
2.3 KORREKTIONSSYSTEM.....	5
2.4 KRITERIER FOR VALG AF NEDBØRSTATIONER.....	8
2.5 HVORDAN HAR DATAGRUNDLAGET ÆNDRET SIG TILBAGE I TIDEN?.....	8
3 USIKKERHED PÅ DEN KORRIGEREDE NEDBØRMÆNGDE.....	9
3.1 GENERELT	9
3.2 BETYDNINGEN FOR KORREKTIONSFAKTOREN AF REGIONALE VARIATIONER AF V, T, I OG PCTS.....	9
3.2.1 Analysemetoder.....	10
3.2.2 Resultater.....	14
3.2.3 Diskussion af resultater	21
3.3 ANDRE FORHOLD AF BETYDNING FOR USIKKERHEDEN	21
3.3.1 Et praktisk problem: at bestemme V og T for nedbørdøgn.....	22
3.3.2 Beregning af regnintensitet.....	28
3.3.3 Specielt om usikkerhed på pcts	31
3.3.4 Usikkerhed på transformation af vindhastighed til målerhøjde.....	33
3.3.5 Andet af betydning for usikkerheden.....	35
3.3.6 Når der mangler værdier	35
3.4 DISKUSSION - HVOR LANGT BORTE FRA EN STATION BØR METEOROLOGISKE VARIABLE HØJST TAGES?	36
4 GRUNDLAGET FOR BEREGNINGER.....	38
4.1 STATIONSNETTET.....	38
4.1.1 Basisstationernes stabilitet	38
4.1.2 Hvor langt fra basisstationerne ligger synopstationerne?.....	38
4.1.3 Vurdering af korrigerede dataserier.....	39
4.2 VARIATIONER I DATAGRUNDLAG FOR DE METEOROLOGISKE VARIABLE	41
4.3 MIDDELVÆRDI UNDER NEDBØR - HVOR OFTE?.....	43
4.4 HVOR OFTE V, T OG I LÅ UDENFOR MODELFORUDSÆTNINGER	45
4.5 DISKUSSION AF BEREGNINGSGRUNDLAG	46
5 KORRIGERET NEDBØR FOR PERIODEN 1989-1997	48
5.1 KORRIGERET NEDBØR 1989-1997.....	50
5.2 DISKUSSION AF RESULTATER	52
6 KONKLUSION.....	53
LITTERATUR	

1 Indledning

I takt med de senere års øgede opmærksomhed inden for ferskvandsmiljøet, herunder overvågning af grundvandsressourcer, har der været interesse for korrigeret nedbør tilbage i tiden. Nedbør er som bekendt en af de vanskeligste meteorologiske parametre at måle som følge af systematiske fejl på målingerne. Den største fejlkilde er så afgjort den aerodynamiske effekt, som bevirker at en del af nedbørpartiklerne af vinden føres forbi eller endog op af nedbørmåleren som følge af turbulens omkring måleren, hvorved nedbørmængden bliver underestimeret. Endvidere hænger noget af nedbøren fast på målerens indre vægge og bund og fordamper, den såkaldte wetting. Vindens indflydelse på målingen er generelt særlig stor for fast nedbør (sne), men kan også blive væsentlig for flydende nedbør (regn), når regnintensiteten er lav og vindhastigheden høj. F.eks. kan det nævnes, at ved vindhastigheder på bare 6 m/sek i målerhøjde og let frost opfanger den danske Hellmann måler kun ca. 20% af den sande snemængde.

Der er udviklet metoder til at korrigere målt nedbør for disse fejlkilder: dels en model til korrektion af flydende nedbør (Allerup og Madsen, 1980), og dels en model til korrektion af fast og blandet nedbør (Allerup, Madsen og Vejen, 1997). At der nu foreligger en samlet model til korrektion af alle typer af nedbør, har motiveret udviklingen af et programkompleks, der forener disse modeller, med henblik på at korrigere daglige nedbørmålinger fra vilkårlige områder i Danmark så langt tilbage i tiden, som det med rimelighed har kunnet lade sig gøre. Herved er det blevet muligt at give et mere kvalificeret bud på, hvad der er "den sande nedbørmængde" i Danmark. Dette system er der blevet gjort rede for i en tidligere rapport TR 98-09. Formålet med nærværende rapport er at dokumentere resultatet af dette arbejde ved at se på følgende:

- værdier af korrektionsprocenter og korrigeret nedbør,
- beregningsgrundlaget henover perioden,
- regionale variationer i de variable, modellerne benytter ved korrektion af nedbørmålinger,
- korrektionssystemets robusthed.

2 Korrektion af nedbørmålinger for fejlkilder

2.1 Den generelle korrektionsmodel

En generel model til korrektion af punktnedbørmålinger er nylig blevet udviklet og testet (Allerup, Madsen og Vejen, 1997) mod data opsamlet i forbindelse med et projekt, der handlede om måling af fast nedbør (WMO, 1998). Modellen (1) bestemmer korrektionsfaktoren $K=R_t/H_t$, dvs. forholdet mellem sand nedbør R_t og målt nedbør H_t , på følgende måde

$$\begin{aligned} K(a) &= a \cdot e^{b_0 + b_1 \cdot V + b_2 \cdot T + b_3 \cdot V \cdot T} + (1 - a) \cdot e^{g_0 + g_1 \cdot V + g_2 \cdot \log I + g_3 \cdot V \cdot \log I} \\ &= a \cdot PS(V, T) + (1 - a) \cdot PL(V, I) \end{aligned} \quad (1)$$

V = vindhastigheden (m/sek) under nedbør i målerniveau

T = temperatur (°C) under nedbør

I = regnintensitet (mm/hour)

α = procent af nedbøren faldet som sne

PS = korrektionsfaktoren for sne

PL = korrektionsfaktoren for regn

β, γ = konstanter: $\beta_0 = -0.04587$, $\beta_1 = 0.23677$, $\beta_2 = 0.017979$, $\beta_3 = -0.015407$,
 $\gamma_0 = 0.007697$, $\gamma_1 = 0.034331$, $\gamma_2 = -0.00101$, $\gamma_3 = -0.012177$

Modellen blev oprindeligt designet til korrektion af nedbør målt over døgn eller halvdøgn, og det anbefales at beregne korrektioner på f.eks. månedsbasis ved at opsummere korrigerede daglige værdier. Den først α -del af modellen repræsenterer korrektioner af fast nedbør mens $(1-\alpha)$ -delen klarer korrektion af flydende nedbør (Allerup og Madsen, 1980). Et indtryk af på hvilket niveau korrektionsværdierne ligger fremgår af tabel 2.1, hvor korrektionsfaktorer $K(\alpha)$ er vist for udvalgte værdier af de fire kontrollerende variable α , V, T og I. Det ses, at f.eks. for vindhastighed $V=3$ m/sek, temperatur $T=-2^\circ\text{C}$, $\alpha=50\%$ sne og regnintensitet $I=1$ mm/time er korrektionsfaktoren 1.69. Bemærk, at modellen kun bør benyttes for $0 \leq V \leq 7$ m/sek (fast nedbør), for $0 \leq V \leq 15$ m/sek (flydende nedbør), $-12^\circ\text{C} \leq T$ og $0 \leq I \leq 15$ mm/time.

Korrektionsværdierne er baseret på estimerede β - og γ -parametre for den nationale standard nedbørmåler Hellmann. Data fra WMO-projektet blev benyttet og begge dele af den samlede korrektionsmodel er blevet testet. Selvom parametrene er estimeret for målinger med Hellmann måleren, er det forventet at den generelle struktur for modellen også vil gælde for data fra andre slags nedbørmålere ^{s*)}. Faktisk er adskillige nedbørmålere blevet testet på måling af flydende nedbør i tidligere analyser (Allerup og Madsen, 1986), og forskellige γ -sæt blev fundet for de forskellige målertyper ved brug af den sammen basismodel, nemlig $(1-\alpha)$ -delen af (1). Det forventes yderligere, at modellen gælder uafhængigt af klimatiske betingelser. Vindhastigheden bør måles ved nedbørmåleren, og hvis det ikke har været tilfældet, skal vindhastigheden korrigeres for lokale læforhold, inden den benyttes i korrektionsmodellen (1) (Førland et al, 1996).

^{*)} For nationale Nordiske nedbørmålere kan parameterestimater findes i Førland et al., 1996.

For detaljer om den samlede korrektionsmodel henvises der til tidligere Technical Reports no. 98-9 og 98-10.

2.2 Læforholdenes betydning

Mangeårig praksis her i landet har været at måle sne uden at forsyne nedbørmåleren med en skærm. Det kan give et betydeligt deficit på målingerne, særlig ved højere vindhastigheder. Når man sammenligner nedbørmålinger for at se, om “nedbørfladen” ser fornuftig ud, er det især for sne utrolig vigtigt at være klar over, under hvilke forhold målingerne er blevet foretaget. Hvordan er læforholdene? Hvad har vindhastigheden været i målerhøjde?

De lokale læforhold er overordentlig vigtige for korrektionens størrelse. Reduktionen af vindhastigheden V som følge af læ kan beskrives ved $1-k\cdot\alpha$ (Sevruk 1988), hvor k er en konstant og α er den gennemsnitlige højdevinkel, eller læindex, for lægivere omkring nedbørmåleren. Læindex er beregnet ved i 8 kompasretninger at vægte højdevinklen med vindhyppigheden. En lægiver står for tæt på måleren, når højdevinklen er over 30° , og noget af nedbøren vil da blive opfanget ved interception og ikke blive målt (Førland et al., 1996). Der findes ikke metoder, der kan korrigerer for denne systematiske fejl. Interceptionen begynder dog først at betyde noget ved vinkler over $40-45^\circ$, og kriterierne for valg af stationer er indrettet efter dette forhold.

Tabel 2.2 og 2.3 viser, hvor stor betydning vind- og læforholdene faktisk har for nedbørmålinger med Hellmann måleren: der bliver opfanget betydeligt mere sne allerede ved moderat læ. Tabel 2.2 viser korrektionsfaktoren ved måling af sne og regn ved forskellige vind- og læforhold for fastholdt regnintensitet I og lufttemperatur T . Stationer uden læ har læindex på 0 til 5, moderat beskyttede stationer har læindex på 5 til 19, mens velbeskyttede har værdier på 19 til 30 (have og parklignende forhold). Tabel 2.3 viser, hvor meget mere nedbør (i %), der ville blive målt, hvis læforholdene blev ændret fra intet læ til hhv. læindex 10, 20 og 30. En måler, der er uden læ og f.eks. måler 20 mm sne ved 6 m/sek og 3 graders frost, ville måle 37 mm hvis der blev plantet træer nok omkring den til at give et læindex på 20. Regnestykket ser således ud: $P_{20}=P_0\cdot(K_0/K_{20})=20\text{mm}\cdot 4.944/2.683=36.9\text{mm}$, hvor subscript indikerer læindex.

I	T	$\alpha=0.00$		$\alpha=0.20$		$\alpha=0.50$		$\alpha=0.80$		$\alpha=1.00$	
		V=3	V=6	V=3	V=6	V=3	V=6	V=3	V=6	V=3	V=6
1	0	1.12	1.24	1.32	1.86	1.62	2.79	1.93	3.71	2.13	4.33
3	0	1.07	1.14	1.28	1.78	1.60	2.74	1.92	3.70	2.13	4.33
5	0	1.05	1.10	1.27	1.75	1.59	2.72	1.91	3.69	2.13	4.33
1	-2	1.12	1.24	1.34	2.00	1.69	3.13	2.03	4.27	2.25	5.03
3	-2	1.07	1.14	1.31	1.92	1.66	3.09	2.02	4.25	2.25	5.03
5	-2	1.05	1.10	1.29	1.89	1.65	3.06	2.01	4.24	2.25	5.03
1	-4	1.12	1.24	1.37	2.16	1.75	3.54	2.13	4.92	2.38	5.84
3	-4	1.07	1.14	1.33	2.08	1.73	3.49	2.12	4.90	2.38	5.84
5	-4	1.05	1.10	1.32	2.05	1.72	3.47	2.12	4.89	2.38	5.84
1	-6	1.12	1.24	1.40	2.35	1.82	4.01	2.24	5.67	2.52	6.78
3	-6	1.07	1.14	1.36	2.27	1.80	3.96	2.23	5.65	2.52	6.78
5	-6	1.05	1.10	1.35	2.23	1.79	3.94	2.23	5.64	2.52	6.78

Tabel 2.1. Korrektionsfaktorer $K(a)$ for udvalgte værdier af V =vindhastighed (m/sek) i målerniveau under nedbør, T =temperatur ($^\circ\text{C}$) under nedbør, I =regnintensitet (mm/hour) og a =sneprocent.

Når man således ser betydningen af læ, står det også klart, at det kan være en temmelig umulig opgave at sammenligne nedbørmålinger i en region, særlig for sne, hvis ikke også læ- og vindforholdene i måleperioden, eller rettere nedbørperioden, bliver vurderet. Den regionale nedbørfordeling kan meget vel blive vendt helt på hovedet.

læindex	Korrektion for læeffekt:			Korrektionsfaktor K for regn:			Korrektionsfaktor K for sne:		
	V	V_{kor}	ændr%	I=0.1	I=1.0	I=10.0	T=0.0	T=-3.0	T=-6.0
0	0	0.0	-	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0	2	2.0	0	1.144	1.079	1.018	1.534	1.594	1.656
0	4	4.0	0	1.296	1.156	1.031	2.463	2.807	3.200
0	6	6.0	0	1.468	1.238	1.044	3.954	4.944	6.181
0	8	8.0	0	1.664	1.326	1.057	6.349	8.707	11.941
10	0	0.0	-	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
10	2	1.6	18	1.119	1.066	1.016	1.408	1.440	1.471
10	4	3.3	18	1.239	1.128	1.026	2.077	2.290	2.525
10	6	4.9	18	1.373	1.193	1.037	3.062	3.642	4.332
10	8	6.6	18	1.521	1.262	1.048	4.515	5.793	7.433
20	0	0.0	-	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
20	2	1.3	36	1.094	1.053	1.014	1.293	1.300	1.307
20	4	2.6	36	1.185	1.100	1.022	1.751	1.868	1.992
20	6	3.8	36	1.283	1.150	1.030	2.371	2.683	3.036
20	8	5.1	36	1.390	1.201	1.038	3.210	3.854	4.627
30	0	0.0	-	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
30	2	0.9	54	1.070	1.040	1.011	1.188	1.174	1.161
30	4	1.8	54	1.133	1.073	1.017	1.477	1.523	1.571
30	6	2.8	54	1.200	1.108	1.023	1.836	1.976	2.127
30	8	3.7	54	1.271	1.143	1.029	2.283	2.564	2.880

Tabel 2.2. Korrektionsfaktor for Hellmann uden skærm ved forskellige vind- og læforhold for fastholdt regnintensitet I og lufttemperatur T . V er vindhastigheden, V_{kor} er vindhastigheden efter korrektion for læeffekt.

2.3 Korrektionsystem

For at kunne korrigere nedbørmængden, skal forskellige variable være observeret eller kendt ad anden vej:

- nedbørvarighed for at kunne bestemme regnintensiteten I , da denne ikke bliver målt direkte,
- vindhastighed V ,
- lufttemperatur T ,
- snedybde S til brug ved beregning af vindhastighed i nedbørmålerens niveau,
- nedbørens art for at kunne bestemme sneprocenten p og dermed sikre, at den korrekte korrektionsmodel bliver benyttet,
- højdevinkler til nærmeste lægger omkring nedbørmåleren for at kunne beregne læeffekten,
- tidspunkt for nedbør for at kunne bestemme middelværdier under nedbør af T og V ,
- tabene som følge af wetting og fordampning.

De meteorologiske data bliver målt ved en række stationer i Danmark, dels ved automatiske klimastationer som måler i 1 times opløsning, og dels ved synopstationer hvor der bliver målt i

sædvanligvis 3 timers opløsning. Ved de manuelle nedbørstationer bliver der kun målt nedbør. Figur 2.1 viser stationernes fordeling.

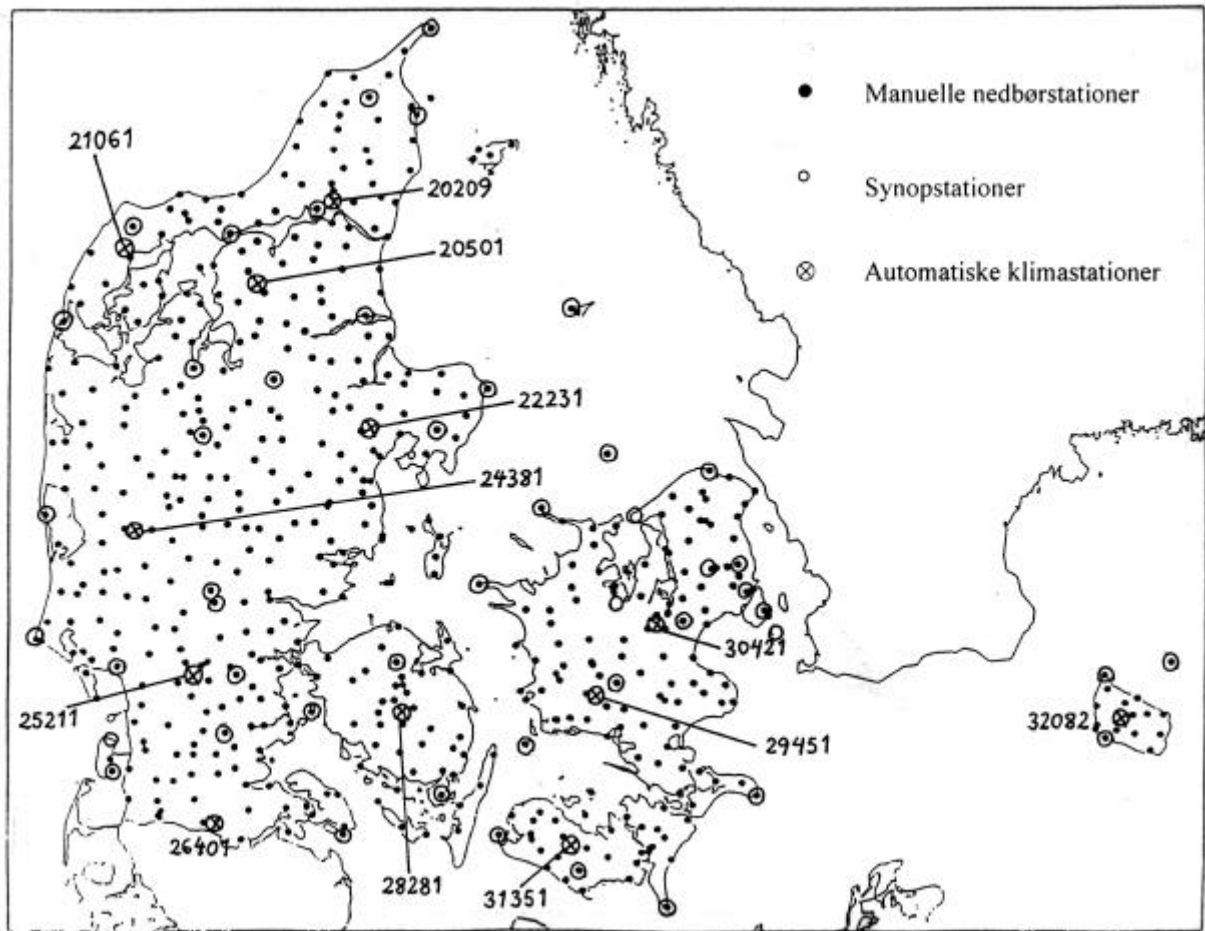
læindex	Korrektion for læeffekt:			Forøgelse af regnmængde %			Forøgelse af snemængde %		
	V	V _{kor}	ændr%	I=0.1	I=1.0	I=10.0	T=0.0	T= -3.0	T= -6.0
0	0	0.0	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0	2	2.0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0	4	4.0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0	6	6.0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0	8	8.0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0	0.0	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	2	1.6	18	2.271	1.244	0.227	8.898	10.725	12.583
10	4	3.3	18	4.593	2.503	0.454	18.587	22.600	26.748
10	6	4.9	18	6.968	3.777	0.682	29.138	35.748	42.696
10	8	6.6	18	9.397	5.068	0.910	40.628	50.307	60.651
20	0	0.0	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20	2	1.3	36	4.593	2.503	0.454	18.587	22.600	26.748
20	4	2.6	36	9.397	5.068	0.910	40.628	50.307	60.651
20	6	3.8	36	14.421	7.697	1.368	66.766	84.275	103.623
20	8	5.1	36	19.677	10.393	1.829	97.763	125.921	158.088
30	0	0.0	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30	2	0.9	54	6.968	3.777	0.682	29.138	35.748	42.696
30	4	1.8	54	14.421	7.697	1.368	66.766	84.275	103.623
30	6	2.8	54	22.394	11.765	2.060	115.359	150.150	190.562
30	8	3.7	54	30.923	15.987	2.756	178.110	239.574	314.621

Tabel 2.3. Betydning af læforhold ved måling af nedbør for Hellmann uden skærm ved forskellige vind- og læforhold for fastholdt regnintensitet og lufttemperatur. Tallene viser, hvor meget mere nedbør Hellmann ville måle, hvis læforholdene blev ændret fra intet læ til et læindex på hhv. 10, 20 og 30.

Der er sammensat et system til korrektion af daglige nedbørmålinger i Danmark, og dette er lettere beskrevet i det følgende. En detaljeret dokumentation findes i (Vejen, Allerup og Madsen, 1998).

I praksis bliver målinger af døgnnedbør i Danmark korrigeret ved hjælp af kontrollerende variable, som er blevet beregnet ved den nærmeste station med målinger heraf, som regel en automatisk klimastation. Danmark er således blevet delt op i 12 regioner, som hver har en sådan station, en basisstation, stående i midten af regionen. Regionsgrænserne er fremkommet ved at opdele i Thiessenpolygoner, med mindre havgrænser giver grund til at lave en anden grænsedragning. Dette er blevet gjort ud fra en antagelse om isotropi på korrektionsfaktoren. Blandt andet giver topografien ikke anledning til dramatiske forskelle i nedbørforholdene sammenlignet med bjergegne, og almindeligvis er der kun begrænsede regionale forskelle i middelværdi under nedbør af vindhastighed og temperatur, når der arbejdes med områder af en størrelse som de viste polygoner. Det vil efterfølgende blive testet, om denne antagelse holder. På mindre skala kan lokale variationer i vindhastigheden, særlig i kystzoner, dog gøre korrektion af nedbør temmelig kompleks.

Ved klimastationerne (basisstationerne) bliver der ikke målt snedybde og nedbørart, så oplysninger herom bliver skaffet fra synopstationer, og ved synopstationerne mangler der nedbørvarighed. En ide om regnintensiteten kan fås ved at se på vejrkode (Hägemark, 1995).



Figur 2.1. Fordelingen af automatiske klimastationer (⊗), synopstationer (O) og manuelle nedbørstationer (●).

Basisstationerne ligger inde i landet for at undgå kysteffekter, og de skal helst have fungeret stabilt gennem længere tid. Vindhastigheden afspejler frit eksponerede forhold, ellers bliver korrektionerne for lave. I kystområder vil basisstationen ikke altid være repræsentativ pga. lokale variationer i vindhastigheden. Ved driftsforstyrrelser blandt automatiske klimastationer er den bedst egnede synopstation indenfor hver region i stedet blevet benyttet som basisstation.

Da de manuelle nedbørmålinger er i 24 timers opløsning, bliver der beregnet en række døgnværdier: middelværdi under nedbør af vindhastighed V og lufttemperatur T samt døgnværdier af regnintensitet I , wettingtab w , sneprocent $pcts$ og snetykkelse S . Her er V , T , I og $pcts$ kontrollerende variable i korrektionsmodellerne. Vindhastigheden i nedbørmålerens højde 1.5m bliver beregnet vha. den logaritmiske vindlov, idet der ved nulplansforskydning samtidig tages hensyn til snedybden. Denne kan i særlige situationer være stor nok til at være af betydning. Yderligere bliver der taget hensyn til læforholdene ved nedbørstationerne ved at korrigerer vindhastigheden for læforholdene givet ved et læindex, som er beregnet ud fra højdevinkler i 8 kompasretninger. Wettingtabet bliver indregnet i den korrigerede nedbørmængde. Hvis der ikke er faldet nedbør ved en basisstation eller tidspunktet for nedbør ikke er kendt, bliver V og T i stedet beregnet som en døgnværdi.

2.4 Kriterier for valg af nedbørstationer

En række manuelle nedbørstationer er blevet udvalgt med henblik på korrektion af nedbør. Forskellige kriterier ligger til grund for valg af stationer:

- Det er tilstræbt, at stationerne har en sammenhængende dataserie helst for 1981-1997, men mindst for 1983-1996. Midlertidige afbrydelser af en dataserie blev accepteret.
- Der skulle være målinger af højdevinkler mindst siden 1982 hhv. til og med 1996.
- Ingen højdevinkler måtte være $>45^\circ$ i perioden.
- Mod NV, N og NØ måtte højdevinklen godt være op til 45° fordi nedbør ved denne vindretning er mindre hyppig, mens vinklen skulle være mindre end 40° mod Ø, SØ, S, SV og V, ved hvilke vindretninger hovedparten af nedbør falder.
- Læindex måtte højst være 30 i perioden.

Det resulterede i dataserier for 212 stationer. Numre og navne på disse er vist i tabel 5.1.

2.5 Hvordan har datagrundlaget ændret sig tilbage i tiden?

Til korrektion af gamle nedbørdata har der været benyttet automatiske klimastationer, hver der bliver målt hver time og synopstationer med observationer hver 3. eller 6. time, altså stationer med hyppige målinger. De automatiske klimastationer har kun eksisteret fra omkring 1987, og i starten med datahuller og fejl. Siden 1961 foreligger der synopdata fra et nogenlunde stabilt stationsnet, men tidsopløsningen på data har varieret. De ældre synopdata er kun i 6 timers opløsning, men i 1980'erne blev der ved flere og flere stationer målt hver 3. time. Nogle stationer har i perioder endog målt hver time. Da der ikke er blevet målt "på samme måde" altid, er det umuligt at lave en tidsmæssigt homogen opdeling af landet i regioner, og det kan være vanskeligt at sammenligne korrektionsestimater over tid. Det var derfor ikke sikkert, at ambitionen om at kunne korrigere alle nedbørmålinger siden 1981 kunne opfyldes.

3 Usikkerhed på den korrigerede nedbørmængde

3.1 Generelt

Mange forhold har betydning for, hvor stor usikkerheden på estimerne er:

- målingernes opløsning i tid og rum,
- hvor repræsentative de er i tid og rum,
- usikkerhed på måleudstyr,
- usikkerhed på selve korrektionsmodellen, idet der som gennemsnit gælder, at ved $1 \times$ standardafvigelsen er usikkerheden på korrektionsfaktoren $\pm 8\%$ for snemodellen og $\pm 6\%$ for regnmodellen,
- usikkerhed på metoder til beregning af meteorologiske variable,
- om T, I og V ligger indenfor modellernes gyldighedsområde eller ej.

Usikkerheden er kædet sammen med, hvor lang tid en nedbørhændelse varer såvel som variationerne i tid og rum af temperatur, vindhastighed og regnintensitet (den synoptiske situation). Altså på den ene side hvor godt målingerne repræsenterer forholdene under nedbør, og på den anden hvor godt en basisstation repræsenterer variationerne i tid og rum i dens hydrografiske opland. F.eks. sker det af og til, at der er tørvejr ved basisstationen, så værdier af T, I og V under nedbør ikke kan beregnes, så her må T, I og V beregnes som døgnværdier. Det er tidligere blevet vist (Allerup og Madsen, 1986), at hvis korrektionen er baseret på regnintensitet målt 10 km fra nedbørstationen, er effekten på korrektionen ca. $\pm 8\%$ for høje vindhastigheder (18 m/sek) og $\pm 2\%$ for lave vindhastigheder (4 m/sek).

Af kontinuitetsgrunde skal basisstationerne være stabile over tid, men selv for gode stationer kan der forekomme afbrydelser i dataserien. Stationer med god tidsopløsning og det nødvendige målingsprogram har kun eksisteret i en ret kort periode. Det kan give homogenitetsbrud i korrigerede tidsserier, hvis der undervejs skiftes fra en basisstation til en anden. Ændringer i stationsnettet har indflydelse på, hvor repræsentative målingerne er i hver region, og det kan være vanskeligt at sammenligne korrigeret nedbør fra forskellige perioder. Da tidsopløsningen for ældre data er dårligere end for nye, bliver korrektionsestimerne mere unøjagtige bagud i tid.

3.2 Betydningen for korrektionsfaktoren af regionale variationer af V, T, I og pcts

Et væsentligt bidrag til usikkerheden på korrektionsfaktoren K er, at de kontrollerende variable V, T, I og pcts ikke bliver bestemt ud fra målinger på stedet, men kommer fra basisstationer, der ligger i en vis afstand fra nedbørstationen. Betydningen af afstanden til basisstationen vil blive undersøgt ved at analysere regionale variationer på korrektionsniveau. Målet er at finde ud af, i hvor lang afstand fra basisstationerne, de kontrollerende variable kan hentes, hvis man accepterer, at bidraget til usikkerheden på estimatet ved at gøre sådan højst må være f.eks. $\pm 8\%$.

Standardbrugen af modellen (1) er baseret på input af α , V, T og I, som er blevet målt på stedet eller forholdsvis tæt på nedbørmåleren. Nærværende analyse undersøger hvad der sker, hvis α , V, T og I-information må benyttes fra fjernere liggende stationer, fordi data ikke foreligger lokalt eller mangler.

Der er et praktisk behov for at korrigere daglige nedbørmålinger i Danmark. For mange stationer er α , V, T og I-information uheldigvis ikke tilgængelige ved stationen, så spørgsmålet rejser sig om korrektionsestimatet stadig er brugbart indenfor visse grænser, hvis α , V, T og I er ekstrapoleret fra en fjernere liggende station. For at analysere disse spørgsmål, er data fra de 12 automatiske klimastationer (basisstationerne) og synopstationer blevet benyttet (se kortet figur 2.1).

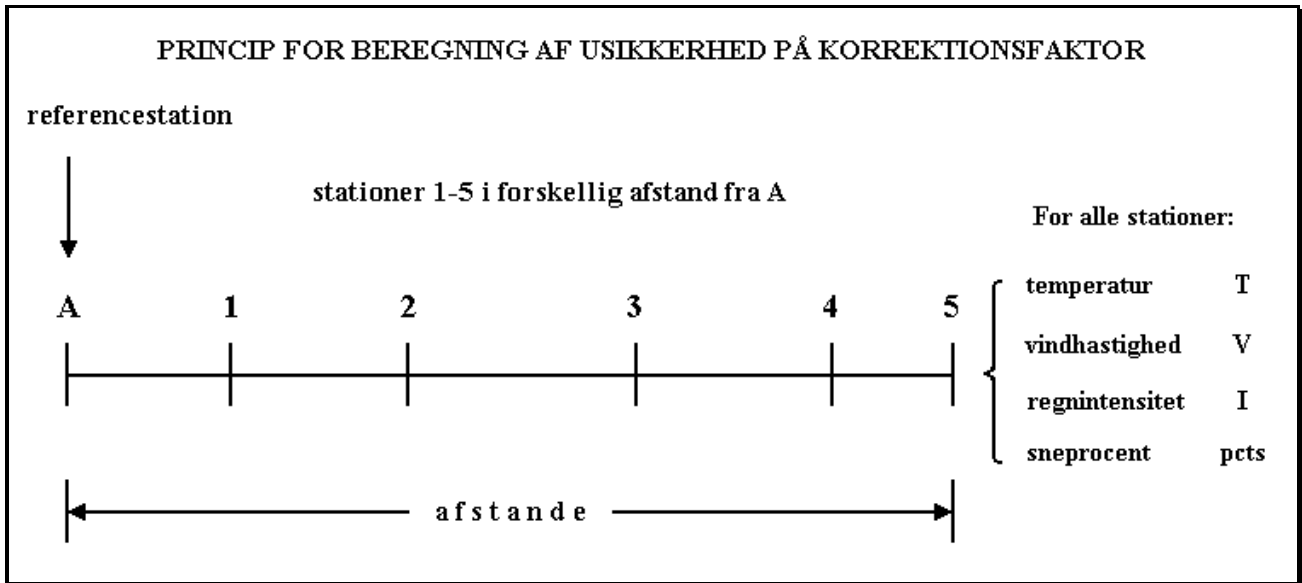
Kriteriet for at acceptere, at der bliver benyttet α , V, T og I-information fra et andet sted end nedbørstationen vil blive defineret i detaljer nedenfor. Strategien for analysen er, at korrektioner beregnet ved at benytte information om α , V, T og I fra stedet vil blive sammenlignet med korrektionsværdier, der er fremkommet ved at benytte *samtidig* α , V, T og I-information fra et andet sted. Både temporale og spatiale aspekter gør sig gældende i forbindelse med sådanne analyser, og det kunne indvendes at kendte non-isotropic egenskaber i de spatiale fordelinger af vindhastighed ville have indflydelse på, "hvor" manglende information om vind med tilfredsstillende resultat kan hentes. Det er målet at vise, i hvor høj grad α , V, T og I-information kan hentes andre steder fra, samt at udfaldet af denne procedure *kun* afhænger af afstanden.

Det er vigtigt at slå fast, at der i analysen af usikkerhed bliver fokuseret alene på variationer i korrektionsfaktoren. Det skyldes, at det ikke er relevant at undersøge usikkerheden på V, T, I og pcts, fordi variationen heraf jo ses gennem variationen i korrektionsfaktoren. Det giver derimod mere mening at se på regionale variationer af K, som jo er en følge af variationerne på V, T, I og pcts. Den samlede usikkerhed på korrektionsfaktoren, ΔK , er jo netop resultatet af den samlede effekt af ΔI , ΔT , ΔV og $\Delta pcts$.

3.2.1 Analysemetoder

Der er blevet analyseret data fra automatiske klimastationer ved at se på, hvad der sker med K, når V, T, I og pcts bliver hentet fra stationer gradvis længere væk. Princippet fremgår af figur 3.1. Analyserne er foretaget på døgnværdier, da manuelle nedbørmålinger i Danmark stort set alle er i denne tidsopløsning. Korrektionsfaktorer ved referencestationen A giver den facitliste, med hvilken K beregnet ud fra meteorologiske data fra de øvrige stationer vil blive sammenlignet.

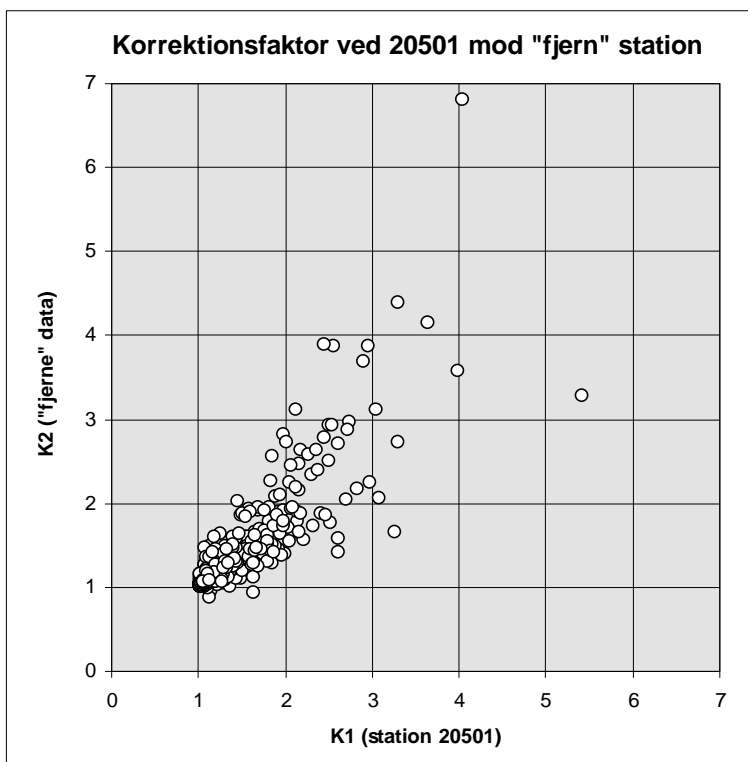
For hver af de 12 basisstationer er serier af korrektionsværdier $K(\alpha)$ blevet beregnet ud fra korrektionsmodellen (1) for døgn, hvor der er blevet målt nedbør >0.0 mm *ved mindst en* af basisstationerne. Disse data udgør en tabel på 12 kolonner. Tabel 3.1 viser to af disse kolonner med henblik på at illustrere trinene i den statistiske analyse. Den basisstationer, der er blevet valgt som "lokal", er station S20209 (se kortet i figur 2.1), mens den "fjerne" station er S20501, som er den station der erstatter lokalt manglende værdier af α , V, T og I-information. Den "fjerne" station ligger ca. 50 km fra S20209. De viste data refererer til observationer fra begyndelsen af den periode, der er blevet studeret, dvs. februar og marts 1989. Hele undersøgelsesperioden strækker sig over perioden 1989-1997. Det ses f.eks. af tabellen, at den aktuelle korrektionsfaktor ved S20209 den 25/2 var $K_2=1.32$ baseret på lokale observationer: $\alpha=14\%$ sne, $V=3.88$ (m/sek), $T=2.4$ (°C) and $I=0.96$ (mm/time). Ved at benytte α , V, T, I-input fra S20501, hvor $\alpha=19\%$, $V=2.87$, $T=1.5$ og $I=1.03$, fremkommer der i stedet korrektionsfaktoren $K_1=1.28$.



Figur 3.1. Principskitse for analyse af data med henblik på at beregne usikkerhed på korrektionsfaktor K .

Det vigtigste problem er at sammenligne K_1 og K_2 værdier ud fra den betragtning, at afstanden mellem den "lokale" og den "fjerne" station er den uafhængige variabel, der er af væsentligst interesse for analysen af forskellen mellem K_1 og K_2 .

En empirisk sammenligning mellem disse to datasæt af korrektionsfaktorer er vist i figur 3.2. Her er vist det komplette sæt af omkring 2500 værdier, dvs. 2500 døgn med nedbørmængder $>0\text{mm}$ ved enten S20209 eller S20501 er vist i diagrammet.



Figur 3.2. Korrektionsfaktorer K_1 (x-akse) og K_2 (y-akse) fra tabel 3.1.

Med hensyn til at evaluere relationen mellem K_2 og K_1 og, på den anden side forskellen mellem K_1 og K_2 , kan forskellige teknikker tages i anvendelse. Faktisk kan korrelationsmål eller fit-statistik fra lineære regression teknikker blive benyttet til at opsummere, hvor tæt K_2 værdierne er på K_1 værdierne - jo tættere de er på hinanden des mere acceptabelt forekommer det at erstatte "lokal" information om α, V, T, I med "fjerne" værdier.

Det er klart fra figur 3.2, at variansen for de rå korrektionsværdier K_1 og K_2 vokser med stigende niveau af K_1, K_2 . Denne egenskab er velkendt fra tidligere analyser af flydende og fast nedbør, hvor K_1 og K_2 repræsenterede nedbørrater, dvs. forholdet mellem nedbørmålinger med en reference nedbørmåler og en måler udsat for vindpåvirkning (Allerup og Madsen, 1980; Allerup, Madsen og Vejen, 1997). Dette leder følgelig til statistiske analyser af log-transformerede værdier af K_1 og K_2 . Der gælder faktisk, at for fastholdte værdier af V, T og I , er de residuale fejl σ_s og σ_r for hver del af den samlede korrektionsmodel (1) homoscedastiske:

$$\begin{aligned} \log PS(V, T) &\sim Normal(b_0 + b_1 \cdot V + b_2 \cdot T + b_3 \cdot V \cdot T, S_s^2) \\ \log PL(V, I) &\sim Normal(g_0 + g_1 \cdot V + g_2 \cdot \log I + g_3 \cdot V \cdot \log I, S_r^2) \\ S_s^2 &\approx 0.08 \\ S_r^2 &\approx 0.06 \end{aligned} \tag{2}$$

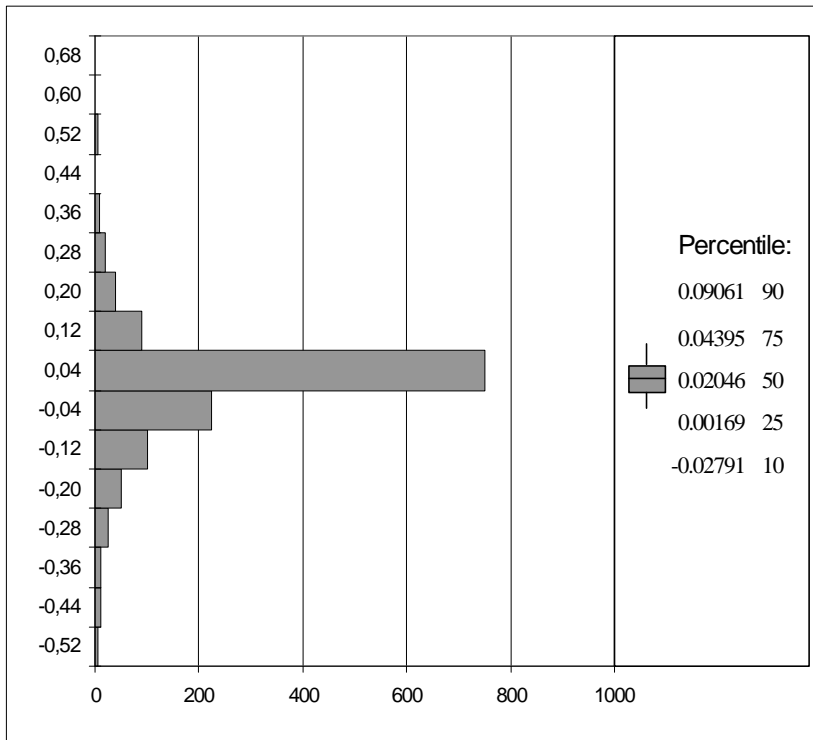
Statistiske analyser af forskellen mellem "fjern" K_1 og "lokal" K_2 bør derfor være baseret på analyser af $\log(K_1)$ og $\log(K_2)$ snarere end de rå korrektionsværdier.

To separate forhold er af interesse, når den *generelle* forskel mellem K_1 og K_2 analyseres: (1) vil brugen af "fjerne" værdier af α, V, T, I resultere i *bias* (dvs. systematisk skævhed) på korrektionsværdierne sammenlignet med hvad der bliver estimeret "lokalt"? og (2) er det generelt muligt at erstatte K_2 værdier med K_1 værdier og samtidig opnå *tilstrækkelig grad* af præcision?

Med hensyn til eksemplet givet i tabel 3.1 er der i figur 3.3 vist den komplette fordeling af differenser givet ved $\Delta = \log(K_2) - \log(K_1)$.

Figur 3.3 opsummerer den komplette fordeling af Δ som et standard boxplot (10,25,50,75,90 - percentiler), og fra beregningerne er der fundet følgende værdier: median=0.02046, middelværdi=0.02454 og standardafvigelse=0.087422. Dette eksempel viser en rimelig symmetrisk fordeling af Δ , en egenskab der gør det muligt at benytte middelværdi og standardafvigelse til at karakterisere fordelingen. Det er imidlertid klart, at fordelingen vist i figur 3.3 har en kurtosis (topstøjhed) der er større end den, der karakteriserer en normalfordeling.

Når der skal vælges fornuftige kriterier til evaluering af Δ -forskellene, er det tillige nødvendigt at inkludere de statistiske mål, der påviseligt knytter sig naturligt til den basale korrektionsmodel (1). Fra udviklingen af modellen eksisterer der endelige estimater af residualfejlene $s_r^2=0.06$ og $s_s^2=0.08$, og de må nødvendigvis indgå i evalueringen af en sammenhæng mellem K_1 og K_2 værdierne. For sneprocent α tæt på 0.00 eller 1.00 gælder der ganske enkelt, at konfidensgrænser for $K(\alpha)$ er relateret til fit-egenskaber for hver af delmodellerne $PS(V, T)$ (sne) og $PL(V, I)$ (regn) i formel (1).



Figur 3.3. Fordeling og et boxplot af et antal daglige differenser $D = \log(K_2/K_1)$ mellem “lokale” korrektionsværdier K_2 (station 20209) og “fjerne” korrektioner K_1 (20501) taget 50 km borte. Det vertikale boxplot viser 25 og 75 perrcentilerne, og er blevet udvidet med mærker for 10 og 90 percentilerne. Alle data ($N=1268$) er blevet benyttet.

Et passende mål for evaluering af diskrepanserne mellem K_1 og K_2 kan derfor være baseret på 95% prediktionsintervaller $\text{Pred}_{95\%}(\log \text{PS}(V,T))$ og $\text{Pred}_{95\%}(\log \text{PL}(V,I))$, som kommer fra regressionsanalyser med V , T og I som uafhængige variable. Dette skridt mod en generel metode til evaluering af Δ -forskelle benytter den antagelse, at det aktuelle kendskab (omend komplekst) om samtidige afvigelser mellem “lokale” målinger af vindhastighed V , temperatur T og regnintensitet I kan ignoreres, og den resulterende afvigelse mellem de to korrektionsværdier K_1 og K_2 i stedet blive betragtet som stokastiske. Evaluering af denne stokastiske forskel vil derfor følge reglerne for evaluering af residualfejl, som indgår i s_s og s_r . Ud fra hypotesen om, at de “lokale” (manglende) værdier kan ombyttes med samtidige “fjerne” værdier, vil fordelinger af Δ passe til de sædvanlige prediktionsgrænser beregnet fra regressionsanalyse.

For eksemplet givet i tabel 3.1 og figur 3.2 viser såvel en t-test evaluering som en non-parametrisk test (Wilcoxon) af middelværdien $\Delta = 0.024536$, at der er *signifikant* positive afvigelser til fordel for de “lokale” K_1 værdier^{*)} idet der benyttes $\sigma^2 = 0.07$ som en middelværdi for residualfejlen for blandet nedbør. Transformatet til en omtrentlig bredde på 10%-90% for de stokastiske fejl, resulterer dette i $2 \times 1.28\sigma = 0.67$. Dette interval er af samme bredde hvis den empiriske varians $\sigma^2 = 0.087422$ for Δ bliver benyttet.

En konklusion ville derfor være, at der er bias på de “fjerne” værdier (omkring 2%), hvilket betyder en præcision af en størrelsesorden, som ligger indenfor den basale residuale fejl for korrektionsmodellen (1). Det bør imidlertid fremhæves, at fordelingen af Δ ikke er normalfordelt og at de rå 10%-90% Box plot percentiler resulterer i intervallet: $[-0.02791, +0.09061]$, dvs. af en længde $= 0.12$, altså af en længde på kun 20% af den σ -baserede længde.

^{*)} Brugen af t-test vil blive diskuteret senere.

Å R	M Å N D	E A G	“fjerne” data				korrektions- faktorer		“lokale” data			
			α	V	T	I	K_1	K_2	α	V	T	I
1989	2	20	0.00	3.40	8.6	1.23	1.12	1.19	0.00	5.66	7.1	1.45
1989	2	21	0.00	3.86	3.7	0.81	1.16	1.17	0.00	5.05	2.9	1.49
1989	2	22	0.08	2.40	3.2	1.11	1.14	1.12	0.02	3.22	2.8	1.94
1989	2	23	0.00	2.77	3.5	1.28	1.10	1.14	0.00	3.39	3.2	0.79
1989	2	24	0.02	2.35	2.6	0.91	1.11	1.21	0.08	3.51	3.2	1.28
1989	2	25	0.19	2.87	1.5	1.03	1.28	1.32	0.14	3.88	2.4	0.96
1989	2	26	0.01	3.47	3.9	0.94	1.15	1.17	0.00	5.02	4.1	1.41
1989	2	27	0.16	2.52	3.0	0.76	1.22	1.31	0.40	2.14	2.7	1.86
1989	2	28	.	.	.	.	.	1.10	0.00	2.15	4.2	0.57
1989	3	1	0.00	2.36	2.6	1.27	1.09	1.13	0.05	2.49	2.7	1.19
1989	3	2	0.00	2.07	2.4	0.66	1.09	1.09	0.00	2.28	3.0	0.94
1989	3	3	.	.	.	.	.	1.07	0.00	1.53	3.1	0.79
1989	3	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1989	3	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1989	3	6	0.00	2.87	6.2	0.98	1.11	1.14	0.00	4.06	6.3	1.36
1989	3	7	.	.	.	.	.	1.13	0.00	2.78	5.5	0.57
1989	3	8	0.00	1.47	7.3	1.18	1.06	.	.	.	.	.
1989	3	9	0.00	1.51	4.7	0.84	1.06	1.10	0.00	2.59	4.3	0.98
1989	3	10	0.00	3.14	6.1	0.80	1.13	1.12	0.00	2.94	5.0	0.99
1989	3	11	0.00	2.86	7.0	0.78	1.12	1.14	0.00	3.12	7.1	0.69
1989	3	12	0.00	2.65	7.1	0.79	1.11	1.14	0.00	3.45	7.0	0.98
1989	3	13	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1989	3	14	0.00	4.47	5.7	1.14	1.17	1.20	0.00	5.59	5.8	1.28
1989	3	15	.	.	.	.	.	1.18	0.00	4.27	3.7	0.87
1989	3	16	0.00	3.17	3.4	1.04	1.12	1.14	0.01	3.66	3.4	1.24
1989	3	17	0.00	3.40	3.5	1.05	1.13	1.10	0.00	2.78	3.6	1.14
1989	3	18	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1989	3	19	0.00	5.21	3.7	0.88	1.22	1.28	0.00	6.70	3.3	0.86
1989	3	20	0.00	3.29	5.5	0.89	1.13	1.20	0.00	5.63	4.6	1.29
1989	3	21	0.00	2.62	6.0	0.82	1.11	1.10	0.00	2.91	5.7	1.30
1989	3	22	0.30	1.97	2.3	1.12	1.24	1.32	0.31	2.59	2.9	1.32
1989	3	23	0.00	3.83	4.8	1.49	1.13	1.21	0.06	4.28	4.3	1.54
1989	3	24	0.19	4.08	2.2	1.33	1.40	1.85	0.35	5.26	2.5	1.45
1989	3	25	0.00	3.79	4.4	1.82	1.12	1.15	0.00	4.88	4.5	1.73
1989	3	26	0.00	5.82	5.3	0.95	1.23	1.23	0.00	7.47	4.9	1.90

Tabel 3.1. Korrektionsfaktorer K_1 (“fjern”), K_2 (“lokal”) beregnet ud fra formel (1) og baseret på “lokale” a, V, T, I -input (S20209) og “fjerne” a, V, T, I -input (S20501). En “.” indikerer manglende værdier.

Bedømmelsen af generelle afvigelser mellem K_1 og K_2 , nemlig vurderingen af spatial afstand mellem “lokal” og “fjern”, vil derfor være baseret på evalueringer af percentiler i Δ -fordelinger (Boxplots) og non-parametriske tests (Wilcoxon) snarere end på middelværdier og standardafvigelser (t-tests) for Δ -fordelingen.

Analysen vil fokusere på ekstrapolation af *alle* de kontrollerende variable, der hentes fra en “fjern” station til en “lokal” station. Det er imidlertid af interesse for den generelle evalueringsprocedure at studere, hvad der sker hvis *kun en* af de kontrollerende variable α =sneprocent, V =vindhastighed, T =temperatur og I =regnintensitet bliver erstattet med en “fjern” værdi. Ud fra et rent praktisk synspunkt tyder det på, at for up-to-date udstyr mangler enten ingen eller alle fire variable “lokalt”.

Dette giver en grund til, hvorfor der vil være fokus på, om det er tilstrækkeligt at erstatte alle fire variable med “fjerne” observationer. Evaluering af indflydelsen af hver af de fire variable vil blive udført som *marginale* analyser, og anbefalinger med hensyn til hvor langt fra “fjerne” målinger kan hentes til erstatning af en enkelt variabel, bliver derfor udledt marginalt.

3.2.2 Resultater

De tolv basisstationer er placeret, så typiske regioner er repræsenterede. Data i analyserne er daglige observationer (se detaljer ovenfor) for perioden januar 1989 til december 1996. Hver af de tolv stationer fungerer på skift som “lokal” med de andre som “fjerne” stationer, idet der undersøges f.eks. udskiftning af *alle fire* variable sneprocent= α , vindhastighed= V , temperatur= T og regnintensitet= I . Tolv diagrammer (hver med en fastholdt “lokal” station) indeholder elve grupper af $\Delta = \log(K_2/K_1) = \log(\text{“lokal”}/\text{“fjern”})$, hvor hver Δ -gruppe består af samtidige observationer fra de otte års dataserier. Δ -grupperne kan studeres henover hele otte-års perioden eller blive delt op i undergrupper bestående af årstid (måned).

Det er karakteristisk for fordelingerne af Δ -forskelle at de alle har tydeligt højere kurtosis (topstejlhed) end tilladt for normalfordelingen. Selvom store afvigelser mellem “lokale” og “fjerne” korrektionsværdier kan findes, fremstår de mindre afvigelser - set i forhold til middelværdien for fordelingerne - med meget høj frekvens.

Figur 3.4 sammenfatter basis Δ -diagrammet for *alle* mulige kombinationer af “lokale” og “fjerne” stationer. Hver af de 12 basisstationer fungerer på skift som “lokale” stationer mod de andre 11 stationer. Tilsammen resulterer dette i 132 kombinationer af stationer eller afstande. For en given afstand, dvs. en given kombination af stationer, viser et vertikalt boxplot 25-75 percentiler udviddet med mærker. Spredte punkter over og under boxplottene indikerer raden af Δ -observationer udenfor de, der er indenfor boxplottet. De vertikale grænser ± 0.30 er blevet introduceret for at fremhæve de centrale dele af Δ -fordelingerne; kun fem punkter er fundet udenfor disse grænser.

Figur 3.4 er blevet undersøgt og suppleret med numeriske evalueringer (Wilcoxon, non parametrisk) af de 132 Δ -fordelinger i relation til hypotesen, at disse fordelinger er centreret omkring nul. Dette resulterer i alle tilfælde i forkastninger.

Percentilgrænserne på 25-75 og selv de (omtrentlige) 10-90 percentilgrænser markeret med mærker er alle indenfor *en* standardafvigelse $\sim \pm 0.25$ udledt fra $\sigma^2 = 0.07$, som er den residuale varians for modellen (1). Disse grænser er inkluderet som vertikale referencelinier i figur 3.4. Det kan konkluderes, at Δ -værdier, som fremkommer ved at ekstrapolere *alle fire kontrollerende variable* (vindhastighed, temperatur, regnintensitet og sneprocent) fra en eller anden “fjern” station, synes at lede til systematisk bias på K_2 (de lokale korrektionsværdier), selvom biasniveauet er indenfor $1 \times$ standardafvigelsen givet ved model (1). I gennemsnit for alle 132 Δ -grupper er 4.8% af Δ -

observationerne over 0.25, 4.2% af observationerne ligger under -0.25 , mens 91% af Δ -observationerne er dækket af ± 0.25 grænserne fra model (1).

Δ -gruppen markeret ved afstanden 9.6 km (mellem station 29451 og 29439) påkalder sig særlig opmærksomhed pga. den korte afstand mellem dem. Median værdien er 0.00, middel=0.02 og 25-75 percentilerne er -0.02 , 0.03. Hovedparten af de ekstrapolerede hændelser leder derfor til diskrepanser mellem "lokale" og "fjerne" korrektioner af størrelsesordenen $\sim 2-3$ procent ($\exp(0.02) \sim 1.02 \sim 2\%$). For det generelle korrektionsniveau i venstre side af tabel 2.1 har disse 2-3% kun lille numerisk indflydelse, så ekstrapolation henover disse 9 km kan sagtens accepteres. Desværre er yderligere detaljer for korte afstande ikke tilgængelige. De 12 stationer er spredt jævnt ud over landet, hvilket ses af den tætte fordeling af punkter fra omkring 50 km til omkring 250 km, og dette resulterer i mange boxplots for en given afstand. Kun et par stationer har afstande under 20 km. Figur 3.5-3.8 sammenfatter Δ -diagrammer for de marginale analyser, dvs. analyser hvor "fjern" information er koncentreret på *kun en* af de fire kontrollerende variable α , V , T , I . Figur 3.5 er i det store og hele en gentagelse af figur 3.4, og det fremgår af figur 3.4 at vindhastigheden= V er den variabel, som har den største marginale indflydelse. Faktisk resulterer værdierne af β_1 og γ_1 (regressionskoefficienter til vindhastigheden i model (1)) i relativt høje marginale ændringer i korrektionsniveauet (Allerup, Madsen og Vejen, 1997).

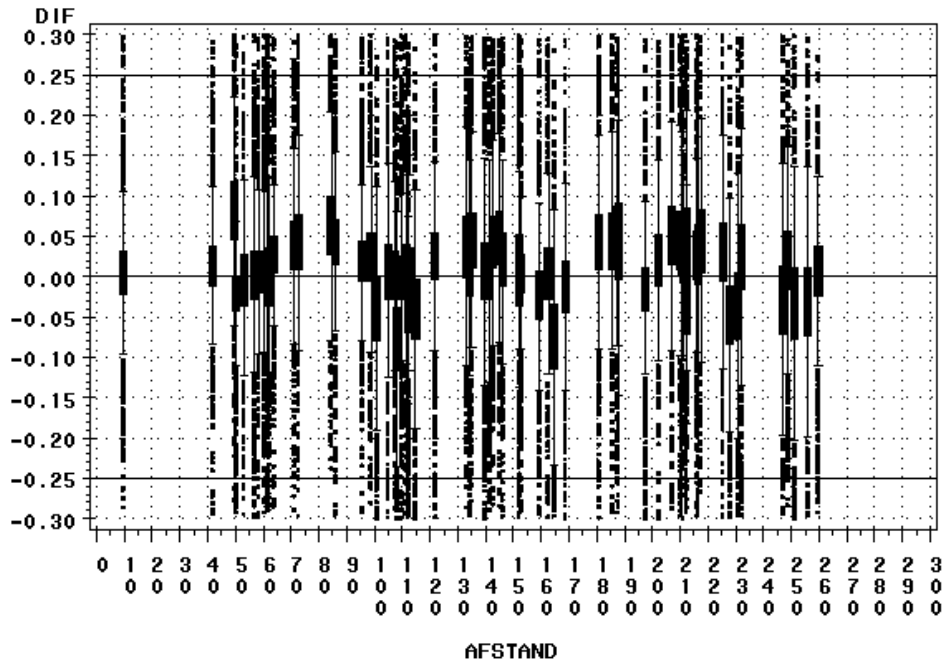
Konklusionen fra analyser af figur 3.5 er derfor den samme som for figur 3.4: for alle afstande er der fundet signifikante afvigelser mellem "lokale" og "fjerne" korrektionsniveauer. De statistiske tests (non parametriske Wilcoxon) viser klart signifikante sandsynligheder tæt på nul, men igen gælder der praktiske overvejelser om det aktuelle niveau for diskrepanser mellem "lokale" og "fjerne" korrektioner ved 9 km afstande. De aktuelle værdier i dette tilfælde er median=0.01, middle=0.02 og 25-75 percentiler = $-0.01, 0.03$.

I figur 3.6 er vist marginale analyser ved ekstrapolation af regnintensitet= I . En umiddelbar sammenligning med figur 3.4 og 3.5 viser, at den generelle variabilitet af korrektionsværdier som følge af at benytte "fjerne" informationer om regnintensitet, er meget mindre end den, der er resultatet af at benytte "fjerne" informationer om vindhastighed.

Dette er i overensstemmelse med, at I har mindre indflydelse på korrektionsværdien via γ_2 -parameteren i modellen (1), samt at den rumlige variabilitet af regnintensitet antages at være lille. En anden markant forskel mellem figur 3.4 og 3.5 er, at alle boxplot 25-75 grænser rummer nul-linien. For afstande over 50-60 km indikerer test statistik (non parametriske Wilcoxon) fortsat meget signifikant, at der er systematiske afvigelser fra 0 for disse Δ -fordelinger. Op til ca. 75 km er 25-75 percentilgrænserne generelt $-0.01, 0.01$, og for afstande over 75 km er disse grænser $-0.02, 0.02$.

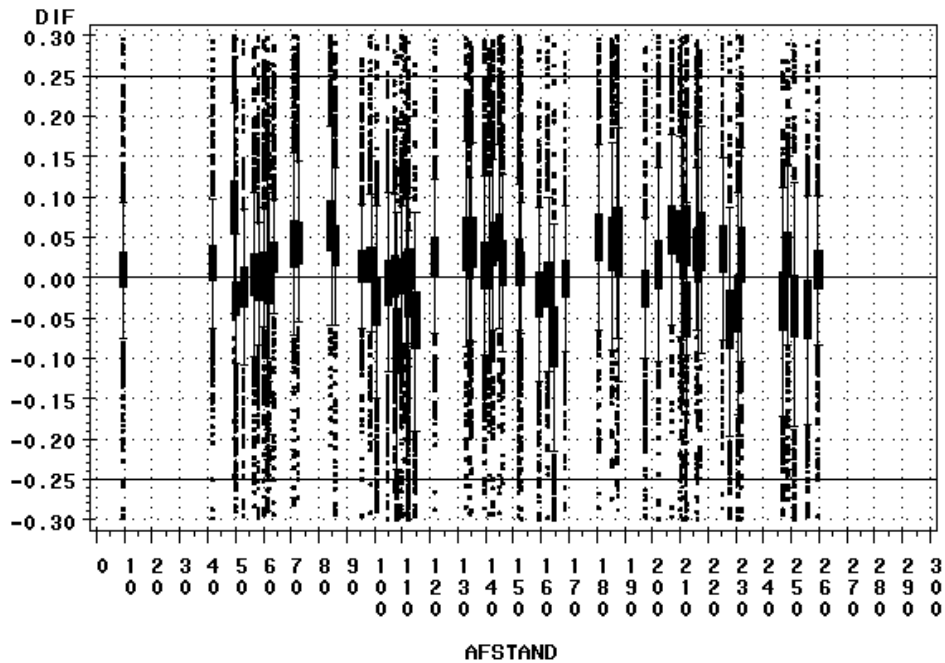
Effekten af at benytte "fjerne" temperaturer= T er vist i figur 3.7. Det ses, at de centrale 25-75 percentilgrænser for boxplottene er umulige at skelne. Der gælder faktisk, at alle beregninger af 25 og 75 percentiler (og dermed medianen) er lig med 0.00 på 2.decimal. Den relative indflydelse på korrektionerne via konstanterne β_1, β_3 og γ_1, γ_3 i modellen (1) er lille, men her viser figur 3.6 generelt konsistente temperaturforhold i Danmark en hvilken som helst dag. Brugen af "fjerne" informationer om temperaturen synes ikke at give nogen problemer, uagtet afstanden til den "fjerne" station.

kqmr= 3 GENERAL distance relation



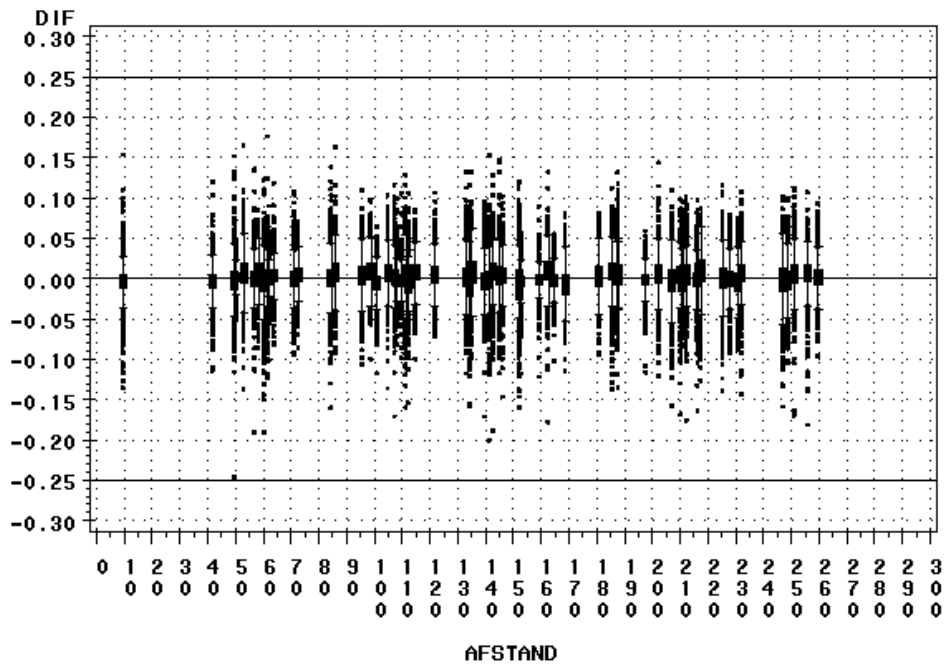
Figur 3.4. Generelle afstandsrelationer. Forskelle (DIF,y-akse) mellem “lokale” og “fjerne” korrektionsfaktorer i tilfælde af at alle fire uafhængige variable er hentet fra “fjern” station.

kqmr= 4 GENERAL distance relation



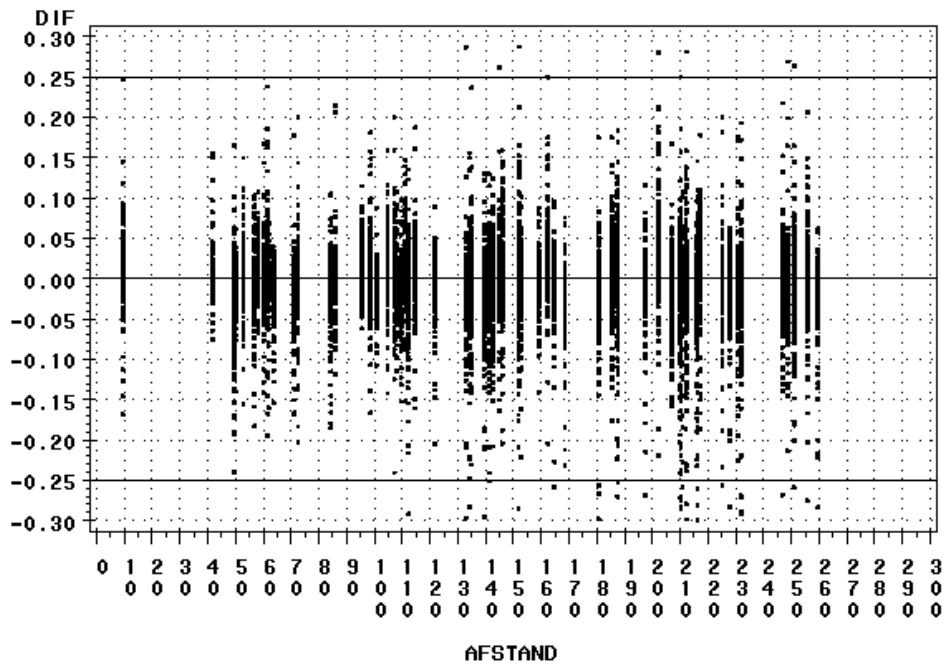
Figur 3.5. Generelle afstandsrelationer. Forskelle (DIF,y-akse) mellem “lokale” og “fjerne” korrektionsfaktorer i tilfælde af at vindhastigheden er hentet fra “fjern” station.

kqmr= 5 GENERAL distance relation

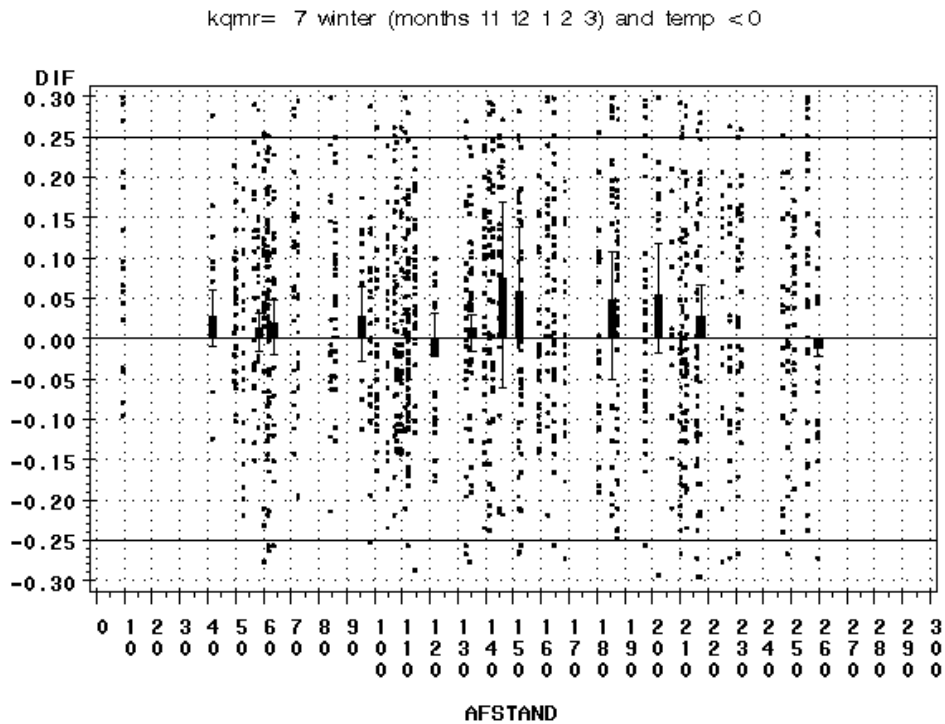


Figur 3.6. Generelle afstandsrelationer. Forskelle (DIF,y-akse) mellem "lokale" og "fjerne" korrektionsfaktorer i tilfælde af regnintensiteten er hentet fra "fjern" station.

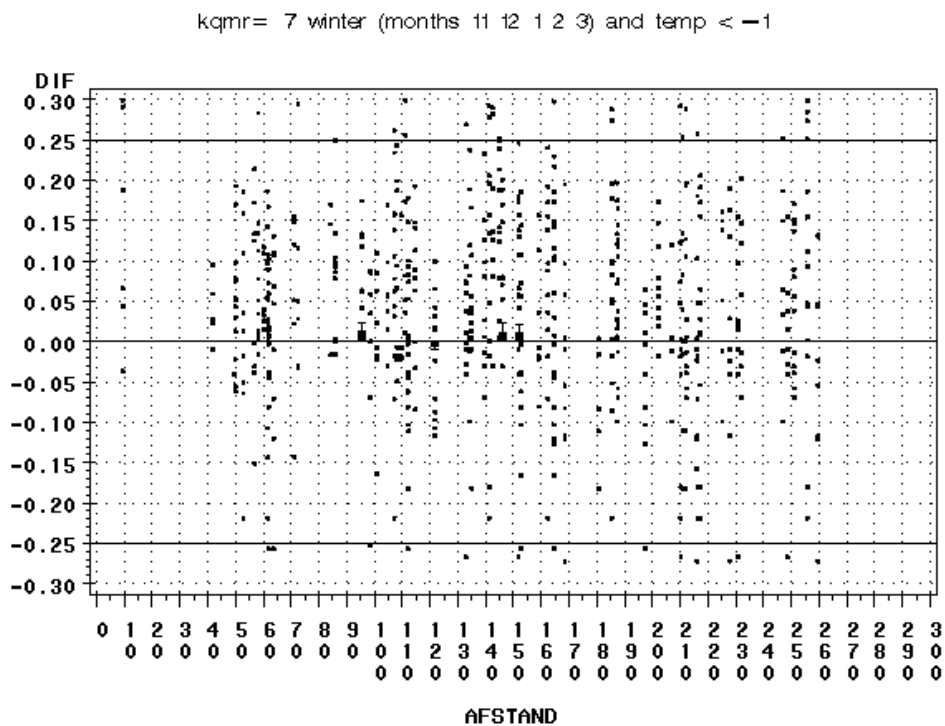
kqmr= 6 GENERAL distance relation



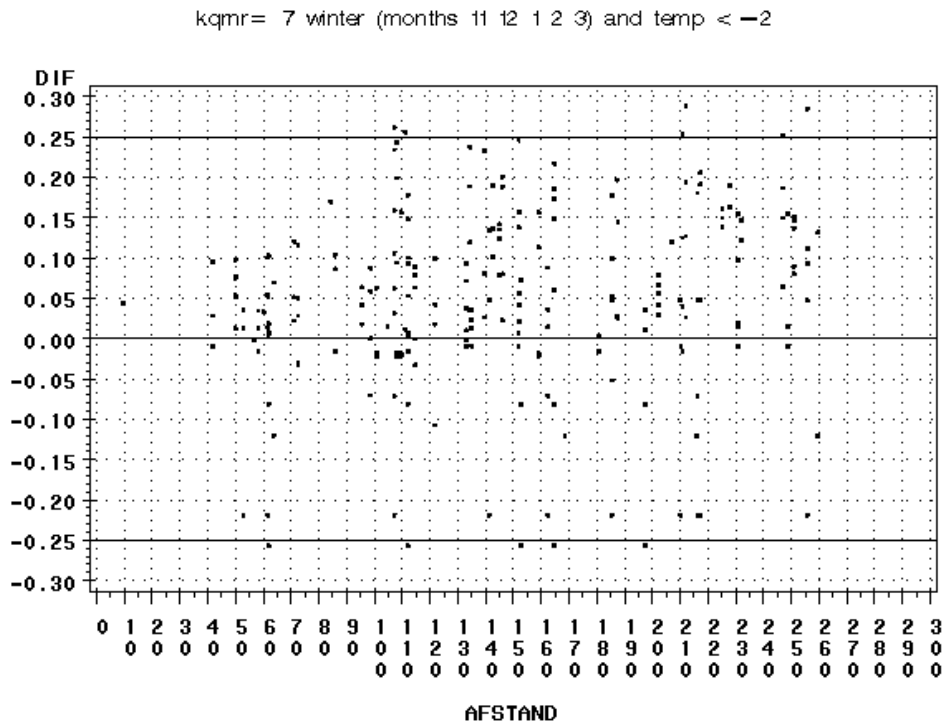
Figur 3.7. Generelle afstandsrelationer. Forskelle (DIF,y-akse) mellem "lokale" og "fjerne" korrektionsfaktorer i tilfælde af at temperaturen er hentet fra "fjern" station.



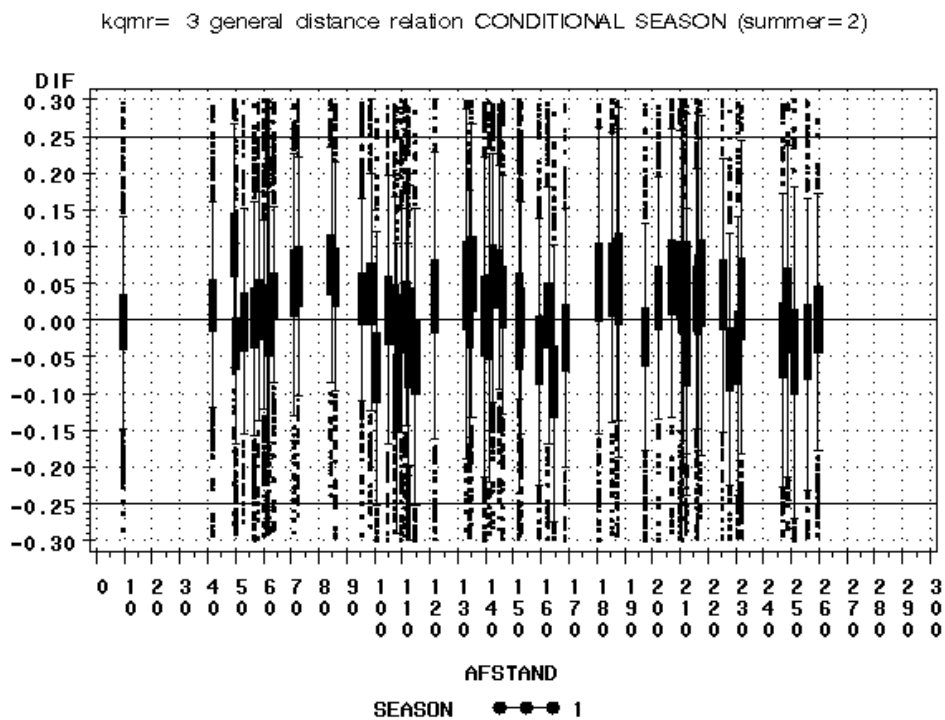
Figur 3.8. Generelle afstandsrelationer. Forskelle (DIF,y-akse) mellem “lokale” og “fjerne” korrektionsfaktorer i tilfælde af at sneprocent ved temperatur $T < 0$ er hentet fra “fjern” station.



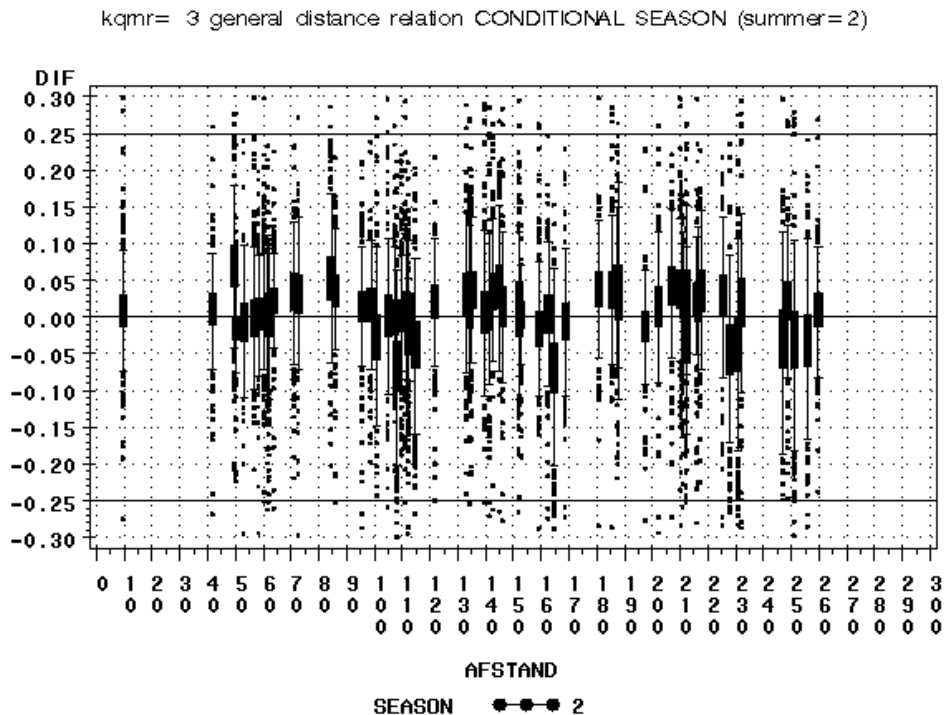
Figur 3.9. Generelle afstandsrelationer. Forskelle (DIF,y-akse) mellem “lokale” og “fjerne” korrektionsfaktorer i tilfælde af at sneprocent ved temperatur $T < -1$ er hentet fra “fjern” station.



Figur 3.10. Generelle afstandsrelationer. Forskelle (DIF,y-akse) mellem “lokale” og “fjerne” korrektionsfaktorer i tilfælde af at sneprocent ved temperatur $T < -2$ er hentet fra “fjern” station.



Figur 3.11. Generelle afstandsrelationer. Forskelle (DIF,y-akse) mellem “lokale” og “fjerne” korrektionsfaktorer i tilfælde af at alle fire uafhængige variable er hentet fra “fjern” station. Analyse for vintermåneder.



Figur 3.12. Generelle afstandsrelationer. Forskelle (DIF,y-akse) mellem “lokale” og “fjerne” korrektionsfaktorer i tilfælde af at alle fire uafhængige variable er hentet fra “fjern” station. Analyse for sommermåneder.

Med hensyn til brugen af “fjerne” informationer om sneprocent= α , må statistiske analyser begrænses til døgn, hvor muligheden for sne er tilstede. I modsat fald vil boxplottene også indeholde Δ -værdier, der naturligvis er nul, men som trækker plottene kunstigt for tæt på nul. Figur 3.8 viser Δ -fordelinger for vinterperioden december til marts, hvor kun døgn med temperatur $T < 0$ er taget i betragtning. Indtrykket fra figur 3.8 og teststatistik (non parametrisk Wilcoxon) er, at relationen til afstand er inkonsistent. Faktisk er der Δ -grupper, som kan accepteres til at være centreret omkring nul ved forskellige afstande, men med klar forkastelse ved afstande mellem dem. Et muligt tegn på anisotropi bliver bekræftet, hvis figur 3.8 deles op i 12 sub-diagrammer, som hver har en fastholdt “lokal” station. Percentilerne 25-75 varierer betydeligt henover afstandsgrupperne.

Hvis analyserne imidlertid begrænses yderligere til temperaturer $T < -1$ og $T < -2$, viser der sig en mere konsistent relation til afstanden. Figur 3.9 og 3.10 viser forsøg på for disse betingelser at ekstrapolere “fjerne” informationer om sneprocent. Ved afstande over 100 km demonstrerer de numeriske analyser (non parametrisk Wilcoxon tests), at Δ -grupper har systematisk bias væk fra nul, selvom 25-75 percentiler i boxplottene generelt er indenfor ± 0.02 niveauet, dvs. under $\pm 2\%$.

En mulig konklusion heraf må nødvendigvis være, at information om sneprocent α på sikker vis kan ekstrapoleres fra “fjerne” stationer, såfremt disse ligger mindre end 100 km borte og hvis temperaturen er $T < -1$. Det er ikke overraskende, idet α vil gå mod 1.0, når T aftager, og sandsynligheden for at stationerne er enige om, at al nedbøren er faldet som sne, vil tilsvarende være større. Det er imidlertid en vigtig information at få at vide, om nedbøren skal korrigeres som sne eller ej, idet nedbørmålingerne specielt for sne kan være særdeles følsomme overfor

vindpåvirkning. Problemerne opstår, når der temperaturniveauet er højere og der virkelig er tale om blandet nedbør henover døgnet. Da er det afgørende for værdien af α , om nedbøren ved den “lokale” og “fjerne” station er faldet samtidig og har været af samme type, eller på forskellige tidspunkter og af forskellig type.

3.2.3 Diskussion af resultater

De definerede Δ -forskelle mellem “lokale” og “fjerne” observationer blev i analysen af regionale forskelles betydning for de korrigerede estimer dannet for at vise, hvor stor betydning for korrektionsfaktorerne K_1 og K_2 beregnet ud fra modellen (1), det har, at der er rumlig variabilitet af de fire kontrollerende variable V =vindhastighed (under nedbør), I =regnintensitet, T =temperatur (under nedbør) og α =sneprocent. Mens sådanne analyser danner stokastiske modeller for at studere temporal og spatial variabilitet baseret udelukkende på vindmålinger, har det været et vigtigt praktisk aspekt i de ovenstående analyser at udføre og definere analyser af forskelle som følge af observerede konsekvenser for beregninger af korrektionsfaktorer. Dvs. formålet med analyserne er som nævnt tidligere: hvor langt fra en nedbørmåler kan værdier af de kontrollerende variable hentes uden større risiko for, at korrektionsfaktorernes størrelse beregnet ud fra modellen (1) ændres nævneværdigt.

Analysestrategien kan iøvrigt ses som en simpel transformation af de fire dimensionelt uafhængige variable (α, V, T, I), idet kendskabet til de residuale fejl σ_s^2 og σ_r^2 fra det oprindelige fit af modellen benyttes. I løbet af analyserne, som var rettet hen imod at udlede *generelle* afstandsrelationer, blev data underopdelt i overensstemmelse med to vigtige baggrundsfaktorer: tid og år (måned) samt region (vest/øst). Strukturen udledt af figurerne 3.4-3.10 burde ideelt set være ufølsomme overfor sådanne underopdelinger af data.

Effekten af regionalisering forsvandt i de generelle residualfejl, når test statistik blev beregnet henover de otte år 1989-1996. Kun i kombination med yderligere begrænsninger på observationer i vintermånederne, blev denne regionalisering synlig, omend utydelig, udtrykt ved anisotropi overfor de fastlagte afstandsrelationer. Effekten af at underopdele data i måneder kan visualiseres i figur 3.11 og 3.12. Disse figurer viser en underopdeling af figur 3.4, hvor alle fire variable α, V, T, I er ekstrapoleret fra “fjerne” stationer, i to årstider: sommer og vinter. Det er karakteristisk for disse underopdelinger, at den afstandsrelaterede *struktur* forbliver den samme, men med mindre variabilitet om “sommeren” (kortere boxplots) sammenlignet med “vinteren”.

3.3 Andre forhold af betydning for usikkerheden

Andre forhold end de regionale variationer på T, V, I og $pcts$ har betydning for usikkerheden på K :

- Om V og T er beregnet som middel under nedbør eller for hele døgnet.
- Om I er bestemt ud fra vejrkode eller ved måling af nedbørmængde og -varighed.
- Om $pcts$ er fundet ud fra vejrkode eller lufttemperaturen.
- Om der mangler meteorologiske data, og der må benyttes f.eks. klimatologiske værdier i stedet.
- Om tidsopløsningen på målingerne har været 1, 3 eller 6 timer.
- Om snetykkelse og overfladeruhed benyttes til beregning af vind i målerniveau eller ej.
- Om der benyttes læindex fremfor højdevinkler i vindretningen.

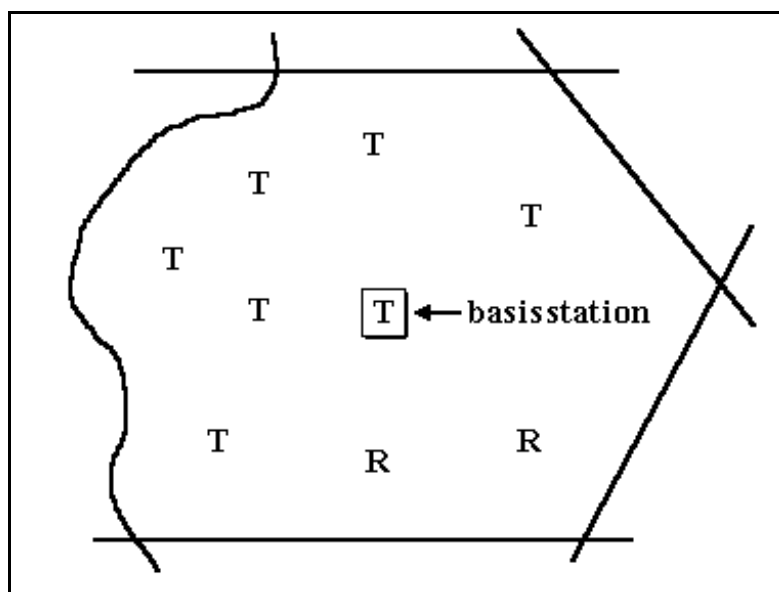
Disse forhold vil blive belyst i det følgende.

3.3.1 Et praktisk problem: at bestemme V og T for nedbørdøgn

Det optimale er, hvis V og T foreligger som middelværdi under nedbør. Men det hænder, at en basisstation har haft tørvejr hele døgnet, mens nedbørstationer i regionen alligevel har haft nedbør (figur 3.13). Det indebærer, at det er nødvendigt at skaffe de kontrollerende variable på anden måde end den, korrektionsmodellen kræver som det optimale. Dels kan der ikke beregnes middelværdier af variable under nedbør, og dels mangler der oplysninger om nedbørstypen. I stedet bliver der som det næstbedste beregnet et døgngennemsnit af V og T. Hvis der mangler data ved basisstationen, bliver der benyttet data fra en synopstation i nærheden eller fra de øvrige basisstationer. Det kan være uheldigt i tilfælde af store regionale variationer i T og V, men ofte er variationerne ret begrænsede i nedbørsituationer.

Hvis en variabel ikke er målt overhovedet ved nogen af stationerne i regionerne, bliver der benyttet en klimatologisk værdi i stedet. Denne yderste nødløsning kan være nødvendig hvis regnintensiteten ikke kan beregnes for døgnet, hvor nedbøren er faldet så spredt, at kun få manuelle nedbørstationer har fået nedbør. Således vokser usikkerhedsniveauet på beregningerne i det store og hele fra niveau 1 til 9 i tabel 3.2.

Når der bliver arbejdet med enkelte hændelser, kan middelværdien for et døgn i nogle tilfælde afvige en del fra gennemsnittet under nedbør, som figur 3.14 viser, og det kan batte noget på den korrigerede nedbørmængde, særlig ved lave temperaturer og høje vindhastigheder. Figuren antyder dog også, at taget over en lang periode vil fejlene nogenlunde ophæve hinanden. Analyser af nedbørdata fra Jokioinen 1987-1993 viste, at taget over en lang periode vil den korrigerede snemængde blive underestimeret med 4-5%, når der bliver benyttet døgngennemsnit af V og T i stedet for målinger under nedbør til korrektion af nedbørmålinger foretaget med en uskærmet Hellmann måler.

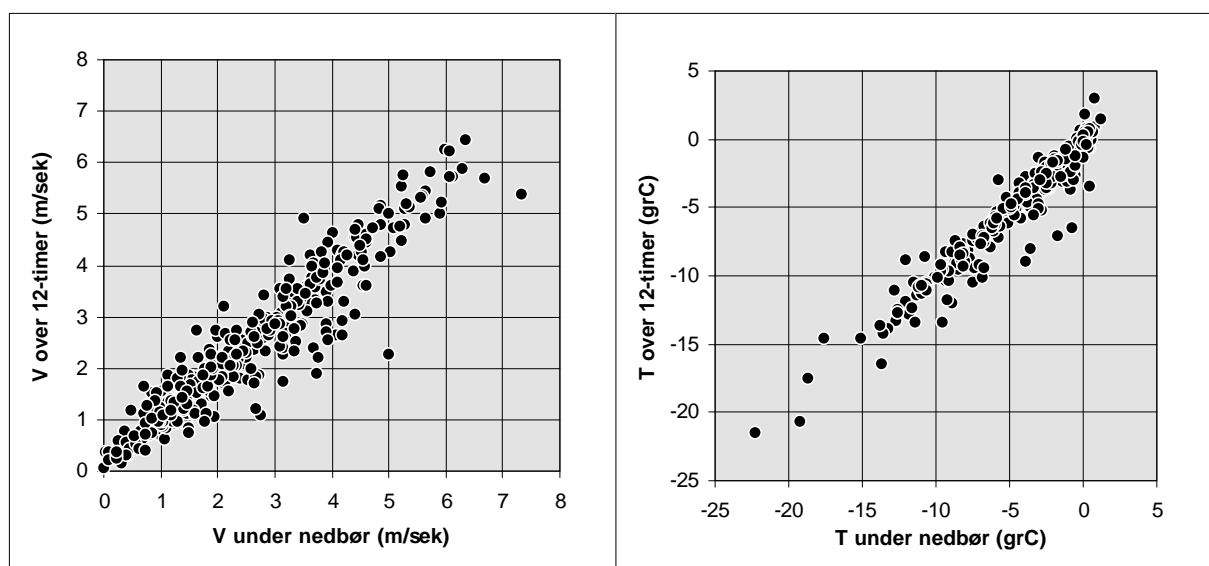


Figur 3.13. Der er problemer, når der har været tørvejr ved basisstationen (T=tørvejr), men nedbør (R=regnvejr) i ved nogle af nedbørstationerne i regionen. Nedbøren her skal korrigeres ved hjælp af de meteorologiske variable ved basisstationen.

usikkerheds-niveau	Nedbør ved stationerne		Meteorologiske variable fås fra:		
	aut. klima	synop	aut. klima	synop	øvrige/klimatol.
1	nedbør	nedbør	I, V, R, T	pcts, S	
2	nedbør	tørt	I, V, R, T, pcts	S	
3	nedbør	mangler	I, V, R, T, pcts		S
4	tørt	nedbør		I, V, R, T, S, pcts	
5	tørt	tørt	V, R, T, pcts	S	I
6	tørt	mangler	V, R, T, pcts		S, I
7	mangler	nedbør		V, R, T, pcts, S, I	
8	mangler	tørt		V, R, T, pcts, S	I
9	mangler	mangler			V, R, T, pcts, S, I

Tabel 3.2. Beregningsgrundlaget for de meteorologiske variable, når der har været nedbør, tørvej eller mangel på data ved den basisstationen (aut. klima) og en synopstation (synop) i en region. Hvis der mangler data fra en eller begge disse stationer, bliver der benyttet data fra andre basisstationer (øvrige) eller en klimatologisk værdi (klimatol.).

Analysen af, hvilken effekt på K det har at benytte døgnværdier V, T fremfor under nedbør er blevet lavet på korrektionsniveau på data fra basisstationerne for perioden 1989-1997. Resultaterne heraf fremgår af figur 3.14 og tabel 3.3. Her er sammenlignet korrektionsværdier K_d og K_n baseret på hhv. døgnværdier og værdier under nedbør af V, T. Modellen (1) har som betingelse, at V, T er estimeret under nedbør.



Figur 3.14. Middelværdi under nedbør sammenlignet med middelværdi for et halvdøgn af vindhastighed og temperatur. Data er fra Jokioinen, Finland, 1987-1993.

Analysen er delt op på regn, blandet nedbør og sne. For regn er der benyttet fastholdte værdier af regnintensitet I på 0.1, 1.0 og 10.0 mm/time. For blandet nedbør er pcts blevet beregnet enten ud fra vejrkode fra nærmeste synopstation eller ud fra "lokalt" lufttemperatur under nedbør ved basisstationen for at se på effekten af at bestemme pcts "lokalt" eller "næsten lokalt". Beregning af K-værdier for blandet nedbør har benyttet "lokalt" målte værdier af regnintensitet I. Der kunne i stedet være benyttet de samme fastholdte I-værdier som for analysen for regn. Imidlertid har brugen af målte fremfor fastholdte I-værdier kun marginal indflydelse på korrektion af regn, hvorimod

effekten for blandet nedbør og sne er noget større (tabel 3.3). For sne er beregningerne blevet udført for døgn, hvor nedbøren kun er faldet som sne.

Ligesom i figur 3.2 gælder der, at variansen for de rå korrektionsværdier K_d og K_n vokser med stigende niveau af K_d og K_n . Dette fremgår med al tydelighed af figur 3.15. Derfor bliver analyserne foretaget på log-transformerede korrektionsværdier. Analogt med analysen af regionale variationer er to spørgsmål af interesse: (1) er det muligt at benytte K_d fremfor K_n med tilstrækkelig præcision, og (2) vil det resultere i bias at gøre sådan?

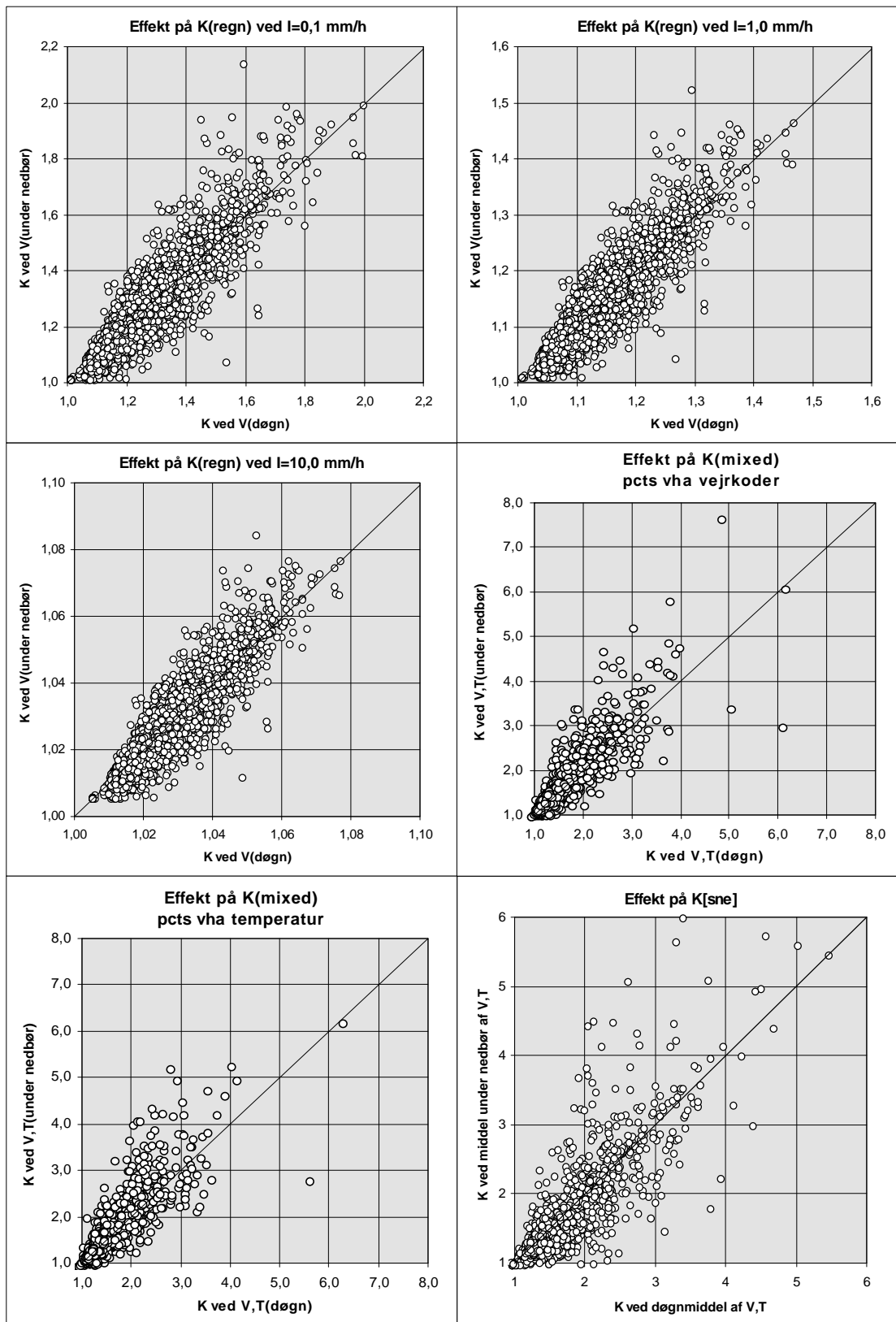
For hvert plot i figur 3.15 er der beregnet den komplette fordeling af differencer mellem K værdier givet ved $\Delta = \log(K_d) - \log(K_n)$. Som erfaret i den regionale analyse er det også her muligt at genfinde en rimelig symmetrisk fordeling af Δ , så median, middel og standardafvigelse kan beregnes (figur 3.16).

	regn			blandet nedbør		sne
	0.1 mm/h	1.0 mm/h	10.0 mm/h	pcts fra synop	pcts fra temp	
middel	-0.0005	-0.0003	0.0000	0.0062	0.0071	-0.0178
median	-0.0007	-0.0004	0.0000	0.0030	0.0036	-0.0133
standardafv.	0.0210	0.0116	0.0021	0.0418	0.0445	0.0771
usikkerhed i %	2.1%	1.2%	0.2%	4.3%	4.6%	8.0%

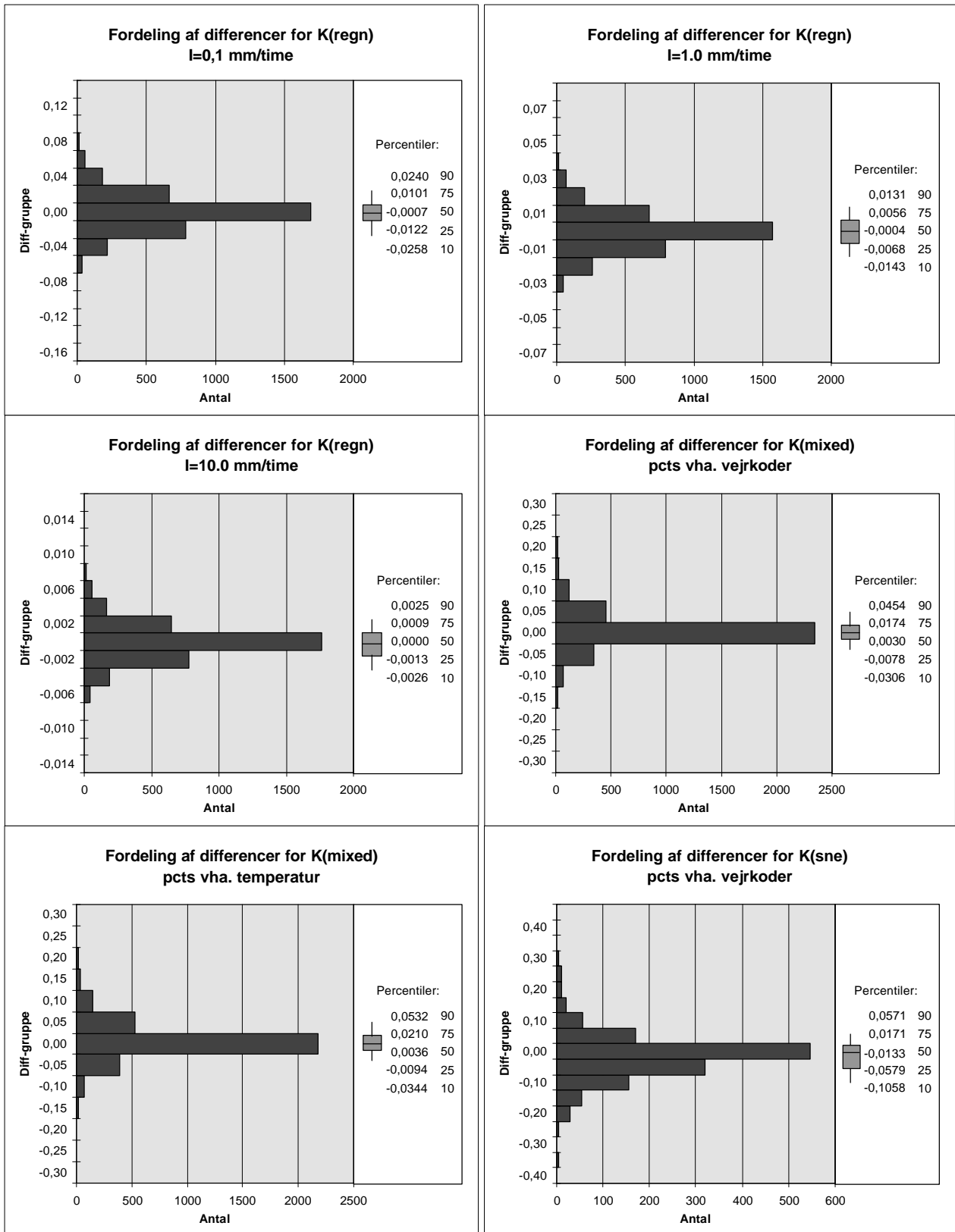
Tabel 3.3. Middelværdi, median og standardafvigelse samt usikkerhed i % (ved 1· standardafvigelsen) ved at benytte døgnmiddel af V,T fremfor middelværdi under nedbør. Beregningerne for regn, blandet nedbør og sne svarer til figur 3.15 og 3.16.

Figur 3.16 viser de komplette fordelinger af Δ for regn, blandet nedbør og sne som et standard boxplot (10,25,50,75,90 - percentiler). Fordelingerne af Δ -værdier er lavet for det poolede datasæt fra samtlige 12 basisstationer 1989-1997. Værdier af median, middel og standardafvigelse på differencerne Δ er vist i tabel 3.3. Denne tabel samt figur 3.16 illustrerer således effekten på daglige værdier af at benytte døgnværdier af V,T fremfor middelværdi under nedbør. Det ses, at der er tale om en rimelig symmetrisk fordeling af Δ , hvilket gør det muligt at benytte middelværdi og standardafvigelse til at karakterisere fordelingen. Imidlertid har fordelingerne ligesom for den regionale analyse en kurtosis (topstejlhed), der er større end den, der karakteriserer en normalfordeling. Tabel 3.3 viser, at usikkerheden på korrektionsfaktoren ved at benytte døgnmiddel fremfor middel under nedbør vokser, når nedbørarten går fra regn over blandet nedbør til sne. Det hænger naturligt sammen med, at korrektionsniveauet er størst for sne, idet en selv lille forskel i vindhastigheden kan få betydelig større effekt på korrektionsfaktoren for sne end for regn. Det samme forhold gør sig gældende for regn. Her har en lille ændring i vindhastigheden størst effekt, når regnintensiteten er lille.

Som for den regionale analyse bliver afvigelsen mellem de to korrektionsværdier K_n og K_d betragtet som stokastiske, og evalueringen af den stokastiske forskel følger også her reglerne for evaluering af residualfejl, som indgår i s_s og s_r . Forskellene mellem K_d og K_n vil derfor også her blive evalueret ved at blive holdt op mod model prediktionsintervallerne $\text{Pred}_{95\%}(\log PS(V,T))$ og $\text{Pred}_{95\%}(\log PL(V,I))$. Som før antages det, at fordelinger af Δ passer til de sædvanlige prediktionsgrænser beregnet fra regressionsanalyse ud fra en hypotese om, at "værdier under nedbør" kan ombyttes med "døgnværdier".



Figur 3.15. Effekt på K for hhv. sne, mixed nedbør og regn ved at benytte døgnmiddel af V,T fremfor under nedbør. K for regn er beregnet for 3 fastholdte værdier af regnintensitet, mens K for mixed nedbør er beregnet ved at bestemme pcts ud fra vejrkode og lufttemperatur.



Figur 3.16. Fordelinger af differencer $D = \log(K_d) - \log(K_n)$ for data fra hver af diagrammerne i figur 3.15. Det vertikale boxplot viser niveauet af 25 og 75 percentiler, og er udvidet med mærker, som markerer 10 og 90 percentilerne.

Figur 3.16 viser en række boxplot med 25-75 percentiler udvidet med mærker for 10 og 90 percentiler. Percentilgrænserne på 25-75 og selv de (omtrentlige) 10-90 percentilgrænser markeret med mærker er alle indenfor *en* standardafvigelse $\sim \pm 0.25$ udledt fra $\sigma^2=0.07$, som er den residuale varians for modellen (1). For alle regn Δ -grupper holder samtlige Δ -observationer sig indenfor ± 0.25 grænserne fra modellen (1). For begge grupper af blandet nedbør, hvor pct's er beregnet ud fra hhv. vejrkoder og temperatur, ligger næsten 100% af Δ -observationerne indenfor ± 0.25 grænserne, idet kun 0.2% af observationerne er over 0.25 og kun 0.03% er under -0.25 . Også for sne falder kun få af Δ -observationerne udenfor ± 0.25 grænserne : 0.7% er over 0.25 mens 0.8% er under -0.25 , men 98.5% af Δ -observationerne ligger indenfor. Således har det i de fleste tilfælde kun marginal effekt på korrektionsniveauet at benytte døgnmiddel af V,T fremfor middelværdi under nedbør.

Det ser ud til at der er en mindre bias på ca. 1.8% på korrektionsfaktoren K for sne, hvis denne bliver beregnet vha. døgnmidler af V,T fremfor under nedbør. For blandet nedbør og specielt for regn er bias ubetydelig og af en størrelsesorden på under 1%. Præcisionen er således af en størrelsesorden, som er bedre end resultaterne for de regionale analyser, og den ligger indenfor den basale residuale fejl for korrektionsmodellen (1). Det må dog også her fremhæves, at fordelingen af Δ ikke er normalfordelt. Bedømmelsen af generelle afvigelser mellem K_n og K_d vil som for de spatiale analyser primært være baseret på evalueringer af percentiler i Δ -fordelinger (Boxplots).

Det er karakteristisk for fordelingerne af Δ -forskelle at de alle har tydeligt højere kurtosis (topstejlhed) end tilladt for normalfordelingen. Selvom ret store afvigelser mellem K_n og K_d kan findes, forekommer de små afvigelser - set i forhold til middelværdien for fordelingerne - med meget høj frekvens.

Langtidseffekten på korrektionsværdier af at benytte døgnværdier af V,T fremfor middel under nedbør er illustreret i tabel 3.4. Data er blevet grupperet på samme måde som for figur 3.15 og 3.16 i sne, blandet nedbør og regn. Analysen er lavet ved at benytte daglige korrektionsværdier fra 10 basisstationer til at korrigere en daglig fiktiv nedbørsum på 1 mm. Det giver en total fiktive nedbørsum, som er resultatet af at benytte hhv. døgnværdier og værdier under nedbør.

Total fiktiv nedbørsum hvis P=1mm pr. hændelse ved 10 automatiske klimastationer 1989-1997							
Nedbørtype→ Parameter	snemængde	mængde af blandet nedbør			regnmængde		
		pcts(synop)	pcts(temp)	forskel i %	0.1 mm/h	1.0 mm/h	10.0 mm/h
V.T (døgnmiddel)	2388.0	4710.9	4809.8	2.10	17983.9	16411.4	15004.3
V.T (under nedbør)	2337.4	4820.3	4933.6	2.35	18003.4	16413.6	15003.5
forskel i %	2.16	2.27	2.51	-	0.108	0.013	0.006

Tabel 3.4. Analyse af effekten på K for sne, blandet nedbør og regn af at benytte døgnmiddel af V,T fremfor middelværdi under nedbør. Nedbørmængderne er fiktive nedbørmængder beregnet ud fra et poolede datasæt dannet på basis af samtlige basisstationer.

For regn er analysen lavet for fastholdte værdier af I på 0.1, 1.0 og 10.0 mm/time. Effekten af at benytte V på døgnbasis er marginal og giver for I=0.1 mm/time en forskel på kun ca. 0.1%. For blandet nedbør og sne er forskellen dog noget større, godt og vel 2%; den korrigerede mængde af sne bliver størst, hvis døgnværdier af V,T er benyttet, mens det modsatte er tilfældet for blandet nedbør. Korrektionsværdierne for sne er ifølge modellen (1) generelt større end for regn, og dermed

også for blandet nedbør. Det kan bruges til at forklare de observerede forskelle for sne og tildels blandet nedbør i tabellen. Tabel 3.5 viser middelværdi af T og V under nedbør og for døgnet for det poolede datasæt for 10 basisstationer 1989-1997. Kun nedbørdøgn indgår i disse beregninger. Forskellene i middel af V forklarer forskellene i den fiktive nedbørsum.

		sne	blandet	regn
V	døgn	2.527	3.028	3.068
	under nedbør	2.385	3.155	3.056
T	døgn	-2.023	2.169	-
	under nedbør	-3.079	1.859	-

Tabel 3.5. Middelværdi under nedbør og på døgnbasis af V for sne, blandet nedbør og regn, samt for T for blandet nedbør og sne.

3.3.2 Beregning af regnintensitet

Før de automatiske klimastationer blev etableret i 1987-88, er der kun sparsomme eller ingen målinger af regnintensiteten I, og efter de blev etableret er der tilfælde, hvor I ikke kan beregnes pga. dataproblemer. Da må I skaffes ad anden vej.

Hägemark (1995) har udviklet en metode, der benytter koderne for “present weather” (ww) ved synopstationer til at give et fingerpej om I, men det er med ret stor usikkerhed. Metoden bygger på analyser af ialt 136000 datasæt bestående af 12 timers nedbørsum og tilhørende 4 vejrkode ww for perioden, og der blev fundet ialt 10 intensitetsklasser for 3 timers nedbørsum. Hver enkelt vejrkode for aktuelt vejr, ww, tilhører en bestemt intensitetsklasse, hvis værdi blot aflæses i en tabel. En sådan er vist i tabel 3.6, mens klassernes intensitetsværdier er vist i tabel 3.7. Værdierne i denne tabel skal justeres for forskelle i normal nedbøren. Værdierne i tabellen regnes for at være repræsentative for en station med en normalnedbør på 1000 mm/år. Hvis en station har normalnedbøren N mm/år, bør værdierne i tabel 3.7 ganges med en faktor $f=N/1000$.

ww	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	2	0	1	2	3	1	0
20	1	3	1	3	1	3	1	2	0	5
30	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0
40	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
50	1	2	2	3	3	5	1	2	3	4
60	3	4	4	7	8	10	2	1	3	7
70	1	2	2	4	2	7	1	1	1	1
80	3	6	7	3	4	1	2	2	5	5
90	5	4	10	9	9	7	4	9	0	8

Tabel 3.6. Intensitetsklasse for hver enkelt vejrkode for aktuelt vejr, ww (Hägemark, 1995). F.eks. ligger vejrkode ww=65 (stærk vedvarende regn) i intensitetsklasse 10, som jfr. tabel 3.7 svarer til en middelintensitet på 7.98 mm/3timer eller 2.66 mm/time, mens vejrkode ww=50 (let finregn med ophold) ligger i klasse 1, dvs. 0.05 mm/time.

	Intensitetsklasser										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Intensitet	0.00	0.16	0.45	0.85	1.70	2.38	2.93	3.78	5.53	7.22	7.98

Tabel 3.7. Intensitetsværdien i mm/3timer i hver af klasserne vist i tabel 3.6 (Hägemark, 1995).

Standardafvigelsen σ er fastlagt empirisk for hver klasse og er givet ved:

$$S = \begin{cases} 0.4 & \text{hvis } I \leq 0.1 \\ 0.6 & \text{hvis } 0.1 < I \leq 0.2 \\ 0.58 \cdot I + 0.86 & \text{hvis } I > 0.2 \end{cases} \quad (\text{Häggmark, 1995})$$

Usikkerheden er stor på metoden, hvilket næppe kan overraske. Et regneeksempel: hvis $w_w=63$ (moderat vedvarende regn svarende til intensitetsklasse 7) ved en station med normalnedbøren 750 mm/år, bliver regnintensiteten $I=3.78 \cdot (750/1000) \cdot (1/3)=2.84$ mm/time med usikkerheden $\sigma=0.58 \cdot 3.78+0.86=3.052$. Metoden bruger ikke “past weather” koderne, hvilket er uheldigt når w_w indikerer tørvejr i situationer, hvor der faktisk er faldet nedbør i perioden siden forrige observation. Endvidere er vejrkoder for aktuelt vejr oftest ikke repræsentativ for vejrforløbet de foregående 3-6 timer. Intensiteten bestemt på denne måde er behæftet med en ganske stor usikkerhed. Ved tørvejr eller ophørende nedbør vil aktuelt vejr koden ofte give en intensitet, der kan være alt for lav. Det ses af, at der er et temmeligt stort antal tilfælde, hvor regnintensiteten er for lav i forhold til den nedbørmængde, der er faldet i den pågældende periode (tabel 3.8). Tabellen viser, at næsten halvdelen af de Häggmark beregnede regnintensiteter har for lave værdier, og det kan ikke anbefales udelukkende at benytte denne metode til bestemmelse af I . Det kan kun forsvares at benytte den som et begrænset supplement til målte I -værdier.

synop station	I er for lav		I er acceptabel		antal obs.
	antal	%	antal	%	
06030	437	48.1	472	51.9	909
06060	521	49.6	529	50.4	1050
06110	507	49.1	526	50.9	1033
06156	342	49.1	355	50.9	697

Tabel 3.8. Antal tilfælde ved basisstationerne perioden 1989-1997, hvor I bestemt ud fra vejrkoder med Häggmarks metode var for lav i forhold til den målte nedbørmængde.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
justeringsfaktor j	0.46	0.48	0.48	0.51	0.58	0.58	0.57	0.54	0.57	0.55	0.50	0.49

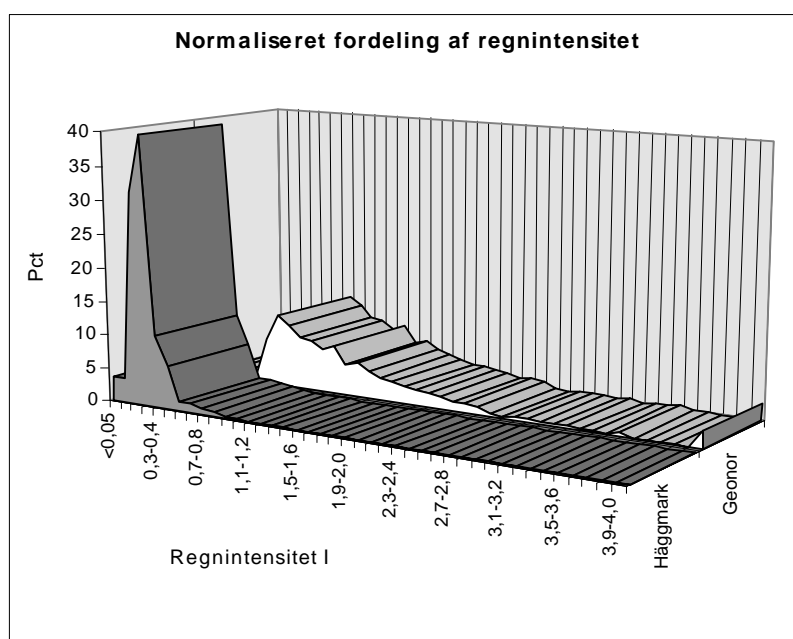
Tabel 3.9. Justeringsfaktor til brug for justering af Geonor regnintensiteter, så de umiddelbart kan bruges i modellen til korrektion af flydende nedbør.

Spørgsmålet er, hvor stor forskel det giver at benytte Häggmarks metode fremfor Geonor baserede regnintensiteter. Dette er blevet undersøgt ved at sammenligne regnintensiteter, der på den ene side er beregnet ud fra målinger med Geonor nedbørmålere og bladfugtssensorer, og på den anden side er blevet bestemt ud fra vejrkoder. Dette er blevet gjort på basis af data fra perioden 1989-1997.

Regnintensiteten I er bestemt på basis af Geonor data. De aerodynamiske egenskaber for denne nedbørmåler adskiller sig imidlertid noget fra en pluviograf og en Hellmann måler, så I opfylder ikke helt forudsætningerne for modellen (1) for korrektion af regn. For at dæmpe den bias på korrektionsestimerne, der ville fremkomme herved, er Geonor intensiteten I blevet korrigeret vha. en justeringsfaktor j , så den kommer til at ligne den værdi, en pluviograf ville måle; således er blevet

benyttet $I=j \cdot I_{\text{målt}}$. Statistiske analyser af intensitetsdata og intensitetsfordelinger fra pluviograf-, Geonor-, Rimcomålinger har ført frem til en sådan justeringsfaktor for hver måned i året vist i tabel 3.9 (Vejen, Allerup og Madsen, 1998).

Figur 3.17 viser fordelinger af regnintensitet bestemt ud fra Geonor data hhv. Hæggmarks metode. Der er markante forskelle i I-værdierne mellem de to metoder. Geonor I-fordelingen er meget bred med få procent relativt høje værdier, mens Hæggmark I-fordelingen er overordentlig smal med stort set ingen større værdier, men mange meget små. Det vil alt andet lige føre til systematisk højere korrektionsværdier, hvis Hæggmarks metode benyttes fremfor målinger ud fra Geonor. Derfor kan brugen af Hæggmarks metode også af denne grund kun anbefales i begrænset omfang.



Figur 3.17. Normaliseret fordeling af regnintensitet beregnet ud fra dels Geonor data og dels vejrkode fra synopstationer (Hæggmarks metode). Bemærk at godt 2% af Geonor intensiteterne er større end 4.0 mm/h.

Procentuel forskel som funktion af V ved at benytte Hæggmark fremfor Geonor							
"tickmarks" i de to I-fordelinger		værdi ved "grænse"	Korrektionsfaktor ved vindhastighed V (m/sek)				
			0	3	6	9	12
10% fraktil	Hæggmark	0.12	1.000	1.210	1.449	1.735	2.078
	Geonor	0.61	1.000	1.138	1.284	1.450	1.636
	forskel i %	-	0.0	6.3	12.8	19.7	27.0
median	Hæggmark	0.21	1.000	1.184	1.390	1.631	1.914
	Geonor	1.08	1.000	1.114	1.231	1.361	1.504
	forskel i %	-	0.0	6.3	12.9	19.9	27.2
middel	Hæggmark	0.247	1.000	1.177	1.373	1.602	1.869
	Geonor	1.308	1.000	1.106	1.214	1.332	1.462
	forskel i %	-	0.0	6.5	13.1	20.2	27.8
90% fraktil	Hæggmark	0.42	1.000	1.154	1.320	1.511	1.729
	Geonor	2.16	1.000	1.085	1.170	1.260	1.358
	forskel i %	-	0.0	6.3	12.9	19.9	27.2

Figur 3.10. Forskel i korrektionsfaktor ved 10% og 90% fraktiler samt middel- og medianværdi for fordelingerne af I bestemt ud fra hhv. Geonor data og Hæggmarks metode. "Værdi ved grænse" er I-værdien ved 10% og 90% percentilerne, samt middel- og medianværdi i fordelingerne.

Tabel 3.10 viser hvor stor forskel i korrektionsfaktoren, der er hvis I er baseret på Hægmarks metode fremfor Geonor data. De beregnede forskelle og korrektionsfaktorer er foretaget for 10% og 90% percentilerne samt median- og middelværdi for fordelingerne i figur 3.17 for at få et indtryk af, hvor stor en fejl der bliver begået ved forskellige vindhastigheder V ved at benytte den ene fremfor den anden metode. Det ses af tabellen, at allerede ved relativt lave V-værdier er forskellen betydelig, og ved V=9 m/sek er forskellen 27-28%. Hvis der beregnes en fiktiv nedbørsum ved for V=0, 3, 6, 9 og 12 m/sek at korrigere en fiktiv mængde på 1 mm pr. nedbørhændelse ved brug af samtlige I-værdier i de to fordelinger, fremkommer der nedbørsummerne vist i tabel 3.11. Det ses, at med Hægmarks metode ville den totale korrigerede nedbørsum allerede ved 3 m/sek være ca. 6% større end ved brug af Geonor data.

	Korrektionsfaktor ved vindhastighed V (m/sek)				
	0	3	6	9	12
Hægmark	100.0	118.4	138.9	163.1	191.6
Geonor	100.0	111.2	122.8	135.6	149.8
forskel i %	0.0	6.07	11.64	16.89	21.84

Figur 3.11. Fiktiv nedbørsum ved at korrigere en fiktiv nedbørmængde på 1 mm pr. hændelse for samtlige I-værdier i fordelingerne vist i figur 3.17.

3.3.3 Specielt om usikkerhed på pcts

Den samlede korrektionsmodel består af en model for hhv. fast, flydende og blandet nedbør. For at kunne vælge den rigtige model et givet døgn, skal nedbørstypen i døgnet være kendt. Nedbørstypen bliver angivet med en sneprocent pcts. Hvis pcts=0 har der kun været regn, og hvis pcts=1 har der kun været sne, hvilket afgør hvilken delmodel, der skal bruges til at korrigere nedbørmålingerne med. Hvis $0 < pcts < 1$ har nedbøren været blandet, og korrektionsfaktoren fremkommer ved at vægte modellerne for fast og flydende nedbør med pcts.

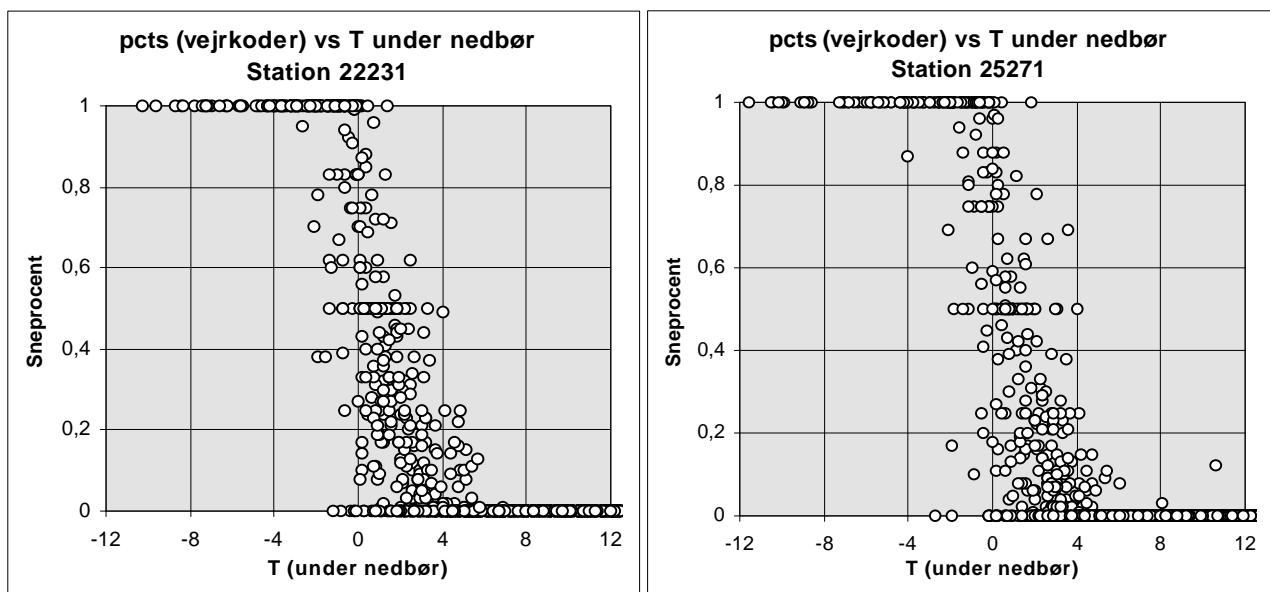
Hvis det ikke har været muligt at bestemme pcts pga. tørvejr ved stationerne, bliver pcts bestemt ud fra lufttemperaturen eller ud fra værdier fra andre basisstationer. Det kan være uheldigt, hvis der er store regionale variationer. Automatiske klimastationer og synopstationer ligger i hver region sædvanligvis ret tæt på hinanden og i omtrent samme højde over havet, så det er rimeligt at antage, at nedbørstypen observeret det ene sted er identisk med nedbørstypen det andet.

Vejrliget bliver observeret ved synopstationer som “past” og “present weather” koder (w1/w2 hhv. ww), og ud fra disse er det muligt at bestemme nedbørstypen. Men enhver, der kender lidt til vejrkode ved, hvor tve- eller mangetydige de kan være. Nogle eksempler: kodetal ww=95 betyder “let eller moderat torden med regn, slud eller sne”, og kodetal w1/w2=9 betyder “torden med eller uden nedbør”. Der er altså frit valg. Nedbørstypen bliver i de flertydige tilfælde fundet ved at analysere w1/w2, temperaturændringen siden forrige observation samt ww og T for forrige hhv. aktuelle observation. Ud fra de fundne nedbørstyper henover et døgn bliver pcts bestemt og den korrekte korrektionsmodel valgt.

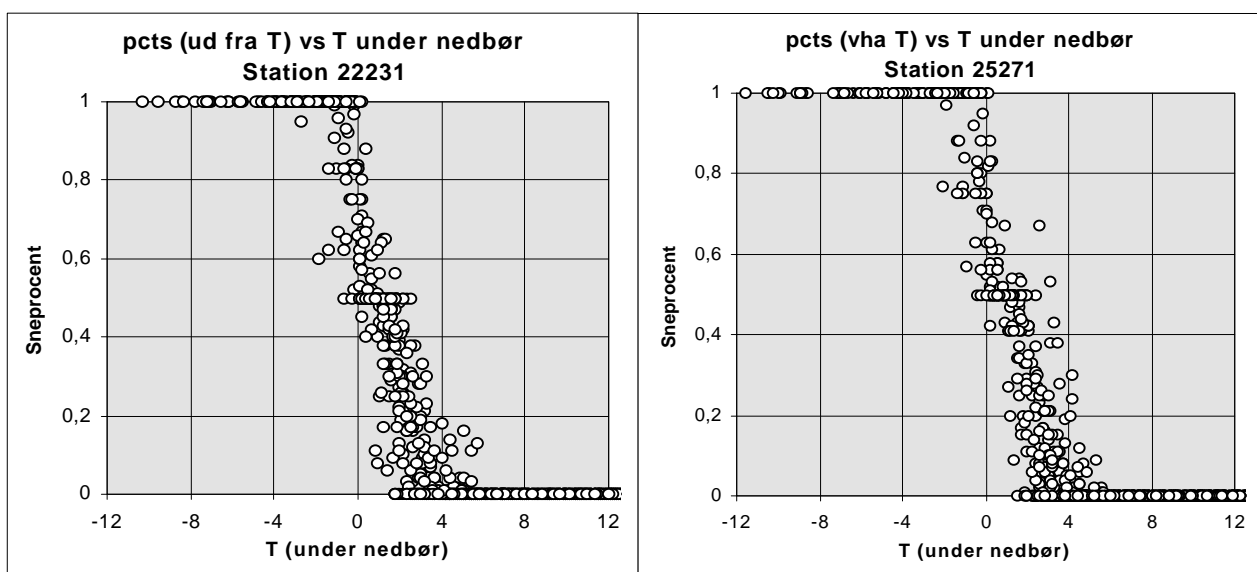
Hvis der ikke er faldet nedbør ved synopstationen, er nedbørstypen blevet bestemt ud fra T ved at antage, at $T \leq 0^\circ\text{C}$ indikerer sne, $T > 2^\circ\text{C}$ svarer til regn, og $0^\circ\text{C} < T \leq 2^\circ\text{C}$ betyder blandet nedbør (slud). Der kan dog sagtens falde sne ved temperaturer $T > 2^\circ\text{C}$ og regn ved $T < 0^\circ\text{C}$, men det er det bedste bud på en pcts-værdi, når der mangler observationer af nedbørstypen. Iflg. Allerup og Madsen (1979)

falder ca. 56% af snedebørmængden ved temperaturer over 0°C. Hvis der er faldet nedbør, fås pct's ud fra temperaturen under nedbør, og ved tørvejrd ud fra temperaturen gennem hele døgnet.

Metoderne til at bestemme pct's giver således anledning til en vis usikkerhed, der er vanskelig at teste i praksis. Det er klart, at usikkerheden på pct's kan blive stor, hvis der har været tørvejrd hele døgnet og store udsving i temperaturen. Det påvirker på den ene side valg af korrektionsmodel og på den anden usikkerheden på korrektionsfaktoren for blandet nedbør. Principielt kan usikkerheden på pct's belyses på to måder: (1) ved at se på den regionale variation af pct's, og (2) ved at se på hvilken effekt på K variationer i pct's har, når den bliver beregnet ved hjælp af forskellige metoder.



Figur 3.18. Sneprocent vs temperatur under nedbør ved stationerne 22231 og 25271 for perioden 1989-1997. Sneprocenten er beregnet vha. vejrkode.

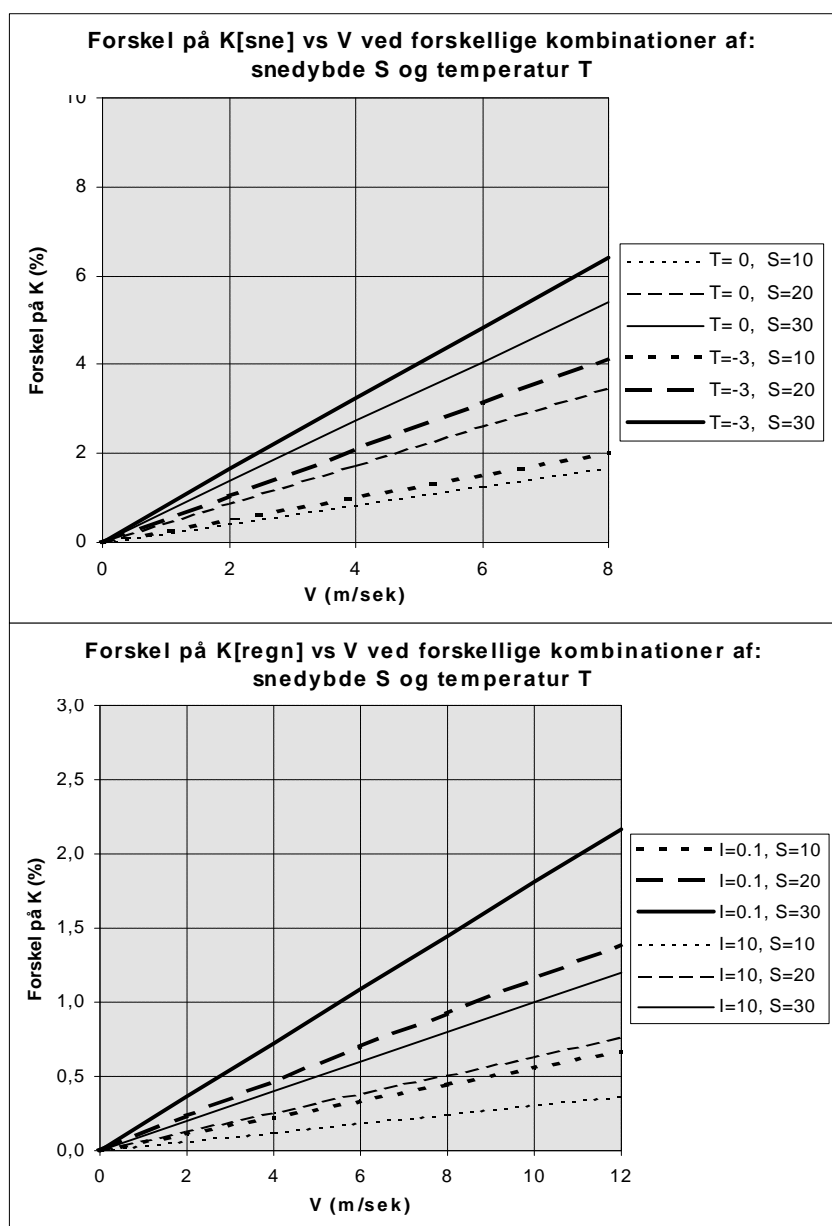


Figur 3.19. Sneprocent vs temperatur under nedbør ved stationerne 22231 og 25271 for perioden 1989-1997. Sneprocenten er beregnet vha. temperatur.

Den regionale analyse er der blevet gjort rede for i afsnit 3.2. Figur 3.18 og 3.19 viser eksempler på det typiske billede af sneprocent ved forskellige værdier af T under nedbør. Sneprocenten pct_s i figur 3.18 er beregnet vha. vejrkoder, mens pct_s i figur 3.19 er beregnet ud fra temperaturen T. Ikke overraskende er der en vis spredning samt faldende pct_s ved stigende T. Figurerne illustrerer dels, at der kan falde sne ved temperaturer over 0°C og dels at der i døgn med både sne og regn kan ske relativt betydelige temperaturvariationer omkring frysepunktet. Det ses også, at spredningen bliver mindre, hvis T bruges til at beregne pct_s, men også at fordelingen i forhold til T ikke overraskende er den samme.

3.3.4 Usikkerhed på transformation af vindhastighed til målerhøjde

Vindhastigheden i 10m skal transformeres ned til nedbørmålerens højde på 1.5m. Dette bliver gjort vha. regneudtrykket for det logaritmiske vindprofil. Her har det været nødvendigt at antage en overfladeruhed for sne og tætklippet græs.



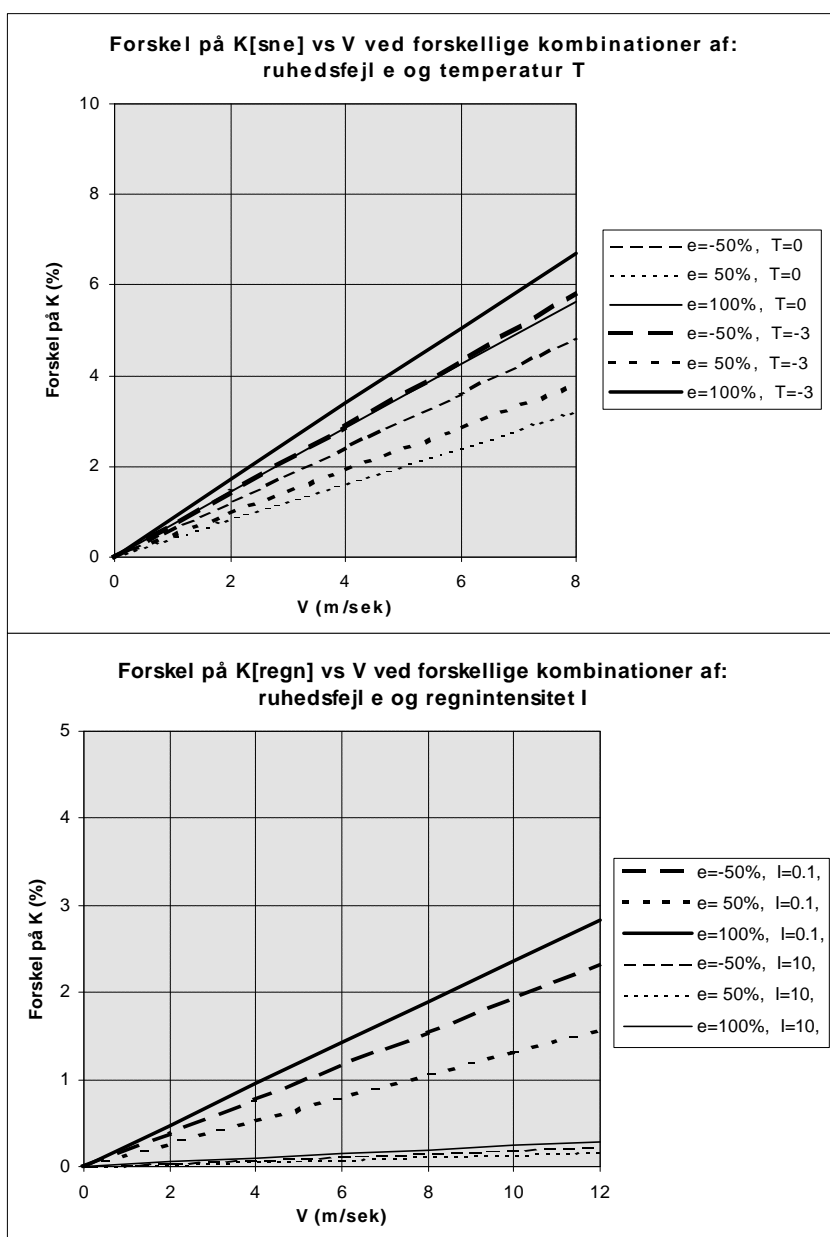
Figur 3.20a. Forskel på niveau af korrektioner for sne foretaget ved at benytte forskellige snedybder i forbindelse med transformation af vindhastighed fra 10m til 1.5m (højde af nedbørmåler). Analysen er lavet i forhold til en referencesnedybde på nær 0 cm.

Figur 3.20b. Som ovenfor men for korrektion af regn.

Det logaritmiske vindprofil er givet ved:

$$\bar{V}(z) = K \cdot \ln\left(\frac{z-d}{z_0}\right)$$

hvor $\bar{V}(z)$ er middelvindhastigheden i højden z , K er en konstant, d er en nulplaforskydning, og z_0 er den såkaldte ruhedsparameter, hvis størrelse afhænger af overfladens ruhed, og som er den højde, hvor middelvindhastigheden er nul. Hvis overfladen har en karakter, så den virker reducerende på vindhastigheden, f.eks. i tilfælde af vegetation, er det nødvendigt at forskyde referenceniveauet, som normalt er jordoverfladen, op efter med forskydningen d . Ruhedsparameteren z_0 afhænger af overfladens ruhed, som for en meget glat overflade som is o.lign. er 0.001 cm, for 1 cm højt græs er den 0.1 cm og for tæt græs på 10 cm er den 2.3 cm (Høgh-Schmidt, 1983).



Figur 3.21a. Forskel på niveau af korrektioner for sne foretaget ved at benytte forskellige værdier af overfladeruheden for sne (givet ved procentuel afvigelse fra en "standardruhed") i forbindelse med transformation af V fra 10m til 1.5m (højde af nedbørmåler).

Figur 3.21b. Som ovenfor men for korrektion af regn.

Figur 3.20a og 3.20b viser, hvor stor forskel det giver, hvis den snetykkelse, der bliver brugt i transformation af vindhastighed til 1.5m, afviger med 10, 20 eller 30cm fra et ubetydeligt snedække på 0cm. Værdier af temperatur og snetykkelse af valgt ud fra, hvad der oftest er forekommet i Danmark i perioden. Det giver en forskel på korrektionen for sne på op til 6% ved 8 m/sek og en temperatur på -3°C , men for de øvrige viste kombinationer er forskellen væsentlig mindre. Specielt for regn ser fejl på snetykkelsen ikke ud til at give anledning til de store forskelle, i de fleste tilfælde under 1%.

Regneeksempler i figur 3.21a og 3.21b viser, hvor stor forskel det giver, hvis fejlen på den antagede ruhed er f.eks. -50% , $+50\%$ og $+100\%$ såvel for sne og regn.

Sne falder oftest ved vindhastigheder under 5 m/sek og temperaturer over -3°C , så fejl på ruheden vil i de fleste tilfælde betyde ret begrænsede forskelle i korrektionsniveau. For regn er effekten af ruhedsfejl mindre end for sne, og for relativt høje regnintensiteter fås der kun ubetydelige forskelle i korrektionsværdien.

3.3.5 Andet af betydning for usikkerheden

Forskelle i tidsopløsningen på målinger af V,T kan have en vis betydning for korrektionsestimatet. Undersøgelser på basis af data fra Jokioinen (Finland) giver en vis ide om, hvad denne kan betyde for størrelsen af den korrigerede nedbørmængde (WMO, 1998). Her blev der målt snedebør i perioden nov. 1987- apr. 1993 med forskellige typer nedbørmålere, heriblandt den danske Hellmann måler. Der blev tillige målt sne med en referencemåler (DFIR), der var placeret i en speciel opstilling for at gøre det muligt at måle den omtrentlige sande nedbørmængde. Hellmann målingerne blev korrigeret ved at benytte V,T beregnet under nedbør (storm) samt som 3-timers (3h) og 12-timers (12h) gennemsnitsværdier. Herefter blev den totale nedbørsum P for hele perioden for at se, hvor tæt den kom på den sande nedbørmængde målt med referencemåleren DFIR. Resultaterne blev: $P_{DFIR}=613.6$ mm, $P_{storm}=612.7$, $P_{3h}=586.7$ og $P_{12h}=585.1$. V,T under nedbør gav som forventet et resultat tæt på P_{DFIR} , fordi det var på basis af disse tal, korrektionsmodellen blev udviklet. Mere interessant er det, at 3- og 12-timers tidsopløsning gav omtrent samme resultat, nemlig en underestimering af den totale snedebørmængde på ca. 4.5%. Det samme forhold vil sandsynligvis gøre sig gældende for blandet nedbør og regn, omend underestimeringen vil være mindre.

Endelig er der problemet med at beskrive læforholdene ved stationerne på en måde, så der korrigeres fyldestgørende herfor i forbindelse med korrektion af den målte nedbørmængde. Der bliver benyttet et læindex, som er et vægtet middel af højdevinklerne ved stationen. Læeffekten kan i yderste konsekvens komme til at afhænge af vindretningen hvis højdevinklen kompasset rundt udviser store variationer. Det er tilfældet ved en del stationer. Betydningen heraf er ikke blevet analyseret dybere, men en ide om fejlens størrelse kan fås af tabel 2.2 og 2.3. Endvidere kan læeffekten variere med årstiden.

3.3.6 Når der mangler værdier

Hvis der til beregning af en variabel mangler oplysninger fra samtlige stationer, både basis- og synopstationer, bliver der i stedet benyttet en klimatologisk værdi. Antal tilfælde hvor dette har været nødvendigt har imidlertid i perioden 1989-1997 været meget begrænset (se tabel 4.4), så der er ikke blevet lavet specielle analyser for denne situation.

3.4 Diskussion - Hvor langt borte fra en station bør meteorologiske variable højst tages?

Korrektioner for aerodynamiske målefejl af flydende eller fast nedbør kan udføres vha. statistiske modeller, hvor korrektionsfaktorerne er udledt fra kendte værdier af fire uafhængige variable: vindhastighed, regnintensitet, temperatur og sneprocent (procentuelle forhold mellem flydende og fast nedbør). Lokalt observerede værdier af disse variable bliver sædvanligvis benyttet i beregningerne.

Da korrektionssystemet er bygget op på en sådan måde, at en basisstation indenfor en region forsyner nedbørmålere i omegnen med disse meteorologiske variable, er det blevet analyseret hvor stor betydning regionale variationer af disse variable har for estimerede korrektioner. Analyserne studerer konsekvenserne af manglende information om de fire uafhængige variable ved nedbørstationerne, således at data må indsamles fra andre kilder samtidig. Data fra de tolv basisstationer er blevet analyseret for en 8 års periode ved at se på daglige informationer om nedbør og de pågældende uafhængige variable. Analyserne førte til anisotropiske afstandsrelationer med simple regler for, hvor langt borte fra nedbørstationerne de fire variable kan hentes uden tab af konfidens i de resulterende beregninger af en korrektionsfaktor.

Fra analyserne ser det ud til at kunne konkluderes at:

- I tilfælde af at *alle fire* variable mangler “lokalt”, bør den manglende information ikke hentes længere væk end 50 km borte,
- i tilfælde af manglende information om vindhastigheden bør afstanden ikke overstige 50 km,
- i tilfælde af at regnintensiteten mangler bør afstanden ikke være større end 75 km,
- i tilfælde af manglende temperaturinformation, kan data med rimeligt resultat erstattes af enhver samtidig temperaturmåling i Danmark,
- i tilfælde af at der mangler information om mængden af sne og regn i et nedbørdøgn (sneprocent) bør afstanden ikke overstige 100 km.

Basisstation	Afstand mellem nedbørstation og basisstation									
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	>70	max	gns
TYLSTRUP II	1	3	7	4	1	0	0	0	44	25.7
HORNUM II	3	5	5	4	1	3	0	0	55	27.0
SILSTRUP II	1	2	2	1	0	0	0	0	32	18.0
ØDUM II	1	1	3	5	5	2	1	0	64	36.6
BORRIS II	1	3	9	7	7	2	0	0	55	33.0
ASKOV II	3	4	6	10	3	1	0	0	56	28.1
STORE JYNDEVAD II	1	0	5	8	2	1	0	0	55	31.1
ÅRSLEV II	3	4	2	5	3	2	0	0	53	28.3
FLAKKEBJERG II	2	3	4	2	3	0	1	0	61	27.6
LEDREBORG ALLE II	2	4	8	11	3	0	0	0	47	28.3
ABED II	0	3	2	4	0	0	1	0	64	28.8
KLEMENSKER Ø	1	4	1	0	0	0	0	0	21	14.8
IALT	19	36	54	61	28	11	3	0	50.6	28.8
procent	9.0	17.0	25.5	28.7	13.2	5.2	1.4	0.0	-	-

Tablet 3.12. Antal nedbørstationer grupperet efter afstand fra basisstationen i hver region og for samtlige regioner. Endvidere er vist maksimale og gennemsnitlige afstand i hver region og ialt.

Usikkerheden på korrektionsestimatet er således afhængig af afstanden til basisstationen. Afstanden mellem nedbørstationer og basisstationer i hver region og for hele landet er sammenfattet i tabel 3.12. Det fremgår, at 93% af de 212 udvalgte nedbørstationer (tabel 5.1) ligger inden 50 km fra basisstationerne, 80% indenfor 40 km, og 51% indenfor 30 km.

Der giver også anledning til usikkerhed, om korrektionerne er baseret på middelværdi af T,V under nedbør eller for døgnet. Beregning af regnintensitet I giver helt specielle problemer. Det er fundet at der er systematisk forskel på størrelsen af I, afhængig af om den beregnes på basis af Geonor nedbørdata eller ud fra vejrkoder med Hægmarks metode. I kapitel 4 vil der blandt andet blive gjort rede for, i hvor udstrakt grad I er blevet beregnet ud fra Geonor eller Hægmark, og hvor ofte V,T blev beregnet på døgnbasis eller for nedbørperioden.

Et mere specielt problem er givet ved, at vindhastigheden skal transformeres ned fra 10m, hvor den bliver målt, til nedbørmålerens højde på 1.5 m. Det er blevet undersøgt, hvor stor forskel er i korrektionsestimatet der fremkommer som følge af fejl på den antagede overfladeruhed og den målte snetykkelse. Med mindre vindhastigheden er høj og regnintensiteten lav er betydningen for korrektion af regn perifer, mens effekten for sne er noget større, omend den holder sig indenfor usikkerhedsgrænserne for modellen (1).

4 Grundlaget for beregninger

Følgende punkter vil blive beskrevet:

- Beskrivelse af stabiliteten af nedbør-, synop- og basisstationer
- Beskrivelse af datagrundlag og skift i beregningsmetoder henover perioden

Det vil blive dokumenteret, hvor ofte nedbøren ikke kunne korrigeres ved nedbørstationerne. Tabellering af hvor ofte, ved hvilke stationer og på hvilke årstider der er udfald i korrektionerne, vil kunne give et grundlag for, hvordan de korrigerede nedbørmålinger bør anvendes. Det vil også blive vist, hvor ofte der har været udfald i målingerne ved basisstationer og synopstationer, samt blive oplyst hvilke metoder, der har været benyttet til beregningerne og hvor godt datagrundlaget har været.

4.1 Stationsnettet

4.1.1 Basisstationernes stabilitet

I forrige kapitel blev det blandt andet fundet, at data så vidt muligt bør være fra automatiske klimastationer, dels fordi regnintensiteten er blevet målt og dels fordi tidsopløsningen på data er 1 time. Det vil derfor være interessant at se på, hvor ofte disse stationer har kunnet yde data, og hvor ofte synopstationerne har været benyttet i stedet.

Tabel 4.1 viser, hvor stabile basisstationer har været 1989-1997, samt hvor ofte en basisstation har været udskiftet med en synopstation pga. datamangel eller fordi basisstationen endnu ikke har været oprettet. For de fleste regioner har der været optimale data i langt størstedelen af perioden, ca. 95% af tiden. For visse basisstationer har de nødvendige data kun været målt i en kortere periode. F.eks. blev nedbørmålinger ved station 31351 først indledt i løbet af 1995, og for station 32082 var der en afbrydelse i nedbørdata 1991-1995. For 32082 har der tillige været perioder, hvor der ikke var synopdata fra selve regionen. Det samme har været tilfældet for nogle af de andre regioner, men i meget begrænset omfang.

data	20209	20501	21061	22231	24381	25271	26401	28281	29451	30421	31351	32082
1	94.98	85.28	76.60	94.40	89.82	93.60	94.29	89.13	1.92	95.92	27.68	45.17
2	0.31	9.80	18.44	0.04	0.00	0.00	0.50	6.69	93.83	0.00	1.78	0.82
3	4.67	4.14	4.09	5.56	10.18	6.40	5.21	3.74	0.00	4.08	54.21	51.35
4	0.04	0.78	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	4.25	0.00	16.33	2.66
ialt	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Tabel 4.1. Datagrundlaget til korrektion af nedbørmålinger indenfor hver region kan have være følgende: (1) Data fra både basis- og synopstation, (2) Data fra basisstation, men ikke fra synopstation, (3) Ingen data fra basisstation, men data fra synopstation, eller (4) Ingen data fra basis- og synopstation.

4.1.2 Hvor langt fra basisstationerne ligger synopstationerne?

Der bliver ikke registreret nedbørart og snetykkelse ved basisstationerne, hvorfor oplysningerne er blevet hentet fra synopstationer. Spørgsmålet er, hvad den typiske afstand mellem basisstation og synopstation har været, samt hvilke synopstationer der typisk er blevet benyttet.

synop	20209	20501	21061	22231	24381	25271	26401	28281	29451	30421	31351	32082
06024	-	-	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06030	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06048	-	59.4	-	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
06060	-	-	-	-	25.0	-	-	-	-	-	-	-
06069	-	40.6	-	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-
06070	-	-	-	99.2	-	-	-	-	-	-	-	-
06080	-	-	-	-	-	3.2	-	-	-	-	-	-
06100	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-
06104	-	-	-	-	75.0	17.0	-	-	-	-	-	-
06108	-	-	-	-	-	40.8	-	-	-	-	-	-
06110	-	-	-	-	-	38.9	100.0	-	-	-	-	-
06120	-	-	-	-	-	-	-	99.6	-	-	-	-
06124	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	-	-	-
06143	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.0	-
06153	-	-	-	-	-	-	-	-	100.0	-	-	-
06156	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17.2	-	-
06160	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18.2	-	-
06170	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41.8	-	-
06180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.0	-	-
06181	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13.8	-	-
06190	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.0
antal synop	1	2	1	3	2	5	2	2	1	5	1	1
gns.afstand	11.0	42.0	16.0	30.1	43.5	23.2	37.0	20.1	21.0	19.4	16.0	14.0

Tabel 4.2. Procent tilfælde de forskellige synopstationer har været benyttet til støtte for basisstationerne henover perioden 1989-1997.

Tabel 4.2 viser, hvilke synopstationer basisstationerne typisk har benyttet som erstatning for data eller som supplement med oplysninger om blandt andet snedybde og vejrtype. De fleste basisstationer har stort set benyttet en og kun en synopstation 1989-1997, mens to stationer har benyttet hele 5 synopstationer, hvoraf dog en eller to har været klart foretrukne.

Disse synopstationer ligger i forskellige afstande fra basisstationen. I tabel 4.2 er vist middelfstanden for perioden 1989-1997. I de fleste tilfælde ligger synopstationen 10-20 km borte. I to regioner ligger synopstationerne imidlertid omkring 40 km væk, hvilket ville introducere usikkerhed i korrektionsestimaterne, hvis beregning af de kontrollerende variable hovedsagelig har været baseret på synopperne. Dette vil blive analyseret i afsnit 4.2, der kortlægger i hvor høj grad synopstationerne har været et væsentligt grundlag i beregningerne.

4.1.3 Vurdering af korrigerede dataserier

Tabel 4.3 viser, hvor ofte det har været tilfældet at: (1) den manuelt målte nedbørmængde ikke er blevet accepteret som egnet til blive korrigeret, og (2) der har været datahuller og driftsforstyrrelser ved manuelle nedbørstationer. Opgørelsen er lavet for lige netop de 212 stationer, der kunne opfylde kriterierne for valg af stationer til korrektion (se afsnit 2.4). Der ses en generel tendens til, at omfanget af mangel på korrektion blandt de valgte stationer er vokset i periodens løb, dog med enkelte undtagelser. Ingen af de 212 stationer er blevet nedlagt i periodens løb, så årsagen er at finde et andet sted: (1) der har været midlertidige afbrydelser i målingerne, f.eks. på grund af problemer med målegrej, (2) data er blevet forkastet fordi højdevinkler og læindex i en periode har været for høje.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ialt
1989	0.75	2.29	0.68	3.42	8.72	4.13	0.63	5.25	3.84	7.32	0.81	2.79	3.23
1990	0.27	7.57	0.18	0.73	7.38	3.84	6.01	8.64	7.43	9.24	1.29	2.83	4.56
1991	3.60	13.55	0.71	1.32	9.62	10.82	5.25	10.01	17.08	12.12	2.44	8.40	7.57
1992	2.99	5.27	0.00	2.73	6.88	12.23	1.15	7.82	13.79	17.02	1.22	9.70	6.39
1993	5.42	15.84	0.73	4.22	13.30	16.24	4.29	10.86	14.43	20.11	0.84	19.41	9.61
1994	4.66	15.87	2.72	7.72	10.05	13.54	5.57	6.09	17.13	18.92	1.26	15.11	8.99
1995	5.72	14.37	0.68	9.68	11.08	15.04	8.93	1.33	10.48	20.33	0.00	18.13	8.94
1996	8.53	21.76	2.09	11.09	21.19	12.06	7.67	0.43	5.99	17.06	2.88	19.40	9.92
1997	9.33	25.90	8.33	22.95	24.11	22.74	5.28	7.96	7.80	29.13	0.42	29.32	14.21
stationer	16	21	6	18	29	27	17	19	15	28	10	6	212

Tabel 4.3. Procent manglende observationer ved manuelle nedbørstationer 1989-1997 for hver af de 12 regioner. Nederst er angivet antal stationer i hver region. Se iøvrigt i tabel 5.1, hvilke manuelle nedbørstationer, der ligger i hver region.

Spørgsmålet er nu, hvorfor der tilsyneladende er en stigende forekomst af manglende korrektioner. Mulige svar kan udledes af tabel 4.4. Her er for hvert år vist antallet af stationer grupperet efter, hvor mange døgn der har manglet korrektioner. Det fremgår umiddelbart, at den meget høje totale mangelprocent i 1997 på 14.21 primært skyldes, at der manglede korrektioner for hele året ved 16 af de 212 manuelle stationer. Det ses også, at der i perioden 1993-1996 manglede korrektioner næsten hele året ved 6-7 stationer. Disse forhold medvirker til at forklare de forholdsvis høje mangelprocenter, der i tabel 4.3 ses i denne periode. I 1989 og 1990 var stationer med omfattende mangel på korrektioner derimod en sjældenhed, og den totale mangelprocent var da også lav. Frekvensen af mangel på korrektioner i 3 måneder og derunder pr. år (<100 døgn med mangel i tabel 4.4) ses at have varieret henover perioden 1989-1997, men manglen har på ingen måde været systematisk stigende.

antal døgn med mangel på korrektioner	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	grupperet efter gns. for perioden
0	149	128	129	65	137	125	158	149	143	23
1-5	31	34	12	96	8	24	3	0	1	105
6-20	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
21-31	14	18	34	11	20	19	13	20	17	24
32-62	7	16	14	12	10	18	11	15	9	23
63-100	3	9	3	10	16	4	4	7	6	20
101-200	6	2	12	14	8	12	8	6	14	15
201-300	2	0	5	3	7	1	7	4	4	2
301-350	0	2	1	0	0	2	1	4	2	0
351-364	0	1	2	1	6	7	0	7	0	0
365	0	0	0	0	0	0	7	0	16	0
sum	212	212	212	212	212	212	212	212	212	212

Tabel 4.4. Antal stationer grupperet efter antal manglende korrektioner for perioden 1989-1997. Yderst til højre er vist, hvordan fordelingen ser ud, hvis grupperingen sker på basis af hvor mange korrektioner der har manglet i gennemsnit pr. år.

Det er imidlertid ikke de samme stationer, der hvert år er kendetegnet ved stor mangel på korrektioner. For at kompensere for denne vekslen, er mangelsituationen gjort op for hele perioden ved at klassificere efter den gennemsnitlige mangel på korrektioner. Rubriceret på denne måde er 128 af de korrigerede serier næsten komplette, idet der i gennemsnit kun mangler 0-5 korrektioner pr. år. I alt 47 stationer mangler årligt 1-2 måneders korrektioner, dvs. gruppen 21-62 døgn. Tilbage står, at 17 stationer i gennemsnit mangler 3 måneders korrektioner eller mere pr. år. Det er klart, at det kan være vanskeligt at beregne regional fordeling af korrigeret nedbør, når nogle af de korrigerede dataserier er periodevis ukomplette.

Årsagen til den svære mangel på korrektion ved nogle få stationer er for store højdevinkler. Problemet med højdevinkler kan kun løses ved at nedbringe højdevinklerne, altså flytte måleren til en bedre placering eller afkorte og fælde bevoksningen omkring måleren. At kunne gøre dette kræver et stationsbesøg. Sådanne er blevet foretaget til alle stationer omkring hvert 2. år, så problemer kan eksistere i nogen tid, inden de bliver løst. Da hovedparten af de manuelle nedbørmålere står i private haver, er det ikke realistisk, ej heller rimeligt, at forlange vegetationen fældet eller afkortet. Da det ofte kan være vanskeligt at finde nye og bedre placeringer til målere med det samme, er det umuligt at undgå huller i korrigerede dataserier trods komplette ukorrigerede serier.

4.2 Variationer i datagrundlag for de meteorologiske variable

Tabel 4.5 viser beregningsgrundlaget for de kontrollerende variable regnintensitet I , temperatur T , vindhastighed V og sneprocent S , som benyttes i model (1) til at beregne korrektionsfaktoren, samt snetykkelsen S . Tabellen er fremkommet ved kun at se på døgn, hvor der er faldet nedbør ved mindst en af de 212 manuelle nedbørstationer, der er blevet udvalgt til nærværende arbejde. For snetykkelsen er opgørelsen tillige begrænset til den del af perioden, hvor der har ligget sne.

Regnintensiteten I bestemt ud fra vejrkode er systematisk lavere end bestemt ud fra målinger med Geonor, og brug af en vejrkodebaseret I -værdi giver en forskel på ca. 13% på korrektionsfaktoren allerede ved vindhastigheder på 6 m/sek. Det er således vigtigt, at datagrundlaget for bestemmelse af I så vidt muligt er automatiske klimastationer (basisstationer). Disse stationer blev først etableret 1987-1988, og der var visse vanskeligheder i starten. Derfor har det været nødvendigt specielt af hensyn til I at indskrænke de oprindelige ambitioner om at korrigere tilbage til 1981 og i stedet nøjes med perioden 1989 og frem. Tabel 4.5 viser, at I kun i meget begrænset omfang har været baseret på vejrkode; for de fleste basisstationer 0-1% af de døgn, hvor der er faldet nedbør. For station 31351 og 32082 har der i en del af perioden ikke været data, så I er blevet bestemt enten ud fra de andre stationer eller som klimatologisk værdi. Dette er naturligvis problematisk og medvirker til at øge usikkerheden på de korrigerede nedbørmængder i disse regioner.

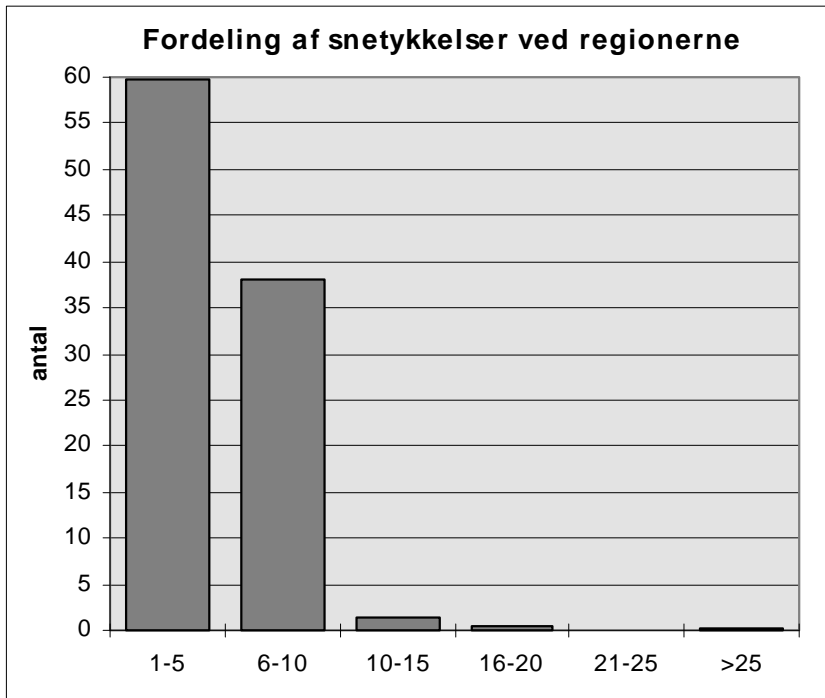
Ved de øvrige stationer er I bestemt lokalt i 65-75% af tiden. I 25-30% af tilfældene har det imidlertid ikke været muligt at bestemme I ud fra data i regionen. Under tørvejr ved basisstationen har der sandsynligvis også været tørvejr eller begrænset nedbørmængde ved synopstationer i regionen. Det forklarer, hvorfor andelen af døgn med en vejrkodebaseret I -værdi er lavt. I de tilfælde hvor I er beregnet ud fra oplysninger om I fra de andre regioner, har antallet af nedbørstationer med nedbør i en region formentlig været lille, og problemet antages at være forholdsvis lille.

Sneprocenten er i regionerne stort set blevet beregnet ud fra synop- og automatiske klimastationer, dvs. ud fra enten lufttemperatur eller vejrkode. I nogle få procent af døgn med nedbør er pct's blevet beregnet ud fra andre stationer. I alle tilfælde har det været muligt at bestemme pct's ud fra målinger. Station 31351 adskiller sig fra dette billede, idet pct's for ca. 17% af døgn med nedbør blev bestemt ud fra andre stationer. Det skyldes, at det i en del af perioden 1989-1997 ikke var muligt at bestemme pct's ud fra hverken synopdata eller basisstationen, da de nødvendige data manglede.

Regnintensitet												
data	20209	20501	21061	22231	24381	25271	26401	28281	29451	30421	31351	32082
1	66.6	64.7	75.4	67.7	63.9	67.9	67.8	66.1	62.5	68.1	19.8	32.7
2	0.9	0.2	0.4	0.9	3.0	2.2	1.0	0.1	0.0	1.7	0.0	1.3
3	29.9	32.5	22.8	28.9	30.0	26.7	28.7	31.8	35.5	27.4	78.3	64.0
4	2.6	2.6	1.4	2.6	3.2	3.2	2.5	2.0	2.0	2.8	2.0	2.1
sneprocent												
data	20209	20501	21061	22231	24381	25271	26401	28281	29451	30421	31351	32082
1	32.6	49.4	54.5	31.9	22.5	31.5	29.6	52.2	95.4	27.2	12.5	26.8
2	65.6	49.6	43.4	66.1	75.0	64.9	68.1	46.9	0.3	68.6	70.7	69.8
3	1.8	1.1	2.0	2.0	2.5	3.6	2.3	0.9	4.3	4.2	16.8	3.5
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
temperatur												
data	20209	20501	21061	22231	24381	25271	26401	28281	29451	30421	31351	32082
1	95.3	94.6	95.0	94.4	89.8	93.6	94.8	95.8	95.7	95.9	29.5	46.0
2	4.7	4.3	3.9	5.6	10.2	6.2	5.2	3.7	0.0	4.1	53.9	51.2
3	0.0	1.1	1.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.4	4.3	0.0	16.6	2.8
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
vindhastighed												
data	20209	20501	21061	22231	24381	25271	26401	28281	29451	30421	31351	32082
1	95.3	95.1	94.5	94.4	89.8	93.5	94.8	95.8	95.7	95.9	29.5	46.0
2	4.7	4.0	4.5	5.6	10.2	6.3	5.2	3.7	0.0	4.1	53.2	51.2
3	0.0	0.9	1.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.4	4.3	0.0	17.3	2.9
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
snetykkelse												
data	20209	20501	21061	22231	24381	25271	26401	28281	29451	30421	31351	32082
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	59.4	0.0	0.0	40.7	74.8	51.1	56.1	25.7	1.8	44.3	0.2	42.8
3	40.6	100.0	100.0	59.3	25.2	48.9	43.9	74.3	98.2	55.7	99.8	57.2
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabel 4.5. Grundlaget for beregning af hver af de kontrollerende variable regnintensitet, vindhastighed, temperatur og sneprocent, samt med henblik på transformation af vindhastighed fra 10m til nedbørmålerens højde også snetykkelse. Tallene viser, hvor stor en procentdel af nedbørdøgnene, at hver af de seks variable er blevet beregnet ud fra: (1) data fra basisstation, (2) data fra synopstation, (3) værdier ved øvrige stationer, eller (4) er fremkommet som en klimatologisk værdi.

Temperaturen T og vindhastigheden V er for de fleste stationer blevet beregnet ud fra lokale data for ca. 95% af døgn med nedbør. Der er dog enkelte undtagelser. For station 31351 og 32082 er T i stor udstrækning beregnet ud fra data fra en nærliggende synopstation hhv. 16 og 14 km fra basisstationen. Det har været nødvendigt, fordi der i en del af perioden har manglet data fra basisstationen. Da disse synopstationer ligger ret tæt på basisstationen, antages det kun at give anledning til ret begrænsede fejl på de korrigerede estimater. Dette gælder specielt for region 32082, hvor samtlige nedbørstationer ligger indenfor 27 km's afstand (tabel 3.11).



Figur 4.1. Fordeling af snetykkelser for de 12 regioner for døgne med snedække for perioden 1989-1997.

Fremskaffelse af oplysninger om snetykkelse har været problematisk. For station 24381 stammer 75% af oplysningerne om snetykkelse således fra en synopstation i regionen, men i andre regioner har der manglet lokale oplysninger.

Figur 4.1 viser fordelingen af snetykkelser i de 12 regioner for døgne med snedække over perioden 1989-1997. Snetykkelsen bliver benyttet til nulplansforskydning i forbindelse med beregning af vindhastighed i målerhøjde. Det ses, at ca. 98% af døgne med snedække havde snetykkelse på 1-10cm, og i kun 0.3% af tilfældene var tykkelsen >20cm. Snedække har således kun marginal betydning for usikkerheden på beregning af V i målerhøjde.

4.3 Middelværdi under nedbør - hvor ofte?

For at kunne give det optimale resultat skal modellen (1) bruge middelværdier under nedbør af vindhastighed V og lufttemperatur T, målte værdier af regnintensitet I samt sneprocent pct's baseret på manuelle observationer af nedbørarten. For at kunne opfylde disse betingelser optimalt ud fra de data, der har været til rådighed, er kravet, (1) at der er faldet nedbør ved basisstationen for at skaffe V, T og I, og (2) at der også er faldet nedbør ved en synopstation for at bestemme pct's ud fra vejrkode.

Det optimale datagrundlag har dog ikke været tilstede i hele perioden, dels fordi der har manglet data fra nogle af basisstationerne, og dels fordi de regionale variationer i nedbørfordelingen ofte har været sådan, at både basis- og synopstationer ikke har fået nedbør. Det vil derfor give et indtryk af beregningsgrundlaget for korrektion af nedbør at se på:

- Hvor ofte har datagrundlaget i hver region været det optimale?
- Hvor ofte har det modsatte har været tilfældet?
- Hvor ofte har det været muligt at bestemme V, T, I og pct's under nedbør?

Disse spørgsmål kan besvares ved at se på tabel 4.6, der viser resultatet af en optælling, hvori kun indgår de døgn, hvor der indenfor hver af regionerne er faldet nedbør ved mindst en af de manuelle nedbørstationer. Tabellen viser, at regionerne kan deles op i hovedgrupper, hvor beregningsgrundlaget på nogle væsentlige punkter er nogenlunde ens.

For halvdelen af regionerne (20209, 22231, 24381, 25271, 26401 og 30421) har det optimale datagrundlag (WW=nedbør ved både basis- og synopstation) været tilstede i 50-60% af tiden. I 80-85% af døgn, hvor der er faldet nedbør ved mindst en manuel nedbørstation i disse regioner, er der også faldet nedbør ved basis- og/eller synopstationer i området. I 15-20% af døgnene har dog kun en synopstation, og ikke en basisstation fået nedbør, hvilket giver et lidt dårligere grundlag for korrektion, selvom det på rimelig vis har været muligt at kombinere oplysningerne om nedbør ved de to typer stationer. At grundlaget er dårligere skyldes blandt andet, at tidsopløsningen på data ved synopstationer normalt har været 3 timer mod 1 time ved basisstationer, og at regnintensiteten måtte bestemmes ud fra vejrkode med Hæggmarks metode. I 15-20% af tiden måtte V, T, I og pts bestemmes som døgnværdier, men det har stort set ikke været tilfælde, hvor der har manglet både basis- og synopstationer. Bortset fra i en af de 6 regioner har der været data fra basisstationen i 94-96% af perioden.

klima/synop	20209	20501	21061	22231	24381	25271	26401	28281	29451	30421	31351	32082
WW	57.06	0.00	39.39	56.15	53.54	53.81	59.16	39.45	1.43	48.42	0.00	20.25
WD	5.77	57.67	21.32	8.29	5.61	8.29	5.59	20.93	0.04	11.41	18.60	10.24
WN	0.27	7.89	15.51	0.00	0.00	0.00	0.31	4.74	61.71	0.00	1.17	0.63
DW	14.72	0.00	5.67	13.07	17.31	17.90	15.79	7.66	0.25	19.61	0.00	6.81
DD	17.43	27.61	10.22	16.89	13.36	13.60	13.75	21.09	0.20	16.48	9.08	7.87
DN	0.04	1.91	2.93	0.04	0.00	0.00	0.19	1.95	32.12	0.00	0.61	0.19
NW	3.65	0.00	2.46	4.09	8.48	5.20	4.41	1.67	0.00	2.94	1.91	20.00
ND	1.02	4.14	1.63	1.47	1.70	1.20	0.80	2.07	0.00	1.14	52.30	31.35
NN	0.04	0.78	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	4.25	0.00	16.33	2.66
ialt	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
nedbør	81.47	65.56	84.35	81.60	84.94	85.20	85.26	74.45	63.43	82.38	21.68	57.93
tørvejr	18.53	34.44	15.65	18.40	15.06	14.80	14.74	25.55	36.57	17.62	78.32	42.07
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Tabel 4.6. Oversigt der viser, hvor ofte (i procent) det har været muligt at skaffe information om de kontrollerende variable for nedbørdøgn, hvor nedbøren er faldet enten ved basisstationen, ved en synopstation, eller begge dele. I optællingen indgår kun døgn, hvor der ved mindst en af de manuelle nedbørstationer indenfor hver af regionerne er faldet nedbør. Bogstavkoderne har følgende betydning: WW=nedbør ved basisstation, nedbør ved synopstation, WD=nedbør ved basisstation, tørvejr ved synopstation, WN=nedbør ved basisstation, synopstation mangler, DW=tørvejr ved basisstation, nedbør ved synopstation, DD=tørvejr ved basisstation, tørvejr ved synopstation, DN=tørvejr ved basisstation, synopstation mangler, NW=basisstation mangler, nedbør ved synopstation, ND=basisstation mangler, tørvejr ved synopstation, og NN=basisstation mangler, synopstation mangler. Det er for oversigtens skyld vist, hvor stor en procentdel af døgnene, at hver af de 12 basisstationer har haft nedbør hhv. tørvejr.

I region 21061 og 28281 har det optimale datagrundlag været tilstede i omkring 40% af døgnene, og andelen af døgn med nedbør ved enten basis- eller synopstationer eller begge dele er på 75-85%. I region 20501 og 29451 er nedbørarten kun i begrænset omfang blevet observeret ved nærliggende

synopstationer, så i omkring 65% af døgn med nedbør i regionen er der faldet nedbør ved basisstationen.

Det værste tænkelige er, at der er total mangel på data i en region. Dette scenarie er kun forekommet i meget begrænset omfang i stort set alle regioner (under 1% af tiden). I region 31351 har der imidlertid manglet data fra både basis- og synopstation i ca. 16% af tiden, hvilket er utilfredsstillende med henblik på korrektion af nedbør. Forklaringen er, at basisstationen først blev etableret sent i perioden 1989-1997, og at det har været vanskeligt at finde synopdata med registrering af nedbørmængde og vejrkode. Dette ses tydeligt af, at det i denne region i kun ca. 16% af tiden har været muligt at bestemme forholdene under nedbør, og det har vel og mærke været i den periode, hvor basisstationen har været i drift. I region 32082 har der fra 1991 til 1994 og en del af 1995 manglet en del data fra basisstationen. I omtrent 60% af døgn med nedbør i regionen har det dog været muligt at bestemme forholdene ved målinger under nedbør.

4.4 Hvor ofte V, T og I lå udenfor modelforudsætninger

Hvis V, T eller I ligger udenfor gyldighedsområdet for modellen (1), er det ikke muligt at korrigere nedbørmålinger indenfor modellens usikkerhedsgrænser. Gyldighedsgrænserne for sne er: $V \leq 7$ m/sek og $T \geq -12^\circ\text{C}$, for blandet nedbør: $V \leq 7$ m/sek, $T \geq -12^\circ\text{C}$ og $I \leq 15$ mm/time, samt for regn: $V \leq 15$ m/sek, og $I \leq 15$ mm/time. Det er vigtigt at bemærke, at der altid bliver korrigeret for wettingtab, selv når V, T eller I ligger udenfor disse grænser.

Tabel 4.7 viser, hvor ofte V, T og I lå udenfor disse intervaller ved de 12 basisstationer i perioden 1989-1997, så det ikke kunne lade sig gøre at korrigere. Omfanget af udfald ved de manuelle nedbørstationer vil imidlertid være mindre end vist i tabellen, afhængig af hvor gode læforholdene er ved stationerne. Frit eksponerede stationer vil have en udfaldshyppighed omtrent som for basisstationerne, mens stationer i læ vil have en korrektionssuccess meget tæt på 100%, også om vinteren.

Der ses en klar årstidsvariation. Om vinteren sker det som ventet hyppigst, fordi det normalt er mest blæsende også under nedbør i denne del af året. I maj og oktober er der et minimum i procent tilfælde med udfald, mens der er en lidt større hyppighed om sommeren med op til 0.3% udfald i juni og juli. Denne variation skyldes flere forhold. I maj-oktober falder nedbøren praktisk taget udelukkende som regn. Altså er vindgrænsen for modellen $V=15$ m/sek. Det er yderst sjældent, at det under nedbør (regn) blæser mere end dette, selv i oktober, hvorfor det er regnintensiteten I, der bestemmer om det kunne lade sig gøre at korrigere eller ej. Da den mest intense regn oftest forekommer om sommeren, vil det være i denne del af sommerhalvåret, at der er en lille overhyppighed af korrektionsudfald. Disse korrektionsudfald er dog ikke alvorlige, idet korrektionsfaktoren ved høje I værdier er meget lille, selv når det blæser kraftigt.

Når der ses på de enkelte måneder, afspejler nedbørarten sig tydeligt. F.eks. er procenten høj i december 1995, februar 1996 og januar 1995, hvor en stor del af nedbøren faldt som sne, og det med et par nedbørhændelser med $V > 7$ m/sek. Faktisk var vindhastigheden så høj i enkelte tilfælde, at det ikke ville give mening at korrigere, da resultatet ville blive urealistisk store nedbørmængder.

Regnintensiteten og tildels også vindhastigheden har i nogle få tilfælde været meget høj i sommermånederne. I juni 1994 forekom der et usædvanlig kraftigt, næsten landsdækkende

tordenvejr med høje regnintensiteter. Resultatet var 0.8% korrektionsudfald. For sommerhalvåret havde sommeren 1997 de hyppigste udfald. Flere uvejr med torden dominerede juni 1997, blandt andet var der et meget kraftigt uvejr med vindstød af stormstyrke samt skypumper. I juli var der nogen bygeaktivitet med lokalt store regnmængder, og også august havde nogle få intense regnhændelser.

Taget over hele perioden var V, T og I på et niveau, så det alene af den grund kunne lade sig gøre at korrigerede målte nedbørmængder i 99.5% af døgn med nedbør. De delvise korrektionsudfald har en vis betydning for nedbørens regionale fordeling. I den periode, hvor nedbøren falder som regn, har udfaldene kun begrænset praktisk betydning, idet langt størstedelen af disse udfald skyldes for høje regnintensiteter, ved hvilke værdier den ukorrigerede nedbørmængde vil ligge meget tæt på det korrigerede. Derimod er problemet større for sne, idet vindeffekten kan være betydelig. For snehændelser med V lidt større end modelgrænsen vil en vis andel af de manuelle stationer alligevel kunne korrigeres, fordi de ligger i læ. Jo kraftigere vind, des mindre andel af stationerne vil kunne korrigeres. Ved kraftig vind og sne bliver den regionale fordeling af nedbør derfor usikker. Dertil kommer uløste problemer med snefygning.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Året
1989	0.0	0.6	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.3	0.2
1990	0.8	2.4	1.1	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.3	2.4	0.6
1991	0.5	0.3	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1
1992	0.0	0.0	0.8	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.2
1993	3.2	0.6	0.3	0.3	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.6	0.5	0.5
1994	2.4	1.2	1.6	0.3	0.0	0.8	0.5	0.3	0.3	0.3	0.6	0.0	0.7
1995	4.3	1.2	1.1	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	2.2	3.0	1.0
1996	1.1	4.3	0.0	0.6	0.0	0.3	0.0	0.3	0.3	0.3	0.0	0.8	0.6
1997	0.3	2.7	0.5	0.0	0.0	0.8	1.3	0.8	0.6	0.3	0.3	0.0	0.6
total	1.4	1.5	0.7	0.2	0.0	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.4	0.8	0.5

Tabel 4.7. Procent døgn hvor vindhastighed V, temperatur T og regnintensitet I ved de 12 basisstationer lå udenfor forudsætningerne for korrektionsmodellen (1).

4.5 Diskussion af beregningsgrundlag

I korrektionsmodellen (1) er kravet, at vindhastighed V og temperatur T er bestemt som middelværdi under nedbør. Endvidere skal regnintensiteten I være baseret på målinger og sneprocenten på iagttagelser af nedbørart. Manuelle nedbørmålinger er blevet korrigeret for vindeffekten ved at benytte oplysninger om blandt andet V, T, I og pcts ved nogle basisstationer. Imidlertid har det skitserede optimale beregningsgrundlag ikke været tilstede i hele perioden, dels pga. tørvejr ved basisstationen og/eller synopstationer i regionerne trods nedbør ved en eller flere manuelle nedbørstationer, og dels pga. mangel på data fra basis- og synopstationer.

Der er blevet foretaget analyser af beregningsgrundlaget henover perioden 1989-1997 for hver af regionerne. Resultaterne heraf har vist, at der har været data fra basisstationen i omkring 95% af tiden ved alle på nær to-tre regioner, hvor især region 31351 og 32082 har manglet disse data i en væsentlig del af perioden. Den variabel, der vejer tungest i modellen (1) er vindhastigheden V, men i de fleste regioner på nær de to nævnte har V imidlertid i næsten 100% af perioden været baseret på

målinger ved basisstationerne og i begrænset omfang på data fra en nærliggende synopstationer. Det samme billede viser sig for temperaturen.

Sneprocenten har i højere grad været baseret på synopdata, hvilket er i overensstemmelse med de krav, korrektionssystemet stiller til data. Disse krav er, at nedbørarten primært skal baseres på vejrobservationer (vejrkoder) og sekundært på temperaturdata.

Grundlaget for regnintensiteten I har i de 10 af regionerne været lokale målinger i omkring 2/3 af perioden, og har kun i yderst begrænset omfang været baseret på synopdata. Det er tilfredsstillende, da det resulterer i forholdsvis store systematiske forskelle, hvis regnintensiteten bliver bestemt ud fra Häggmarks metode fremfor målinger. Således har denne forskel kun givet ubetydelige skævheder i estimerne. Netop problemerne med Häggmarks metode har resulteret i, at der kun er blevet korrigeret nedbørmålinger fra 1989 og frem.

En af de væsentlige problemer er at beregne vindhastigheden ved nedbørmåleren. Der er fejlkilder forbundet med parametriseringen af læforholdene, og med beregningen af vindhastighed i målerhøjde på basis af den logaritmiske vindlov. Hvis der f.eks. ligger sne, skal der foretages en nulplansforskydning. I perioden 1989-1997 har snetykkelsen i stort set hele perioden været under 10 cm, hvorfor dette kun har bidraget ubetydeligt til usikkerheden på estimerne.

I de fleste regioner har det været muligt at bestemme forholdene under nedbør i det meste af perioden. Beregningsgrundlaget har således i det store og hele været tilfredsstillende. Undtagelser herfra har generelt været de to regioner 31351 og 32082. På positivsiden tæller dog, at nedbørstationerne i region 32082 ligger meget tæt på basisstationen. For region 31351 må der imidlertid forventes en noget større usikkerhed end for de øvrige regioner som følge af, at beregningsgrundlaget ikke lever fuldt op til de generelle krav.

Beregningsmodellen (1) forudsætter vindhastighed, temperatur og regnintensitet indenfor bestemte intervaller. Hvis værdien af disse variable ligger udenfor disse intervaller, holder usikkerheden på estimatet sig ikke indenfor de generelle sikkerhedsgrænser for modellen, og det kan derfor ikke komme på tale at korrigere den målte nedbørmængde. Det er blevet undersøgt, hvor ofte dette har været tilfældet, og det viser sig, at det har været muligt at korrigere 99.5% af alle nedbørmålinger i perioden 1989-1997. Om vinteren har der været lidt flere udfald end om sommeren, men samlet har succeskriteriet til overmål været opfyldt.

5 Korrigeret nedbør for perioden 1989-1997

Dette kapitel præsenterer resultatet af korrektion af manuelle nedbørmålinger for perioden 1989-1997. Der vil blive vil rå og korrigeret nedbør samt korrektionsprocenter.

Tabel 5.1 viser hvilke manuelle nedbørstationer, der er blevet korrigeret, inddelt efter hvilken region eller basisstation de tilhører. I tabellen er tillige vist afstande til basisstationerne.

Stationsnr, afstand og position for nedbørstationer med korrigeret nedbør i region 1 (20209)							
20050	Hirtshals Fyr	44	57.35N 09.57E	20225	Rørholt	21	57.08N 10.17E
20055	Nørre Lyngby N	28	57.25N 09.45E	20240	Melholt	27	57.07N 10.22E
20085	Lendum	32	57.25N 10.16E	20272	Springborg	25	57.01N 10.14E
20120	Sæby Vandforsyning	37	57.20N 10.30E	20280	Dokkedal	34	56.56N 10.16E
20150	Hellum	17	57.16N 10.13E	20285	Dokkedal S	39	56.53N 10.16E
20160	Serritslev	14	57.19N 09.58E	20300	Klarup	20	57.02N 10.04E
20195	Pandrup	19	57.13N 09.39E	20340	Tranum Klit	29	57.10N 09.29E
20210	Tylstrup	0	57.11N 09.57E	20460	Svenstrup J.	25	56.58N 09.51E
Stationsnr, afstand og position for nedbørstationer med korrigeret nedbør i region 2 (20501)							
20330	Attrup	24	57.03N 09.28E	20540	Års	5	56.48N 09.30E
20352	Slettestrand	36	57.09N 09.22E	20560	Nørager	18	56.41N 09.39E
20390	Gøttrup	27	57.03N 09.13E	20610	Terndrup	37	56.49N 10.03E
20410	Livø	22	56.54N 09.06E	20620	Arden	26	56.46N 09.53E
20415	Rømbjerg	17	56.54N 09.11E	20640	Stubberup	34	56.43N 09.57E
20430	Skarp Salling	14	56.57N 09.22E	21200	Søvang/Skive Vandværk	38	56.33N 09.06E
20470	Støvring Hede	25	56.55N 09.50E	21310	Stanghede	50	56.23N 09.19E
20480	Veggerby	14	56.54N 09.38E	21320	Sjorup	50	56.26N 09.05E
20490	Gatten	5	56.53N 09.24E	24060	Sevel	55	56.27N 08.53E
20510	Myrhøj	14	56.48N 09.13E	24070	Mogenstrup	49	56.28N 08.58E
20530	Farsø	8	56.46N 09.20E				
Stationsnr, afstand og position for nedbørstationer med korrigeret nedbør i region 3 (21061)							
21020	Lild Strand	32	57.09N 08.58E	21060	Silstrup	0	56.56N 08.39E
21035	Lynge	27	57.04N 09.01E	21140	Nykøbing M. Vandværk	20	56.48N 08.51E
21050	Hovsør	15	57.01N 08.51E	21145	Alsted	14	56.51N 08.50E
Stationsnr, afstand og position for nedbørstationer med korrigeret nedbør i region 4 (22231)							
21312	Viborg Flyveplads	46	56.25N 09.25E	22140	Lyngdal	42	56.21N 10.49E
21440	Tange	33	56.21N 09.36E	22230	Ødum/Røved	0	56.18N 10.08E
22020	Hald	28	56.33N 10.07E	22280	Lading	12	56.13N 10.00E
22030	Svenstrup/Kjellerup Skov	38	56.36N 09.57E	22435	Sinding	43	56.12N 09.27E
22065	Stenalt	25	56.30N 10.18E	22530	Skanderborg Renseanlæg	33	56.02N 09.55E
22075	Sorvad	25	56.28N 10.25E	23095	Løndal	54	56.03N 09.35E
22080	Hevringholm	30	56.30N 10.26E	23120	Tvingstrup	45	55.55N 09.56E
22090	Meilgaard	39	56.30N 10.39E	27070	Langør/Kanhave	53	55.55N 10.38E
22100	Langholm	48	56.31N 10.48E	27090	Brattingsborg	64	55.47N 10.35E

Tabel 5.1. Numre, afstand til basisstation og navne på manuelle nedbørstationer, der er blevet korrigeret for vindeffekt og wetting i region 1 til 4, som har basisstationerne 20209, 20501, 21061 og 22231 (fortsættes).

Stationsnr, afstand og position for nedbørstationer med korrigeret nedbør i region 5 (24381)							
23020	Ejstrup Holm	41	55.59N 09.17E	24459	Fasterholt	31	56.00N 09.07E
23220	Give	40	55.51N 09.14E	24490	Hallundbæk	28	55.51N 09.02E
24080	Haderup Lund	51	56.22N 08.59E	24500	Påbøl	17	55.49N 08.45E
24140	Staby	42	56.16N 08.15E	25030	Grindsted L/S	28	55.46N 08.55E
24142	Øby	45	56.16N 08.09E	25034	Ølgod	17	55.48N 08.35E
24170	Grønbjerg	27	56.11N 08.28E	25039	Stundsigt/Hindsigt	27	55.44N 08.30E
24200	Ørre	35	56.14N 08.52E	25043	Lunde	28	55.45N 08.22E
24220	Grove	46	56.18N 09.02E	25045	Ovtrup	32	55.43N 08.20E
24240	Ilskov	43	56.14N 09.06E	25060	Henne Kirkeby	35	55.44N 08.14E
24280	Ikast Vandværk	39	56.09N 09.10E	25090	Vejers	48	55.37N 08.09E
24330	Ringkøbing Vandværk	28	56.06N 08.15E	25110	Blåvand	55	55.33N 08.07E
24350	Tipperne	27	55.54N 08.13E	25180	Varde	38	55.38N 08.29E
24380	Borris	0	55.57N 08.38E	25193	Krarp	27	55.43N 08.39E
24400	Harreskov	19	56.02N 08.54E	25195	Ansager	29	55.42N 08.46E
24426	Øster Kølør II	35	56.04N 09.09E				
Stationsnr, afstand og position for nedbørstationer med korrigeret nedbør i region 6 (25271)							
23135	Breth	56	55.44N 09.53E	25300	Stilde	10	55.32N 08.59E
23160	Hesselballe	49	55.51N 09.32E	25325	Sneum/Tjæreborg	33	55.28N 08.35E
23200	Ørnsholt	49	55.53N 09.25E	25339	Ribe Rensningsanlæg	28	55.20N 08.45E
23230	Kulhede	39	55.48N 09.20E	25350	Hviding	35	55.16N 08.42E
23250	Bredsten	30	55.42N 09.23E	25360	Spandet	27	55.15N 08.55E
23270	Børkop	37	55.38N 09.38E	26010	Skodsborg	7	55.25N 09.10E
23330	Sønder Stenderup	31	55.27N 09.36E	26020	Rødding	13	55.22N 09.03E
23335	Lunderskov	12	55.28N 09.18E	26060	Stepping	21	55.21N 09.22E
25185	Vestervang/Rousthøje	36	55.35N 08.36E	26070	Christiansfeld	27	55.21N 09.29E
25200	Agerbæk	24	55.36N 08.49E	26075	Knud Lyng	37	55.19N 09.38E
25220	Hovborg	18	55.36N 08.57E	26080	Hajstrup	42	55.15N 09.40E
25230	Donslund/Nebel	22	55.40N 09.00E	26090	Haderslev V	33	55.15N 09.27E
25270	Askov/Vejen	0	55.28N 09.09E	26140	Brøns	38	55.12N 08.45E
25275	Brørup	6	55.29N 09.01E				
Stationsnr, afstand og position for nedbørstationer med korrigeret nedbør i region 7 (26401)							
26130	Rømø/Kongsmark	45	55.08N 08.33E	26260	Hellevad	21	55.05N 09.13E
26150	Skærbæk	37	55.10N 08.46E	26290	Øster Terp	20	55.05N 09.03E
26170	Arrild	30	55.09N 08.58E	26350	Ballum	37	55.06N 08.40E
26190	Toftlund	32	55.11N 09.04E	26400	Store Jydevad	0	54.54N 09.08E
26206	Abkær	33	55.10N 09.19E	26430	Broager Midtskov	34	54.52N 09.39E
26210	Rangstrup	28	55.09N 09.12E	26447	Ny-Skovbøl	30	55.02N 09.32E
26230	Diernæs	37	55.10N 09.29E	26460	Frederiksgård	55	55.00N 09.58E
26240	Åbenrå	23	55.02N 09.24E	26470	Rønhave	42	54.57N 09.46E
26244	Lunderup Mark	25	55.06N 09.20E				
Stationsnr, afstand og position for nedbørstationer med korrigeret nedbør i region 8 (28281)							
28030	Egebjerggård	33	55.36N 10.21E	28310	Nørre Broby	15	55.15N 10.14E
28050	Martofte	30	55.33N 10.40E	28385	Bøjden	32	55.06N 10.06E
28110	Båring	40	55.30N 09.54E	28390	Håstrup	22	55.10N 10.12E
28120	Fønsskov Odde	49	55.28N 09.43E	28400	Korinth	19	55.09N 10.21E
28160	Væde/Sasserod	23	55.27N 10.08E	28500	Vindeballe	49	54.53N 10.21E
28170	Dalum	7	55.22N 10.24E	28510	Marstal	50	54.51N 10.30E
28190	Agedrup	14	55.26N 10.30E	28535	Lundby/Landet	37	54.59N 10.36E
28240	Vindinge	19	55.19N 10.45E	28570	Havbølle	53	54.51N 10.42E
28280	Årslev	0	55.18N 10.27E	28640	Bastemose/Østerhuse	38	55.08N 10.56E
28300	Heden	8	55.15N 10.22E				

Tabel 5.1 (fortsat). Manuelle nedbørstationer i region 5-8 med basisstationerne i parentes (fortsættes).

Stationsnr, afstand og position for nedbørstationer med korrigeret nedbør i region 9 (29451)							
29150	Asnæsgård	46	55.40N 10.57E	29465	Sønder Bjerge	7	55.16N 11.25E
29170	Kelleklinte/Gl. Svebølle	34	55.38N 11.18E	29470	Næblerødgård	9	55.20N 11.32E
29180	Halleby Gård	30	55.36N 11.19E	31141	Tyvelse	21	55.23N 11.43E
29185	Vedde	25	55.32N 11.33E	31160	Rislev	24	55.17N 11.45E
29335	Reersø Radio/Reersø	29	55.31N 11.06E	31190	Udby/Skallerup	45	55.05N 11.57E
29380	Vemmelev	10	55.21N 11.15E	31210	Evensølund	45	55.08N 12.01E
29410	Kruseminde	18	55.21N 11.07E	31265	Nyord	61	55.03N 12.12E
29441	Tystofte Huse	10	55.15N 11.20E				
Stationsnr, afstand og position for nedbørstationer med korrigeret nedbør i region 10 (30421)							
29005	Rørvig	39	55.56N 11.45E	30310	Islevbro Vandværk	27	55.42N 12.27E
29040	Holbæk Vandværk	22	55.42N 11.43E	30320	Tinghøj Vandværk	31	55.44N 12.30E
29062	Stigs Bjergby	36	55.40N 11.29E	30410	Roskilde S	1	55.37N 12.03E
29075	Avdebo Pumpestation	31	55.46N 11.38E	30435	Jenslev	12	55.41N 11.53E
29210	Valsøllille/Allindelille	17	55.32N 11.46E	30440	Orup Mark	10	55.34N 11.55E
30070	Gribskov	47	56.01N 12.19E	30450	Viby S	7	55.34N 12.01E
30089	Tibirke	46	56.02N 12.06E	30470	Regnemark Vandværk	18	55.28N 12.00E
30105	Frederiksværk	39	55.58N 12.02E	30480	Køge Havn	21	55.27N 12.11E
30130	Frederikssund	25	55.51N 12.03E	30510	Enderslev	30	55.22N 12.11E
30140	Gørløse	29	55.52N 12.12E	31010	Gjordlev	36	55.21N 12.23E
30186	Sjælsø	39	55.52N 12.29E	31060	Thinghøj	42	55.18N 12.21E
30220	Virum	33	55.47N 12.30E	31080	Hellested	35	55.20N 12.15E
30230	Store Hareskov	29	55.46N 12.26E	31110	Tureby	29	55.22N 12.03E
30240	Søndersø Vandværk	26	55.46N 12.21E	31120	Ås	36	55.18N 12.06E
Stationsnr, afstand og position for nedbørstationer med korrigeret nedbør i region 11 (31351)							
31270	Stege/Stege N	64	55.00N 12.18E	31510	Nykøbing F. Vandværk	37	54.47N 11.54E
31370	Horslunde	12	54.55N 11.13E	31520	Nykøbing F. Sukkerfabrik	36	54.46N 11.52E
31420	Græshave	10	54.46N 11.13E	31522	Øster Toreby	33	54.46N 11.50E
31470	Alstrup Strand	28	54.53N 11.45E	31540	Hejrede/Ettehave Rode	21	54.45N 11.38E
31480	Ønslev	33	54.51N 11.50E	31560	Kramnitse	14	54.43N 11.15E
Stationsnr, afstand og position for nedbørstationer med korrigeret nedbør i region 12 (32082)							
32105	Imminggård	9	55.06N 14.49E	32210	Elisegård	19	55.04N 15.05E
32180	Østermarie	11	55.08N 15.01E	32240	Åkirkeby	12	55.04N 14.56E
32190	Brændesgård	17	55.08N 15.07E	32280	Rispebjerg	21	55.01N 15.01E

Tabel 5.1 (fortsat). Manuelle nedbørstationer i region 9-12 med basisstationerne i parentes.

5.1 Korrigeret nedbør 1989-1997

Tabel 5.2 viser målt og korrigeret nedbørmængde samt korrektionsprocent for hele landet for perioden 1989-1997. Det vil være på sin plads at fremhæve, at der er tale om foreløbige resultater, og at disse må tages med visse forbehold. Kravene til rådata har været strenge og det har bl.a. betydet, at det for nogle af stationerne ikke har været muligt at korrigere nedbørmålingerne for hele perioden. Den regionale fordeling af manuelle nedbørstationer i undersøgelser har været ujævn; nogle områder har været overrepræsenterede mens andre har bidraget til det samlede resultat med et for begrænset antal stationer. Det har ikke været indenfor rammerne af nærværende rapport at udarbejde procedurer til arealmæssig vægtning med henblik på at reducere effekten af denne ujævne regionale fordeling af stationer.

Ikke desto mindre præsenteres de foreløbige resultater. En række generelle træk springer i øjnene: der er som forventet en klar årstidsvariation i korrektionsprocenten, men variationerne fra år til år er store, særlig om vinteren.

HELE LANDET													
Målt nedbørmængde													
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Året
1989	20.3	55.7	76.4	39.5	25.7	37.2	55.0	64.5	32.2	94.6	25.2	60.0	586.4
1990	84.7	94.4	33.1	36.1	24.2	76.0	45.0	75.0	147.6	79.4	57.3	62.6	815.4
1991	70.2	31.5	35.3	46.8	25.3	96.4	40.2	43.4	63.7	56.3	89.3	51.7	650.2
1992	42.5	38.5	75.0	65.0	26.5	1.1	42.4	108.7	48.0	78.1	125.6	46.6	698.0
1993	103.1	28.8	20.2	16.5	26.4	25.6	97.1	87.7	112.5	80.4	46.5	119.9	764.8
1994	100.6	51.4	93.9	32.4	32.8	67.8	15.0	113.7	167.3	60.8	56.5	100.2	892.4
1995	106.0	73.5	63.9	40.0	54.2	58.6	27.9	22.6	97.1	44.3	44.7	24.3	657.1
1996	5.8	31.8	8.5	8.5	63.0	23.7	35.1	61.7	56.4	76.7	103.8	38.0	513.0
1997	6.0	77.7	29.6	36.3	66.6	55.4	61.0	42.9	46.1	82.6	41.9	61.1	607.3
middel	59.9	53.7	48.4	35.7	38.3	49.1	46.5	68.9	85.7	72.6	65.6	62.7	687.2
Korrigeret nedbørmængde													
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Året
1989	24.6	67.8	91.0	47.2	28.5	40.9	60.6	71.4	35.7	103.8	31.5	87.8	690.7
1990	102.0	111.6	41.8	42.6	27.4	82.5	50.9	81.7	160.6	87.1	67.7	83.6	939.5
1991	81.9	53.3	43.1	55.0	28.3	107.2	44.7	47.9	70.3	62.1	101.4	60.2	755.5
1992	49.3	48.5	93.7	79.3	30.2	1.5	46.6	120.8	52.9	88.9	143.3	53.9	809.1
1993	139.1	45.1	26.6	20.4	29.3	29.2	106.4	95.6	122.7	87.1	66.3	162.4	930.2
1994	131.5	87.2	129.0	38.8	36.5	74.5	16.5	121.6	181.2	66.9	65.5	119.0	1068.2
1995	157.1	88.3	86.9	51.5	60.1	65.2	30.8	24.4	106.4	49.3	63.6	54.0	837.7
1996	12.6	73.9	16.0	11.8	70.0	27.0	39.3	66.3	61.7	84.4	124.3	51.3	638.6
1997	12.2	100.1	44.5	45.6	73.8	61.0	66.0	45.6	50.9	92.2	49.3	71.2	712.3
middel	78.9	75.1	63.6	43.6	42.7	54.3	51.3	75.0	93.6	80.2	79.2	82.6	820.2
Korrektionsprocent													
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Året
1989	20.9	21.7	19.0	19.3	11.2	10.0	10.2	10.7	10.9	9.6	25.1	46.3	17.8
1990	20.3	18.2	26.2	18.2	13.3	8.6	13.1	8.9	8.8	9.7	18.2	33.5	15.2
1991	16.6	69.4	21.8	17.6	11.8	11.2	11.3	10.5	10.4	10.2	13.6	16.4	16.2
1992	16.0	26.0	25.0	22.1	13.8	37.3	10.0	11.2	10.2	13.9	14.1	15.7	15.9
1993	34.9	56.3	31.2	23.0	10.9	14.2	9.6	9.0	9.1	8.2	42.6	35.5	21.6
1994	30.7	69.7	37.3	20.0	11.3	9.8	10.5	6.9	8.3	10.0	15.9	18.8	19.7
1995	48.2	20.1	36.0	28.6	10.8	11.4	10.6	8.1	9.6	11.3	42.2	122.6	27.5
1996	115.8	132.5	89.4	39.1	11.1	13.9	12.1	7.5	9.3	10.0	19.7	34.8	24.5
1997	102.7	28.9	50.2	25.6	10.8	10.0	8.1	6.3	10.4	11.5	17.6	16.6	17.3
middel	31.7	39.8	31.3	22.1	11.4	10.7	10.3	8.9	9.3	10.5	20.7	31.7	19.4

Tabel 5.2. Målt og korrigeret nedbørmængde samt korrektionsprocent for hele landet 1989-1997.

Den korrigerede årsnedbør 1989-1997 er 820mm eller knap 20% større end den ukorrigerede. Det væsentligste bidrag til denne forøgelse er nogle forholdsvis store korrektioner i en række vintre med nogen sne: februar 1991, februar 1994, januar 1995 og januar 1997, men specielt i perioden december-marts 1995-1996 var korrektionerne store. Den kendsgerning, at størstedelen af nedbøren i vinteren 1995-1996 faldt som sne og at der forekom snevejr i såvel december 1995 som februar 1996, afspejler sig tydeligt i form af de højeste korrektionsprocenter i hele perioden 1989-1997.

Om sommeren er korrektionsprocenter generelt små som forventet. En korrektionsprocent for juni 1992 på omkring 37% virker sær, men forklaringen er ligetil. Månedens var overordentlig tør, hvorfor korrektionen for wetting slå igennem på det samlede estimat, og en lille forøgelse af nedbørmængdens absolutte værdi resulterer derfor i en stor relativ ændring. Korrektionsprocenten maj-oktober varierer fra 8.9% i august til 11.4% i maj. Så længe nedbøren falder som regn, er udsvingene generelt små. Det er i de måneder, hvor nedbøren kan falde som sne, at vindeffekten virkelig slå igennem. Kombinationen "sne, høj vindhastighed og lave temperaturer" betyder store korrektioner, mens stor regnintensitet og lav vindhastighed kun giver anledning til små korrektioner.

Korrektionerne af den målte nedbørmængde resulterer således i fiktive ændringer i nedbørklimaet i Danmark. Disse ændringer er størst om vinteren med en forøgelse af nedbørmængden på 20-40% i november-april, men kun med omkring 10% i resten af året, hvor nedbøren kun falder som regn.

En effekt af at undlade at korrigere den målte nedbør for vindeffekten er, at ændringer i temperaturklimaet vil medføre virtuelle ændringer i nedbørklimaet. Det skyldes, at hvis nedbøren falder ved højere temperaturer, vil en større del af den falde som regn. Dermed vil der også falde mere nedbør i måleren, fordi vindeffekten på regn er betydeligt mindre end på sne, og summa summarum: klimaet ser ud til at være blevet vådere, selvom det stik modsatte kan have været tilfældet.

De virtuelle ændringer er blevet gennemregnet for Svalbard (Hanssen-Bauer, Førland og Nordli, 1996). De viste bl.a., at hvis man lod normaltemperaturen stige med hhv. 2, 4 og 6°C, ville der i 1994 være blevet målt hhv. 5.3%, 9.2% og 11.7% mere nedbør, men det er en rent virtuel ændring. Der blev målt 352.4mm det år, men den korrigerede årsnedbør var 562.2mm! Set i dette lys må al snak om variationer i nedbørmængden fra år til år her i Danmark forstumme, så længe vi blot ser på målt nedbør. De virkelige variationer bliver tilsløret af, hvor varmt eller koldt og blæsende det har været på det tidspunktet, nedbøren faldt.

5.2 Diskussion af resultater

Den beregnede korrigerede nedbørmængde gældende for hele landet, som er blevet præsenteret i tabel 5.2 må som før nævnt tages med et vist forbehold. De manuelle nedbørstationer, der danner grundlaget for disse beregninger, er ujævnt fordelt såvel regionalt som temporalt. Førrend der foretages passende vægtninger for disse skævheder, vil der nødvendigvis være tale om foreløbige resultater. Imidlertid giver disse et godt fingerpej om, hvilke ændringer det vil medføre at indføre systematiske korrektioner af nedbørmålinger i Danmark.

6 Konklusion

Der er blevet korrigeret manuelle nedbørmålinger ved 212 stationer for perioden 1989-1997. Den oprindelige intention var at korrigere tilbage til 1981, men det har vist sig ikke at kunne lade sig gøre. Den primære årsag var, at basisstationerne, de automatiske klimastationer, ikke blev oprettet før meget senere. De fleste i 1987-1988 og enkelte først midt i 1990'erne. Da der var visse indkøringsproblemer med nedbørmålingerne ved de automatiske klimastationer i starten, blev det besluttet at korrigere fra 1989 og frem.

For at kunne benytte den empiriske korrektionsmodel til at korrigere den målte nedbørmængde, skal vindhastighed, temperatur og regnintensitet ligge indenfor bestemte intervaller. Hvis det ikke er tilfældet, holder usikkerheden på estimatet sig ikke indenfor de generelle sikkerhedsgrænser for modellen, og af den grund bør det ikke komme på tale at korrigere. Det har vist sig, at det har været muligt at korrigere 99.5% af alle nedbørmålinger i perioden 1989-1997 med lidt flere udfald om vinteren end om sommeren.

Der foreligger således korrigerede nedbørsummer på døgnbasis tilbage til 1989. Den korrigerede nedbørmængde er på årsbasis knap 20% højere end den målte. Specielt i vintermånederne er ændringerne store; mens mængden er blevet forøget med 20-40% i november-april, hvor en del af nedbøren kan falde som sne, er ændringerne i sommerhalvåret kun på omkring 10%. Resultaterne er foreløbige og skal tages med et vist forbehold, men giver alligevel et godt fingerpeg om ændringerne.

Usikkerheden på de benyttede metoder er blevet undersøgt. Det er blevet godtgjort at regionale variationer på kontrollerende variable samt brug af forskellige beregningsmetoder i det store og hele giver anledning til en usikkerhed, der holder sig indenfor de usikkerhedsgrænser på $\pm 8\%$, der er blevet estimeret ud fra statistiske analyser af de empiriske data, som korrektionsmodellen er blevet udviklet på basis af.

Litteratur

- Allerup, P., og H. Madsen (1979): Accuracy of Point Precipitation Measurements. Danish Meteorological Institute, Climatological Papers, No. 5., København 1979, 84p.
- Allerup, P., og H. Madsen (1980): Accuracy of point precipitation measurements. *Nordic Hydrology*, 11, p. 57-70.
- Allerup, P., og H. Madsen (1986): On the correction of liquid precipitation. *Nordic Hydrology*, 17, p. 237-250.
- Allerup, P., H. Madsen og F. Vejen (1997): A Comprehensive Model for Correcting Point Precipitation. *Nordic Hydrology*, Vol. 28, p. 1-20.
- Allerup, P., H. Madsen og F. Vejen (1998): Standardværdier (1961-90) af nedbørkorrektioner. Danish Meteorological Institute, Techn. Rep. No. 98-10, Copenhagen.
- Førland, E. J., P. Allerup, B. Dahlström, E. Elomaa, T. Jónsson, H. Madsen, J. Perälä, P. Rissanen, H. Vedin, og F. Vejen (1996): Manual for Operational Correction of Nordic Precipitation Data, Nordic Working Group on Precipitation, Det Norske Meteorologiske Institut, Report Nr. 24/96.
- Hanssen-Bauer, I., E. J. Førland, og P. Ø. Nordli (1996): Measured and true precipitation at Svalbard. Det Norske Meteorologiske Institut, Report Nr. 31/96 Klima.
- Häggmark (1995): (fra Førland et al., 1996: pers.comm. med Lars Häggmark, SMHI, Sverige).
- Høgh-Schmidt, K. (1982): Lokal- og mikroklima. 1: Grundtræk af klimatologien. DSR Forlag, Landbohøjskolen, København 1983.
- Sevruk, B. (1988): Wind Speed Estimation at Precipitation Gauge Orifice Level. WMO/TD-No. 222.
- Vejen, Allerup og Madsen (1998): Korrektion for fejlkilder af daglige nedbørmålinger i Danmark. Danish Meteorological Institute, Techn. Rep. No. 98-9, Copenhagen.
- WMO (1998): International Organization Committee for the WMO Solid Precipitation Measurement Intercomparison: Final Report. Toronto, Canada, (ed) Berry Goodison.