

DANISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

————— **TECHNICAL REPORT** —————

98-10

STANDARDVÆRDIER (1961-90)

AF NEDBØRKORREKTIONER

**Peter Allerup
Henning Madsen
Flemming Vejen**



COPENHAGEN 1998

INDHOLDSFORTEGNELSE

1 INDLEDNING.....	2
2 EN GENEREL MODEL FOR NEDBØRKORREKTION.....	3
2.1 MODELLER TIL KORREKTION AF MÅLT NEDBØR FOR FEJLKILDER.....	3
2.2 MODEL TIL KORREKTION AF FLYDENDE NEDBØR.....	4
2.3 MODEL TIL KORREKTION AF FAST NEDBØR	5
2.4 MODEL TIL KORREKTION AF BLANDET NEDBØR.....	6
2.5 KORREKTION FOR LÆEFFEKT.....	10
2.6 KORREKTION FOR WETTING I PRAKSIS	11
2.7 KORREKTION HVIS V, T OG I ER UDENFOR GYLDIGHEDSOMRÅDE FOR MODEL	12
3 NYE STANDARDVÆRDIER AF NEDBØRKORREKTIONER.....	13
4 KONKLUSION	17
LITTERATURLISTE	

STANDARDVÆRDIER (1961-90) AF NEDBØRKORREKTIONER

1 Indledning

I 1979 udgav DMI en publikation om korrektion af punktnedbør (Allerup og Madsen 1979). Blandt resultaterne var en tabel med standardværdier (1931-60) for nedbørkorrektioner fordelt på måneder og året. I henhold til disse værdier bliver den målte nedbør korrigeret for systematiske fejl der stammer fra vindeffekt og wettingtab. Vindeffekten for flydende nedbør korrigeres på basis af en statistisk model, hvor de kontrollerende variable er vindhastighed og nedbørintensitet. En model for fast nedbør var på dette tidspunkt ikke udviklet, så en korrektion omfattede estimerede værdier fundet ud fra oplysninger i litteraturen. Tabel 3.1 viser måneds- og årsværdi for korrektion af nedbør opsamlet under 3 forskellige typer af læforhold omkring nedbørmåleren: friteksponeret, moderat læ og ideelt læ.

2 En generel model for nedbørkorrektion

WMO udsendte i 1985 en opfordring til medlemslandene om at bistå med en undersøgelse om målinger af fast nedbør med henblik på at udvikle en model for nedbørkorrektion. For Danmarks vedkommende resulterede dette i, at man deltog i et fællesnordisk projekt, hvor nedbøren målt i de nationale nedbørmålere blev sammenlignet med nedbøren i en international godkendt referencemåler. Resultatet af disse målinger foreligger i form af en korrektionsmodel for fast nedbør (Madsen 1995, Førland et al 1996 og Allerup, Madsen og Vejen 1997). En tredje model for korrektion af blandet nedbør kombinerer modellerne for flydende og fast nedbør. Disse tre modeller indgår tilsammen i en generel model for korrektion af alle typer nedbør på døgnbasis. Ved samme undersøgelse blev wettingtabet bestemt for alle typer af nedbør og bestemmes som mm pr. nedbørdøgn inden for hver enkelt måned.

I den følgende gennemgang af modellerne vil fast nedbør blive kaldt sne og flydende for regn. Blandet nedbør er slud eller en kombination af fast og flydende nedbør.

2.1 Modeller til korrektion af målt nedbør for fejlkilder

Den generelle model for korrektion af vindeffekt, som er blevet anbefalet af Nordic Working Group for Precipitation (Førland et al., 1996) er:

$$P_c = kP_g = k(P_m + \sum \Delta P_{im}) \quad (1)$$

hvor P_c er den korrigerede eller "sande" nedbørmængde, P_g er den opfangede mængde, P_m er nedbøren målt i nedbørmåleren, $\sum \Delta P_{im}$ er summen af fejlkilder, der ikke skyldes vindpåvirkning, såsom wetting og fordampning, og k er en korrektionsfaktor, med hvilken der bliver korrigeret for vindeffekten. For regn er k en funktion af vindhastighed i målerniveau og regnintensitet (Allerup og Madsen, 1979, 1980), for sne en funktion af vindhastighed og temperatur, mens blandet nedbør behandles dels som sne og dels som regn og derfor både er en funktion af vindhastighed, regnintensitet og temperatur (Allerup, Madsen og Vejen, 1997).

I praksis får man den "sande" nedbørmængde, P_c , som en opfanget mængde målt af en referencemåler $P_r = R_m + \sum \Delta R_{im}$, hvor nedbøren målt af referencemåleren, R_m , er blevet korrigeret for de øvrige fejlkilder ved $\sum \Delta R_{im}$. Nu kan (1) formuleres som:

$$R_m + \sum \Delta R_{im} = k(P_m + \sum \Delta P_{im}) \quad (2)$$

For at kunne beregne k , skal der korrigeres for de øvrige fejlkilder, hvilket primært vil sige for wetting og fordampning. Således er k forholdet mellem nedbøren opfanget af en referencemåler, P_r , og nedbøren opfanget af en nedbørmåler, P_g :

$$k = P_r / P_g \quad (3)$$

Wetting og fordampningstabet bliver på denne måde også korrigeret for den aerodynamiske effekt. Størrelsen af wettingtabet for den danske Hellmann måler er tidligere blevet fundet ved undersøgelser i Danmark (Allerup og Madsen, 1979), og er givet som standardværdier i mm pr. nedbørdøgn for hver måned for hhv. sne, blandet nedbør og regn (tabel 2.1). Også

fordampningstab er blevet undersøgt, men da det er ubetydeligt for den danske Hellmann måler, kan der ses bort fra det (tabel 2.2).

Nu kan den samlede korrektion for vindeffekten udtrykkes som en vægtet sum af korrektionsfaktorerne for regn (r), blandet nedbør (b) og sne (s):

$$k = (k_r P_{gr} + k_b P_{gb} + k_s P_{gs}) / (P_{gr} + P_{gb} + P_{gs}) \quad (4)$$

wettingtab	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
flydende nedbør	0.16	0.18	0.25	0.33	0.23	0.25	0.25	0.23	0.20	0.16	0.22	0.17
fast nedbør	0.17	0.19	0.27	0.35	-	-	-	-	-	-	0.23	0.18
blandet nedbør	0.12	0.14	0.19	0.23	-	-	-	-	-	-	0.17	0.13

Tabel 2.1. Wettingtab i mm pr. nedbørdøgn for en Hellmann måler (Allerup og Madsen, 1979).

Fordampningstab	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
pr. nedbørdøgn	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00

Tabel 2.2. Fordampningstab i mm pr. nedbørdøgn for en Hellmann måler (Allerup og Madsen, 1979).

2.2 Model til korrektion af flydende nedbør

På basis af omtrent 700 målinger af døgnnedbør, vindhastighed under nedbør og regnintensitet er der opstillet en model (5) for korrektion for vindeffekten på regn (Allerup og Madsen, 1979, 1980) målt i Hellmann måleren. Referencemåleren var placeret i terrænhøjde omgivet af en metalrist, der skulle forhindre indstænk i måleren. Ud fra observerede forskelle mellem en Hellmann måler og en pit måler blev følgende generelle udtryk for korrektionsfaktoren for vindeffekt formuleret:

$$k_r = e^{a_0 + a_1 V + a_2 \ln I + a_3 V \ln I} \quad (5)$$

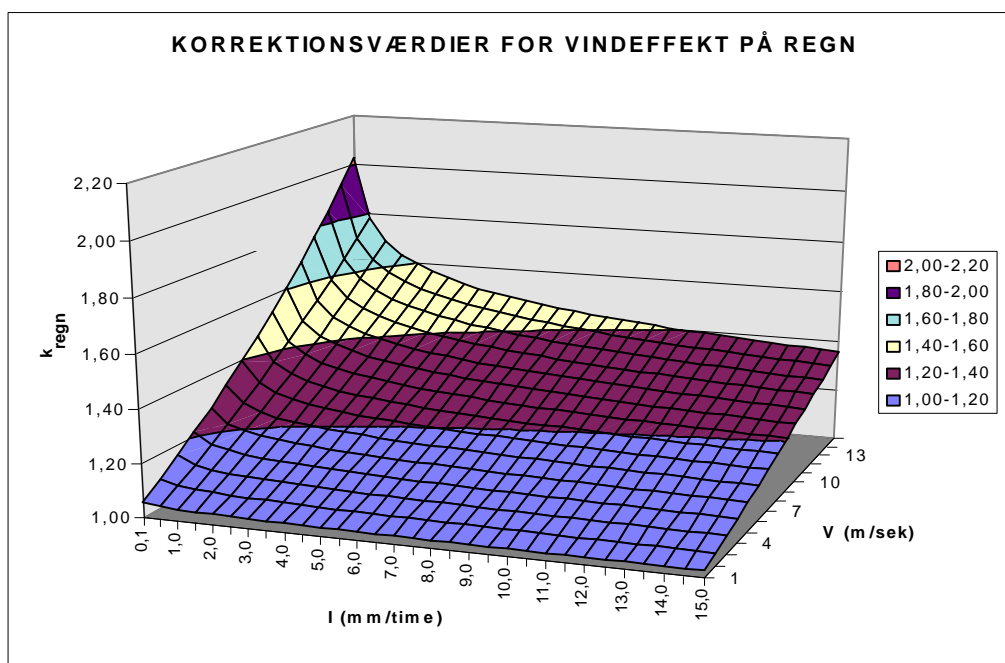
hvor V er middelvindhastigheden i m/s under nedbør i nedbørmålerens højde og I er regnintensiteten i mm/time. For den danske Hellmann måler har de empiriske konstanter værdierne $\alpha_0=0.007697$, $\alpha_1=0.034331$, $\alpha_2= -0.00101$ og $\alpha_3= -0.012177$. Pga. begrænsningerne i det empiriske materiale anbefales det, at denne model kun bruges i intervallerne $0 \leq V \leq 15$ (m/sek) og $0 \leq I \leq 15$ (mm/time). Figur 2.1 viser størrelsen af k_r som funktion af I og V.

Det blev overvejet, om regnintensiten skulle måles i terrænhøjde, eller om målingerne skulle foregå i samme højde som Hellmann måleren og dermed være influeret af vindfeltet. Argumentet for at benytte vindpåvirkede intensiteter var, at det skulle være muligt at benytte modellen i praksis. Hvis den sande regnintensitet kunne måles ved en station, ville der ikke være nogen grund til at korrigere den målte nedbørmængde.

Intensiteten blev målt med en pluviograf, som har omtrent samme aerodynamiske egenskaber som en Hellmann måler. Hvis modellen skal kunne resultere i et korrekt estimat af korrektionsfaktoren og usikkerheden være den, der er givet af modellen, bør forudsætningerne for modellen være opfyldt. Altså at I bliver målt med enten en pluviograf eller en måler med tilsvarende egenskaber. Bliver I målt med et instrument, hvis aerodynamiske egenskaber afviger fra pluviografens, kan det medføre bias på korrektionsestimaterne. Bias kan dæmpes ved at korrigere målingerne af I med en

faktor, der bliver udledt empirisk ved at sammenligne regnintensiteter, som på den ene side er målt med pluviograf eller tilsvarende og på den anden side målt med det instrument, der resulterer i bias.

Forud for de empiriske analyser af data blev forskellige eksperter i meteorologi konsulteret for at sikre, at det gav fysisk mening af udtrykke k_r som funktion af I og V . I stedet for I ville det rigtigste have været at benytte dråbestørrelsesfordelingen i udtrykket, men da modellen skal være brugbar i praksis, duer denne idé ikke. Resultatet af analyser af dråbestørrelsesfordelinger og regnintensitet underbygger at benytte regnintensiteten i stedet (Allerup og Madsen, 1979). Ud fra en 3-dimensionel matematisk-fysisk beskrivelse har Folland (1988) formuleret vindens flow omkring en nedbørmåler, og det har vist sig, at hans teoretiske betragtninger stemmer nøje overens med resultaterne af den empiriske korrektionsmodel.



Figur 2.1. Korrektionsfaktor k som funktion af I og V for regn.

2.3 Model til korrektion af fast nedbør

I tidsrummet 1987-1993 deltog Danmark sammen med de øvrige nordiske lande i et projekt under WMO. Formålet var at sammenligne målinger af fast nedbør for at kunne udvikle en model til korrektion af fast nedbør for den aerodynamiske fejl. Det nordiske samarbejde var koncentreret om at måle fast nedbør på et forsøgsfelt i Jokioinen, Finland. Forskellige landes nationale nedbørmålere blev sammenlignet med en referencemåler af typen Tretyakov, som var placeret i en dobbelt Valdai fence. Det er et læhegn, som reducerer vindhastigheden omkring måleren så meget, at vindeffekten på nedbørmålingen er næsten ubetydelig.

I løbet af de 6 vintre, målingerne varede, blev der opsamlet data fra omkring 325 halvdøgn med snedebør. Udover manuelle målinger af nedbørsummen blev en lang række meteorologiske variable målt hvert 10. Minut, bl.a. vindens hastighed og retning samt luftens temperatur og fugtighed. Ved hjælp af en automatisk nedbørmåler (den norske Geonor), der gav oplysninger om tidspunktet for nedbør, var det muligt at beregne middelvindhastighed og -temperatur under nedbør med ret stor nøjagtig. Endvidere blev nedbørtypen observeret manuelt meget ofte (Madsen, 1995, og Vejen, 1994). De manuelle nedbørmålere blev tømt to gange i døgnet og

nedbørmængden blev målt både i måleglas og ved vejning. Ved at benytte den vejede nedbørmængde til modeludvikling kunne wettingtabet omtrent negligeres. Det samme kunne fordampningstabet, da det er nær nul om vinteren.

Tidligere har Hamon (1973) og Aune og Førland (1985) argumenteret for, at et generelt udtryk for korrektion af snedebør for vindeffekt har den matematiske struktur:

$$k = e^{l(T) \cdot V} \quad (6)$$

der siger, at korrektionsfaktoren k afhænger af både lufttemperatur T og vindhastighed V under nedbør. Set med fysiske briller er T kun et indirekte mål for den variabel, der er den egentlig interessante. Det er snedebørens dannelsesstemperatur, idet der er en klar sammenhæng mellem denne, snekrystallernes form og vindeffekten på dem. Som for regnmodellen skal en korrektionsmodel være anvendelig i praksis, så vi må lade lufttemperaturen T indgå i formlen og acceptere, at modellens struktur bliver mere udvisket som følge af mere støj på data. Datamaterialet godtgjorde en modelstruktur, der følger Hamon (1973), og som er af samme type som for den flydende nedbør. Korrektionsfaktoren k_s er herved givet ved følgende udtryk (Allerup, Madsen og Vejen, 1997):

$$k_s = e^{b_0 + b_1 \cdot V + b_2 \cdot T + b_3 \cdot V \cdot T} \quad (7)$$

hvor T er middeltemperaturen under nedbør, og β_0 , β_1 , β_2 og β_3 er empiriske konstanter, der for den danske Hellmann måler har følgende værdier: $\beta_0 = -0.04587$, $\beta_1 = 0.23677$, $\beta_2 = 0.017979$ og $\beta_3 = -0.015407$. Modellen bør kun benyttes for kombinationer af V og T , der ligger indenfor det empiriske datamateriale, altså i intervallerne for $0 \leq V \leq 7$ (m/sek) og $-12 \leq T \leq 1$ (°C). Korrektionsfaktoren k_s som funktion af V og T ses af tabel 2.3 (fra Allerup, Madsen og Vejen, 1997).

2.4 Model til korrektion af blandet nedbør

Strengt taget er blandet nedbør blot slud, regnblandet sne eller sneblandet regn. Blandet nedbør bliver i modellen ikke betragtet som en "øjeblikstype", men derimod som nedbørstypen set over en observationsperiode; altså blandet nedbør, hvis der er faldet slud og/eller sne og regn. Denne skelnen er praktisk, fordi det på det foreliggende datagrundlag har vist sig at være umuligt at lave en korrektionsmodel for slud, i hvilken der indgik relationen mellem korrektioner R_t/H_t , og kontrollerende meteorologiske variable såsom vindhastighed V , temperatur T og regnintensitet I . R_t og H_t er nedbørmængden målt i hhv. en referencemåler og en Hellmannmåler for observationen t . Årsagen hertil var betydelig støj i data, blandt andet fordi nedbørmængderne ikke blev målt separat for slud.

Blandet nedbør bliver altså betragtet som sammensat af to forskellige typer nedbør, der er adskilt fra hinanden i tid: sne og regn, hvor nedbørmængderne bliver korrigeret med hhv. modellen for sne og for regn. Korrektionsmodellerne for sne og regn siger, at de kontrollerende faktorer er hhv. V, T og V, I .

Temp (°C)	Vindhastighed i målerhøjde (m/sek)						
	1	2	3	4	5	6	7
-10.0	1.28	1.84	2.67	3.88	5.64	8.19	11.91
-9.5	1.28	1.82	2.63	3.80	5.48	7.89	11.38
-9.0	1.28	1.81	2.60	3.71	5.32	7.61	10.88
-8.5	1.28	1.80	2.56	3.63	5.16	7.33	10.40
-8.0	1.28	1.79	2.52	3.56	5.01	7.06	9.95
-7.5	1.28	1.78	2.49	3.48	4.86	6.80	9.51
-7.0	1.28	1.77	2.45	3.40	4.72	6.55	9.09
-6.5	1.28	1.76	2.42	3.33	4.59	6.31	8.69
-6.0	1.28	1.74	2.38	3.26	4.45	6.08	8.31
-5.5	1.28	1.73	2.35	3.19	4.32	5.86	7.94
-5.0	1.28	1.72	2.32	3.12	4.20	5.65	7.59
-4.5	1.28	1.71	2.28	3.05	4.07	5.44	7.26
-4.0	1.28	1.70	2.25	2.99	3.96	5.24	6.94
-3.5	1.28	1.69	2.22	2.92	3.84	5.05	6.64
-3.0	1.28	1.68	2.19	2.86	3.73	4.86	6.34
-2.5	1.28	1.67	2.16	2.80	3.62	4.69	6.07
-2.0	1.28	1.66	2.13	2.74	3.51	4.51	5.80
-1.5	1.28	1.65	2.10	2.68	3.41	4.35	5.54
-1.0	1.28	1.64	2.07	2.62	3.31	4.19	5.30
-0.5	1.28	1.62	2.04	2.56	3.22	4.04	5.07
0.0	1.28	1.61	2.01	2.51	3.12	3.89	4.84
0.5	1.28	1.60	1.98	2.45	3.03	3.75	4.63
1.0	1.28	1.59	1.96	2.40	2.94	3.61	4.43

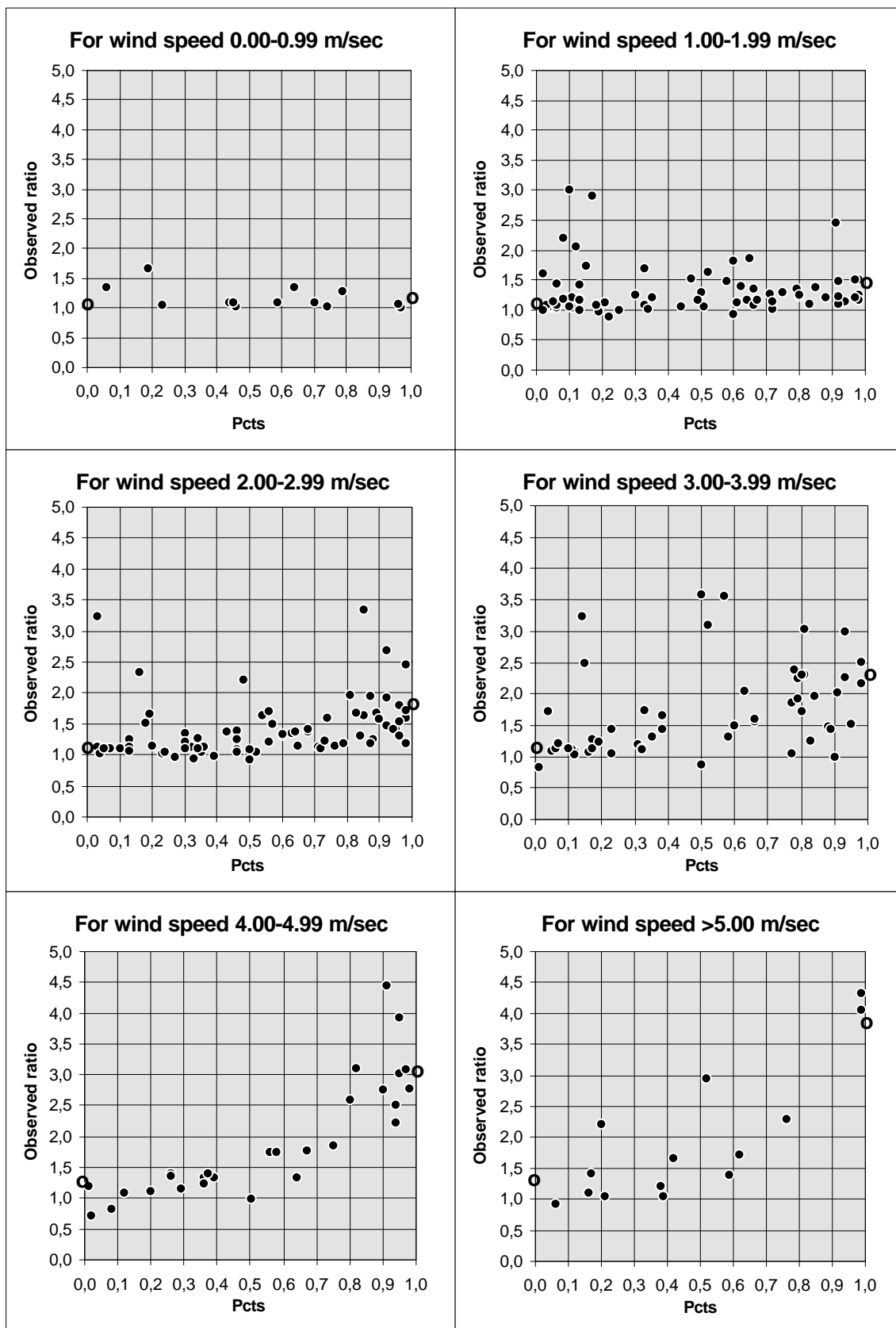
Tabel 2.3. Beregnet korrektionsfaktor k_s for Hellmann måleren. For $V=1$ er benyttet middel k_s for alle T -værdier.

Det stod klart, at indflydelsen af temperatur og regnintensitet på den observerede rate R_t/H_t ville afhænge af mængden af sne i den blandede nedbørhændelse, hvilket ikke er overraskende. Det ses tydeligt af figur 2.2, som for fastholdt vindhastighed V viser, hvordan korrektionsfaktoren R_t/H_t varierer i relation til, hvor stor en del af nedbøren, der faldt som sne (sneprocent=pcts).

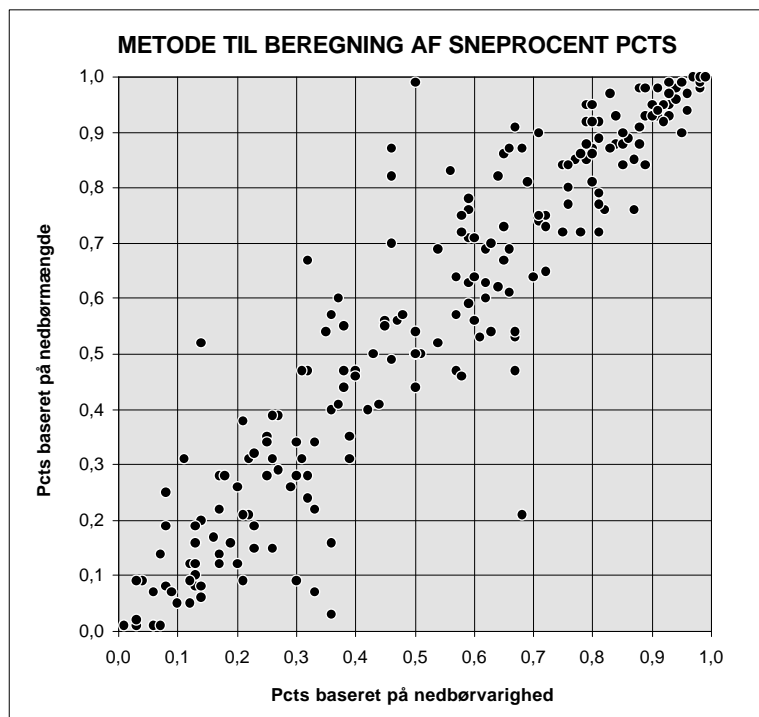
For given V er det tydeligt, at det forventede niveau for korrektionen R_t/H_t ændrer sig med sneprocenten pcts: lavest korrektion for pcts værdier nær 0, svarende til en nedbørhændelse næsten kun med regn. Man kan derfor forvente, at de observerede korrektionsværdier R_t/H_t for lave pcts passer godt med modellen for regn, og tilsvarende med modellen for sne ved høje pcts værdier. Figur 2.2 viser, at dette holder. Cirklerne i figuren viser modelforventede korrektioner, når der bliver benyttet middelværdier af regnintensitet (1.0 mm/time) og temperatur (-2.0°C).

En nærliggende løsning for korrektion af blandet nedbør er at korrigere de to delmængder ΔS (mm sne) og ΔR (mm regn) separat ved hjælp af modellerne for sne og regn. Hovedproblemet er nu at finde ud af, hvor stor en del af nedbøren, der faldt som sne og regn. Da dette ikke bliver målt, finder vi en genvej.

Figur 2.3 viser en relation mellem to forskellige måder at beregne pcts: den ene giver, hvor lang tid der faldt sne i forhold til den totale nedbørperiode, den anden giver, hvor stor en del af den samlede nedbørmængde, der faldt som sne.



Figur 2.2. Variation i R/H_1 for fastholdt vindhastighed V i relation til, hvor stor en del af nedbøren der faldt som sne (pcts). De åbne punkter er modelforventede korrektioner, når der bliver benyttet en middel regnintensitet (1.0 mm/time) og en middeltemperatur (-2.0°C).



Figur 2.3. Sneprocenten beregnet på to forskellige måder: (1) pcts baseret på snenedbørens varighed i forhold til den totale nedbørperiode, og (2) pcts baseret på snemængden i forhold til den totale nedbørmængde.

Den lineære relation i figuren viser, at det i langt de fleste tilfælde vil give tilfredsstillende resultater at benytte simple observationer af nedbørens varighed. I praksis mangler sådanne oftest, så her må man igen ty til indirekte metoder. Den ene metode er at omsætte WMO vejrkode til nedbørvarighed, den anden er at knytte observationer af lufttemperatur til nedbørstypen. Figur 2.4 viser, hvordan et groft estimat af pcts kan fås ud fra en velkendt relation mellem nedbørstype givet ved pcts og lufttemperatur T.

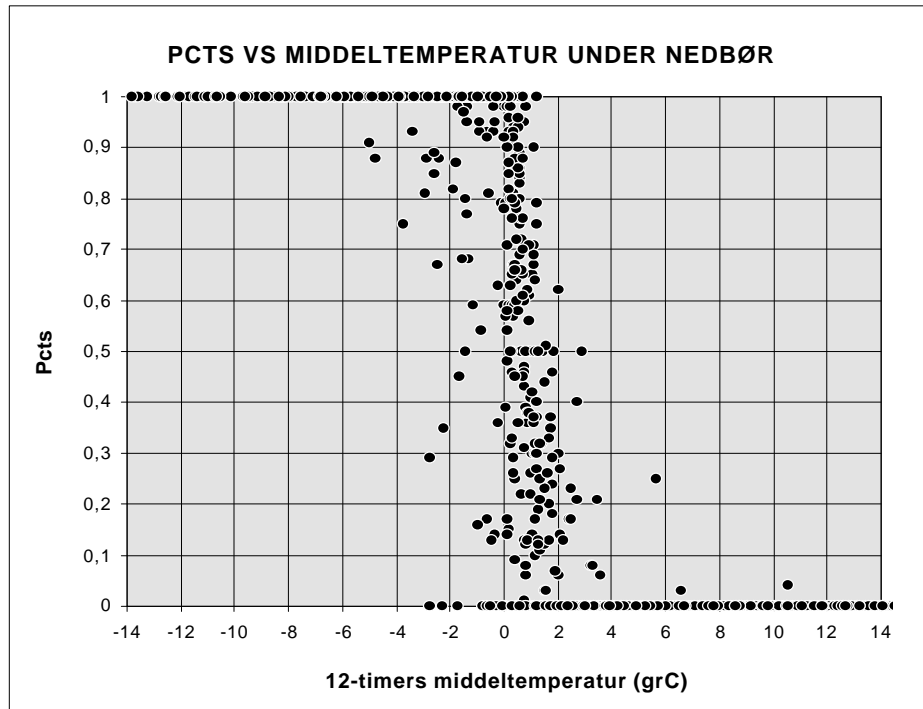
Blandet nedbør skal således korrigeres separat ved hjælp af de respektive korrektionsmodeller. Dette sker ved at bestemme en kombineret korrektionsfaktor, som bliver beregnet som et vægtet middel, hvor sneprocenten= $pcts \in [0,1]$:

$$k_b = pcts \cdot e^{b_0 + b_1 V + b_2 T + b_3 VT} + (1 - pcts) \cdot e^{a_0 + a_1 V + a_2 \log I_0 + a_3 V \log I_0} \quad (8)$$

Bemærk, at istedet for I benyttes en typisk værdi I_0 , som ikke er baseret på den aktuelle nedbørhændelse. Dette vil sædvanligvis lede til det mest nøjagtige estimat, men i tilfælde hvor nedbøren ΔR er ligeligt fordelt over nedbørperioden ΔP , kan raten $\Delta R / \Delta P \approx I$ bruges i stedet.

For også at kunne behandle egentlig slud i korrektionsmodellen, antages det, at slud kan behandles som lige dele sne og regn. Altså at den ene halvdel af slud nedbørmængden kan korrigeres som var det sne, og den anden halvdel som regn, således at pcts får værdien 0.5.

Korrektionsfaktoren for slud er da blot gennemsnittet af korrektionsfaktorerne for flydende og fast nedbør. Om denne antagelse holder afhænger af, hvordan sludnedbøren er sammensat: består den af sneblandet regn, af regnblandet sne eller af noget midt imellem? For de enkelte nedbørhændelser kan korrektionen være forkert, men taget over en længere periode antages metoden at være det bedste bud på korrektion af egentlig slud.



Figur 2.4. Nedbørtypen givet ved pcts ved forskellige værdier af middeltemperatur under nedbør. Jokioinen, 1987-1993.

2.5 Korrektion for læeffekt

Korrektionsmodellerne er baseret på nedbørmængder målt af frit eksponerede nedbørmålere. De fleste nedbørmålere i Danmark, og for så vidt også i mange andre lande, er placeret på steder med læ, som giver anledning til en reduceret vindeffekt. Derfor må vindhastigheden V reduceres med en lækorrektionsfaktor γ , så den er i overensstemmelse med læforholdene. Lækorrektionsfaktoren udtrykker, hvor godt en nedbørmåler står i læ, og dermed hvor godt vindhastigheden omkring måleren bliver reduceret. Empiriske studier i Rusland og Schweiz (Sevruk, 1988) har vist, at lækorrektionsfaktoren γ kan beskrives ved:

$$g = 1 - K \cdot h \quad (9)$$

hvor η er højdevinklen for lægiveren målt i grader, og K er en konstant, der ved empiriske undersøgelser i Rusland er blevet fundet til 0.024 (Sevruk, 1988). Højdevinklen er vinklen mellem horizontalplanen og sigtelinien mellem nedbørmålerens øverste kant i 1.5m højde og overkanten af lægiveren, der kan være træer, bygninger o.lign. Hvis højdevinklen har forskellige værdier rundt om nedbørmåleren, hvilket er det almindeligste, fås et mere repræsentativt mål for læforholdene ved at bestemme en vægtet middelhøjdevinkel η :

$$h = \frac{1}{J} \sum_{i=1}^J h_i p_i \quad (10)$$

hvor η_i er højdevinklerne i $J=8$ retninger, som hver er blevet vægtet med standardværdier af vindhyppigheden under nedbør p_i . Værdier af vægtningskoefficienten p_i for nedbør i forskellige

vindretninger er baseret på 11 års vind- og nedbørmålinger (Allerup og Madsen, 1979) og fremgår af tabel 2.4.

Vindretning	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	vindstille
p_i	0.054	0.056	0.085	0.136	0.196	0.225	0.165	0.058	0.025

Tabel 2.4. Værdier af vægtningskoefficient p_i fundet ved analyser af vind- og nedbørobervationer 1963-1973 (Allerup og Madsen, 1979).

En lægiver står for tæt på nedbørmåleren, når højdevinklen er over 30° . Noget af nedbøren vil da blive fanget af lægiveren ved interception i stedet for at nå frem til nedbørmåleren (Førland et al., 1996), og det vil resultere i for stor korrektion af den målte nedbør, hvis lækorrektionsfaktoren γ alligevel benyttes. Der findes ikke metoder, der kan korrigerer for denne systematiske fejl.

Læklasse	Benævnelse	Højdevinkel η	F_{1979}	F_K for regn	F_K for sne
A	Velbeskyttet	$19^\circ < \eta \leq 30^\circ$	0.50	0.57	0.44
B	Moderat beskyttet	$5^\circ < \eta \leq 19^\circ$	0.75	0.78	0.70
C	Ubeskyttet	$0^\circ \leq \eta \leq 5^\circ$	1.00	1.00	1.00
D	Overbeskyttet	$\eta > 30^\circ$	-	-	-

Tabel 2.5. Definition af læklasser A, B, C og D, samt værdier af den justeringsfaktor F , der skal benyttes til at korrigerer nedbørkorrektionsprocenten for læforholdene. Vist er F_{1979} fundet ved empiriske studier (Allerup og Madsen, 1979), samt F_K , som er estimeret ved at benytte Sevruks metode vist i formel (9) til justering af vindhastigheden for læforholdene (Sevruk, 1988), men med $K=0.018$. F_K er beregnet for sne og regn ved typiske værdier af vindhastighed, regnintensitet og temperatur.

Eksperimenter har vist, at nedbørstationer kan inddeles i forskellige læklasser, A, B, C og D, hvori nedbørmåleren er hhv. velbeskyttet, moderat beskyttet, ubeskyttet og overbeskyttet for vinden (Allerup og Madsen, 1979, Frich et al., 1997). Disse klasser er karakteriseret ved bestemte højdevinkelværdier (Frich et al., 1997) og er vist i tabel 2.5. Værdien af K i udtryk (9) er ikke universel, idet $K=0.018$ giver de bedste resultater for danske forhold. Dette fremgår af tabel 2.5, der viser med hvilken faktor F nedbørkorrektionsprocenten skal justeres i de forskellige læklasser for sne såvel som regn ved typiske værdier af vindhastighed V , temperatur T og regnintensitet I . I tabellen er vist justeringsfaktorer for A, B og C stationer fundet ved empiriske studier af korrektioner, F_{1979} (Allerup og Madsen, 1979), til sammenligning med justeringsfaktorer F_K beregnet ved brug af $K=0.018$. Der er benyttet $V=4$ m/sek og $I=1.5$ mm/time for regn hhv. $V=4$ m/sek og $T=-1^\circ$ for sne.

2.6 Korrektion for wetting i praksis

Modellen for flydende nedbør blev udledt på basis af nedbørmålinger, som var influeret af wetting. For fast nedbør blev modellen imidlertid udledt ud fra vejede nedbørmængder, hvorved wetting omtrent kunne negligeres. Det betyder i praksis, at for flydende nedbør skal wettingtabet w ikke korrigeres, fordi korrektionen herfor allerede indgår i det empiriske udtryk. Den korrigerede nedbørmængde bliver da:

$$P_c = k_r \cdot P_m + w \quad (11)$$

For fast nedbør indgår wettingtabet ikke i det empiriske udtryk, så wettingtabel skal også korrigeres:

$$P_c = k_r \cdot (P_m + w) = k_r \cdot P_g \quad (\text{jfr. (1)}) \quad (12)$$

For blandet nedbør stiller sagen sig lidt anderledes. Da korrektion af blandet nedbør er sammensat af de to modeller, følges udtryk (11), hvis sneprocenten $pcts < 0.5$, altså når nedbørhændelsen mest ligner regn, og ellers udtryk (12), når hændelsen mest ligner sne ved $pcts \geq 0.5$.

2.7 Korrektion hvis V, T og I er udenfor gyldighedsområde for model

Som tidligere nævnt bør der ikke beregnes en korrektionsfaktor, hvis middelværdien under nedbør af vindhastighed, temperatur eller regnintensitet har en størrelse, der ligger udenfor modellernes gyldighedsområde. I modsat fald er der risiko for overordentligt urealistiske estimater, da der ikke er belæg for at ekstrapolere estimaterne. Gyldighedsintervallet for den flydende model er som tidligere nævnt $0 \leq V \leq 15$ (m/sek) i nedbørmålerhøjde 1.5m og $0 \leq I \leq 15$ (mm/time), mens det for modellen for fast nedbør, og dermed også blandet nedbør, er $0 \leq V \leq 7$ (m/sek) i målerhøjde og $-12 \leq T \leq 1$ (°C). Årsagen er begrænsninger i det empiriske datamateriale. Problemet er størst for sne, og hvis målinger af snenedbør ved $V > 7$ m/sek alligevel bliver korrigeret, kan resultatet blive en korrigeret sum af uhyrlig størrelse (se eksemplet i afsnit 5.1). I de 7 år, der blev foretaget målekampagner i WMO projektet, var der for få målinger ved højere vindhastigheder (≥ 10 m/sek). Så der er i øjeblikket intet fingerpeg om, hvor stor vindeffekten er ved høje vindhastigheder. Da T i snemodellen er den mindst betydende variabel, giver det ikke problemer at korrigere for $T > 1^\circ\text{C}$ når blot $V \leq 7$ m/sek.

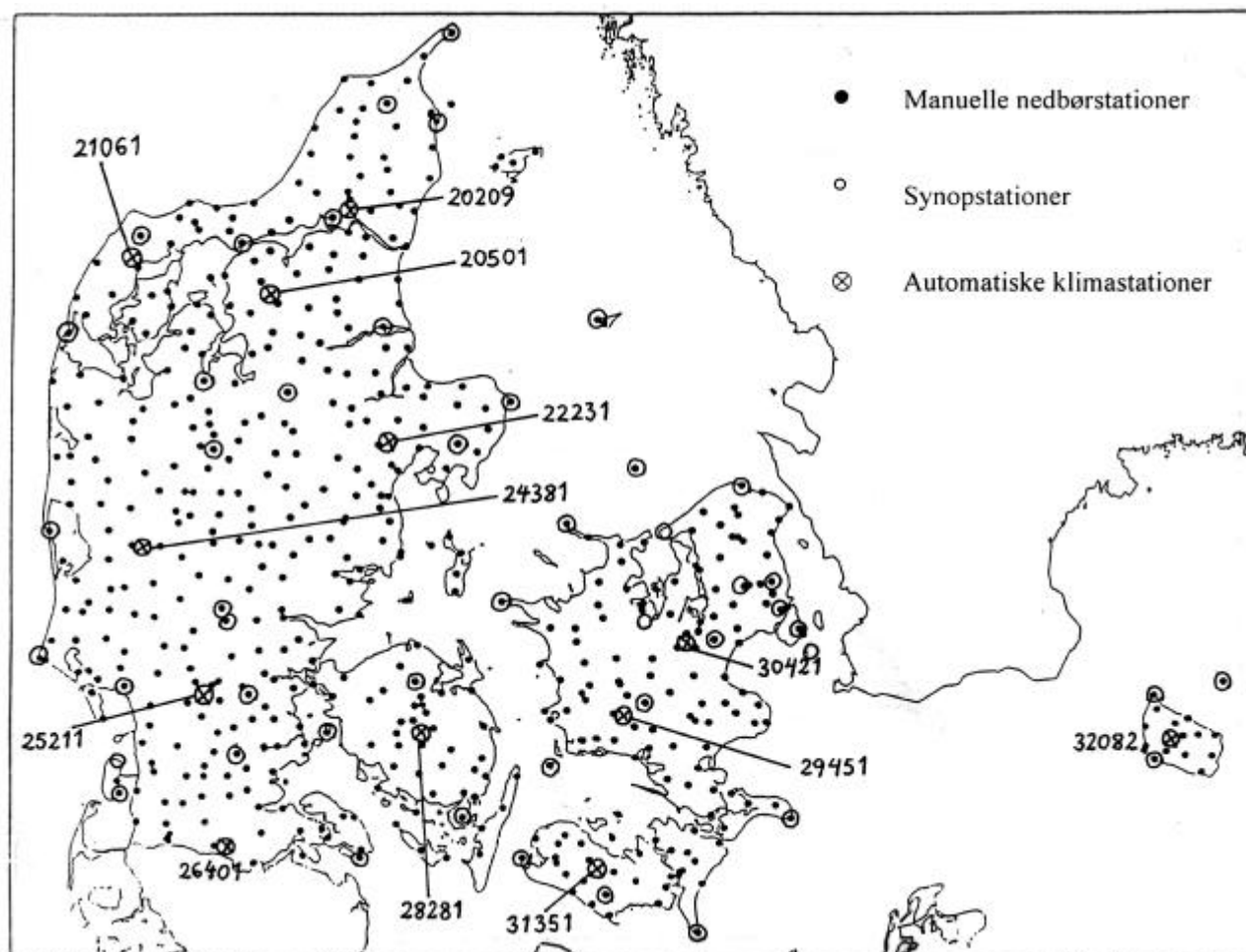
Korrektion udover disse intervaller må afvente, at modellerne får udvidet deres gyldighedsområde efterhånden som egnede data bliver indsamlet. For nærværende giver dette et problem for korrektion af tidsserier. For selvom det er forholdsvis sjældent, at der falder nedbør ved høje vindhastigheder, sne ved lave hhv. høje temperaturer og regn ved kraftig intensitet, så vil det efterlade et problem at lade sådanne hændelser være ukorrigerede i en korrigeret nedbørtidsserie. Der er imidlertid intet fornuftigt alternativ hertil. For sne er der tillige et problem med snefygning, som ved relativt høje vindhastigheder kan give et stort bidrag til den målte mængde. I praksis må nedbørdata forblive ukorrigerede, hvis middelværdien af V, T eller I ligger udover modelgrænserne.

3 Nye standardværdier af nedbørkorrektioner

Der er flere grunde til at estimere nye standardværdier for nedbørkorrektion til afløsning for de gamle værdier. For det første kan klimaændringer mht. vind, nedbør og temperatur, der indgår som kontrollerende variable i korrektionsmodellerne, bevirke ændringer i størrelsen af korrektionerne. Hvad angår temperaturen vil ændringer af denne desuden kunne medføre forskydning i forholdet mellem flydende og fast nedbør og derved ændre korrektions-værdierne, eftersom disse er forskellige for regn og sne.

En anden vigtig grund til at lave nye standardværdier var, at spørgsmålet om korrektion af fast og blandet nedbør ikke havde fundet en tilfredsstillende løsning i 1979, således at der først ved udarbejdelsen af den generelle korrektionsmodel var skabt tilstrækkeligt grundlag for at kunne foretage en endelig korrektion af alle typer af nedbør.

I de første overvejelser indgik en diskussion om valg af et passende, repræsentativt antal automatiske klimastationer med registreringer af vindhastighed, nedbør og temperatur for en lang periode. Resultatet blev 12 stationer med en 8-årig observationsperiode (1989-96). Fig. 3.1 gengiver stationernes placering.



Figur 3.1. Placering af de 12 automatiske klimastationer, der er blevet benyttet i analyserne.

Datagrundlaget for korrektionsværdierne i tabel 3.1 fra 1979 bestod i dataserier fra to stationer: Karup og Kastrup i perioden 1959-75. Vindhastighed og nedbørintensitet blev testet ens i de to dataserier, og følgelig var korrektionsværdierne også meget lig hinanden. På denne baggrund kunne man derfor gøre sig håb om, at der heller ikke kunne observeres regionale forskelle på de meteorologiske variable blandt de 12 automatiske stationer. Dette viste sig at holde stik, således at det *samlede* datamateriale fra de 12 stationer kunne indgå som grundlag for beregninger i en fælles korrektionsmodel.

De umiddelbart beregnede korrektionsværdier forekom imidlertid relativt små i forhold til de gamle værdier (tabel 3.1).

Eftersom hverken vind, nedbør eller temperatur har ændret sig væsentligt gennem de sidste 20-30 år og derved påvirket korrektionens størrelse, var det vanskeligt at finde nogen god forklaring på fænomenet. Det viste sig nu, at de beregnede nedbørintensiteter, som indgår i modellen for flydende nedbør, var høje, specielt i vinterhalvåret, og dette forekom mærkeligt, eftersom nedbørmængden jo ikke havde ændret sig.

Efter kontrolberegninger, blev det besluttet at foretage en udvidet kontrol af data, hvilket afslørede nogle store datafejl i nedbørregistreringen. Dette blev løst, men ændrede ikke væsentligt på korrektionsværdierne. Ved nøjere analyser af GEONOR nedbørdata og sammenligninger med Hellmann målinger stod det efterhånden klart, at de relativt høje GEONOR intensiteter i al væsentlighed kunne forklares ved, at de aerodynamiske egenskaber for GEONOR er forskellige fra pluviograf og Hellmann måleren. F.eks. viste der sig store forskelle i intensitetsfordelinger fra målinger med pluviograf og GEONOR.

Intensiteterne målt med GEONOR for perioden 1989-1996 blev nu checket vha. samtidige intensiteter målt med RIMCO målere. RIMCO var velegnet hertil, fordi dens aerodynamiske egenskaber er omtrent identisk med såvel Hellmann som pluviograf måleren. Data fra 23 af RIMCO målere i perioden 1989-96 viser, at intensitetsfordelingen ikke afviger væsentligt fra fordelingen, som blev beregnet ud fra pluviograf målinger. Det var dermed blevet bekræftet, at GEONOR-målinger af regnintensitet ikke umiddelbart kunne benyttes til beregning af nye standardværdier af korrektioner. For at kunne anvende regnintensiteter hertil har det således været nødvendigt at supplere med uafhængige data fra RIMCO målere. Bortset fra de beregninger, der involverer en nøjagtigt bestemmelse af regnintensitet, er samtlige analyser i nærværende rapport blevet udført med reference til de i rapporten nævnte data.

De beregnede nedbørintensiteter fra GEONOR-målerne er derefter justeret ved hjælp af de beregnede intensiteter fra RIMCO-målerne, og tabel 3.2 indeholder sluttelig de beregnede standardværdier af måneds- og årskorrektionerne for friteksponerede stationer.

Læforhold	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Y
friteksponerede	29	31	31	22	18	17	14	13	16	18	20	25	20
moderat læ	21	22	22	18	15	14	12	11	13	14	16	19	16
ideelt læ	18	19	20	14	12	11	9	9	10	10	12	15	12

Tabel 3.1. Standardværdier (1931-60) af nedbørkorrektioner (%) mht. vindeffekt og wettingtab.

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
48	47	37	20	10	8	7	8	9	14	24	44

Tabel 3.2. Standardværdier (1961-90) af nedbørkorrektioner (%) mht. vindeffekt for friteksponerede stationer.

Korrektionerne, der er udglattede værdier, er store i vintermånederne, hvilket skyldes, at mere end halvdelen af nedbøren falder som sne og blandet nedbør, og for disse nedbørtyper er korrektionerne meget store, især for sne.

Korrektioner for den anden systematiske fejl, wettingtabet fremgår af tabel 3.3.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Y
wettingtab (%)	4.7	6.2	7.6	9.4	5.8	5.0	4.9	4.4	4.1	3.4	5.0	4.4	5.1
standardnedbør (mm)	57	38	46	41	48	55	66	67	73	76	79	66	712

Tabel 3.3. Wettingtab i procent af standardnedbøren 1961-90.

Wettingtabet udgør ca. 5% af den målte nedbør på årsbasis. Det må noteres, at de relativt høje værdier i vinterhalvåret nov. - apr. skyldes, at nedbørmåleren i denne periode er forsynet med et såkaldt snekors, der sidder i målerens tragt og, ligesom denne ved nedbør, bliver belagt med en hinde af vand (wetting), der fordamper efterhånden og således ikke bliver målt.

Tabel 3.4 indeholder de endelige standardværdier (1961-90) af nedbørkorrektioner for vindeffekt og wettingtab mht. de 3 forskellige typer af læ. Der må tages det forbehold for værdierne i tabellen, at den del af korrektionerne, der skyldes vindeffekten, kun er baseret på en periode af 8 år (1989-96), og at vind- nedbør og temperaturforhold i disse år kan have adskilt sig i en vis grad fra forholdene i standardperioden 1961-90, hvilket vil influere på størrelsen af korrektionerne. En gennemgang af de enkelte års klimatiske forhold giver imidlertid ikke grund til en formodning om, at den samlede 8-års periode adskiller sig væsentligt fra standardperioden.

Der er foretaget beregning af usikkerheden på korrektionerne i tabel 3.4. Usikkerheden, der er udtrykt ved standardafvigelsen, er fundet til ca. 4% af korrektionsværdierne gældende for alle månederne samt for året.

Læforhold	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Y
friteksponerede (C)	53	53	45	29	16	13	12	12	13	17	29	48	27
moderat læ (B)	41	42	35	24	13	11	10	10	11	14	23	37	21
ideelt læ (A)	29	30	26	19	11	9	8	8	9	10	17	26	16

Tabel 3.4. Standardværdier (1961-90) af nedbørkorrektioner (%) for vindeffekt og wettingtab. Læforholdene er defineret i tabel 2.5.

En sammenligning af korrektionsværdierne i tabel 3.1 og 3.4 viser på årsbasis noget større værdier for perioden 1961-90. Således er korrektion for stationer med moderat læ, der udgør ca. 65% af alle stationer, ændret fra 16% til 21%, hvilket skyldes en meget stor ændring i vintermånederne dec. - feb. samt marts, hvor værdierne for 1961-90 er 50-100% større end for 1931-60. Da der som nævnt ikke er sket nævneværdige klimaændringer, må forskellen tilskrives de alt for lave værdier, der blev benyttet for korrektion af sne og blandet nedbør mht. vindeffekten. Også wettingtabet er relativt stort i de samme måneder for perioden 1961-90, men samlet for året er wettingtabet kun ændret fra 4% til 5%, hvilket skyldes, at tabet pga. snekorset ikke indgik i de tidligere beregninger for perioden 1931-60.

4 Konklusion

Estimater af nye standardværdier (1961-90) for korrektion af målt nedbør foreligger nu på DMI i form af en tabel indeholdende måneds- og årsværdier samt en angivelse af usikkerheden på disse. Der er desuden taget hensyn til læforholdene omkring nedbørmåleren, idet der er beregnet standardværdier for tre lækategorier: friteksponeret, moderat læ og ideelt læ. Nedbøren korrigeres for systematiske fejl på målinger, og disse fejl er vindeffekt, som er den største fejl, og wettingtab.

Korrektionen er størst for friteksponerede målere og varierer fra ca. 12% i sommermånederne til ca. 50% i vintermånederne, hvor snedebøren giver anledning til store deficit som følge af vindeffekten. På årsbasis er korrektionerne 27%.

For stationer med moderate læforhold, som forekommer ved ca. 65% af det samlede antal stationer, er vindhastigheden omkring måleren i forhold til friteksponerede steder reduceret med 25%. Dette medfører en reduktion af korrektionerne på ca. 20%. På årsbasis er korrektionerne således 21%, hvilket betyder, at den målte årsnedbør på 712 mm skal korrigeres med 150 mm. Korrektionerne er ca. 40% om vinteren og ca. 10% om sommeren.

Stationer med ideelt læ, dvs. steder, hvor måleren er opstillet i parklignende områder eller i villakvarterer, er vinden yderligere reduceret til ca. 50%, hvorved korrektionerne formindskes med ca., 40% i forhold til friteksponerede målere. Den årlige korrektion bliver 16%, omkring 30% om vinteren og 8% om sommeren.

Usikkerheden på korrektionerne er givet ved standardafvigelsen og den beløber sig til ca. 4% af korrektionsværdierne på både måneds- og årsbasis.

En sammenligning af korrektionsværdierne for standardperioden 1961-90 med værdierne fra den forrige periode 1931-60 viser på årsbasis, at korrektionen er ca. 5% større for den nye periode. Specielt i vintermånederne er forskellen stor: 50-100%, hvilket skyldes, at en korrektionsmodel for fast nedbør først for relativt nylig er blevet udviklet.

Referencer

- Allerup P. og Madsen H. (1979) Accuracy of Point Precipitation Measurements. Danmarks Meteorologiske Institut. Klimatologiske Meddelelser No. 5.
- Allerup, P., og H. Madsen (1980): Accuracy of point precipitation measurements. *Nordic Hydrology*, 11, p. 57-70.
- Allerup P., Madsen H. og Vejen F. (1997) A Comprehensive Model for Correcting Point Precipitation. *Nordic Hydrology* Vol. 28 pp. 1-20.
- Aune, B., og Førland, E. J. (1985): Comparison of Nordic methods for point precipitation correction, ETH/IAHS/WMO Workshop on the correction of precipitation measurements, Zurich 1-3 April 1985. In: B. Sevruk (ed.) Correction of precipitation measurements, Züricher Geographische Schriften, Swiss Federal Institute of Technology, ETH, Zürich, pp. 239-244.
- Folland, C. (1988): Numerical models of the raingauge exposure problem, field experiments and an improved collector design. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, Vol. 114, p. 1485-1516.
- Frich, P., S. Rosenørn, H. Madsen, og J. J. Jensen (1997): Observed Precipitation in Denmark, 1961-90. Danish Meteorological Institute, Techn. Rep. No. 97-8, Copenhagen.
- Hamon, W. R. (1973) Computing actual precipitation, WMO/OMM No. 326, Geneva.
- Førland E. et al (1996) Manual for Operational Correction of Nordic Precipitation Data, Nordic Working Group on Precipitation, Det Norske Meteorologiske Institut, Report Nr. 24/96.
- Madsen H. (1995) Correction of Solid Precipitation, 6. International Meeting on Statistical Climatology, Galway, Ireland.
- Sevruk, B. (1988): Wind Speed Estimation at Precipitation Gauge Orifice Level. WMO/TD-No. 222.
- Vejen, F. (1994): Udvikling af model til korrektion af fast nedbør. Indledende databehandling. Danish Meteorological Institute, Techn. Rep. No. 94-25, Copenhagen.