

DANMARKS METEOROLOGISKE INSTITUT
TEKNISK RAPPORT

00-15

Korrektion for fejlkilder på måling af nedbør

Korrektionsprocenter ved udvalgte stationer
Foreløbige tal for 1999

Flemming Vejen
Henning Madsen
Peter Allerup



Copenhagen 2000

ISSN 0906-897X (printed version)
ISSN 1399-1388 (online version)

Indholdsfortegnelse

1. Indledning.....	2
1.1 Formål.....	2
2. Metode til produktion af månedskorrektionsfaktor.....	3
2.1 Kort oversigt over beregningsmetode.....	3
2.2 Læforholdenes betydning for nedbørmåling.....	5
2.3 Korrektion hvis V, T og I er udenfor gyldighedsområde for model.....	6
2.4 Beregning af månedskorrektionsfaktor.....	6
2.5 Den praktiske beregning af korrektionen.....	6
2.6 Usikkerhed.....	8
2.6.1 Usikkerhed på månedskorrektion.....	9
3. Korrektionsprocenter for 1999.....	11
3.1 Kontrol af korrektionsprocenter.....	13
3.2 Usikkerhed.....	14
4. Konklusion.....	15
5. Referenceliste.....	16

1. Indledning

1.1 Formål

Der er et praktisk behov for at korrigere nedbørmålinger i Danmark, både aktuelle og historiske data, såvel på daglig som på månedlig basis. Rapporten indeholder månedlige korrektionsprocenter og andel af nedbør faldet som sne for 1999. Disse korrektionsprocenter er beregnet for tre forskellige grader af læ: velbeskyttede, moderat beskyttede og ubeskyttede stationer (såkaldte A-, B- og C-stationer). Idet nedbørmålinger i Danmark i hovedsagen bliver udført med "den danske Hellmann måler uden skærm", gælder korrektionsprocenterne for denne måler.

Der er tale om foreløbige tal, men der vil på et senere tidspunkt blive udsendt en rapport Technical Report No. 00-20, som indeholder de endelige tal for 1999 samt beregninger tilbage til 1989. I denne rapport vil der også blive gjort udførligt rede for beregningsmetoder.

2. Metode til produktion af månedskorrektionsfaktor

2.1 Kort oversigt over beregningsmetode

Der bliver benyttet en generel model til korrektion af nedbørmålinger for den fejl, der skyldes vindens påvirkning. Modellen er sammensat af to dele: et led der korrigerer flydende nedbør og et led, der tager sig af fast nedbør. Korrektionsfaktoren, som er raten af sand nedbør i forhold til målt nedbør, er givet ved (Allerup, Madsen og Vejen, 1997):

$$k_{\alpha} = \alpha \cdot e^{\beta_0 + \beta_1 V + \beta_2 T + \beta_3 V \cdot T} + (1 - \alpha) \cdot e^{\gamma_0 + \gamma_1 V + \gamma_2 \cdot \log I + \gamma_3 V \cdot \log I} = \alpha \cdot k_s(V, T) + (1 - \alpha) \cdot k_r(V, I) \quad (1)$$

V = middelværdi under nedbør af vindhastighed (m/sek) i nedbørmålerens højde

T = middelværdi under nedbør af temperatur (°C) i nedbørmålerens højde

I = regnintensitet (mm/time)

α = fraktion af nedbøren faldet som sne

k_s = korrektionsfaktor for nedbør faldet som sne

k_r = korrektionsfaktor for nedbør faldet som regn

β = empiriske konstanter for snedelen (se tabel 2.1)

γ = empiriske konstanter for regndelen (se tabel 2.1)

Type	intercept	vind	temp/intensitet	produkt
fast nedbør	β_0 0.04587	β_1 0.23677	β_2 0.017979	β_3 -0.015407
regn	γ_0 0.007697	γ_1 0.034331	γ_2 -0.00101	γ_3 -0.012177

Tabel 2.1. Koefficienter i korrektionsmodellen for fast (Allerup, Madsen og Vejen, 1997) og flydende nedbør (Allerup og Madsen, 1980) gældende for den danske Hellmann-måler uden skærm.

Modellen gælder for følgende intervaller:

- Vindhastighed: $1 \leq V \leq 7$ m/sek for fast nedbør, $0 \leq V \leq 15$ m/sek for flydende nedbør.
- Temperatur : $T \geq -12^\circ\text{C}$.
- Regnintensitet: $0 \leq I \leq 15$ mm/time.

Ved lave værdier af V og T for delmodellen for sne bliver korrektionsfaktoren estimeret en anelse mindre end 1.00. Da vindeffekten ved så lave vindhastigheder stort set er fraværende, sættes k_s til værdien 1.00, hvis den faktisk er estimeret til < 1 i beregningerne. Tabel 2.2 viser korrektionsfaktorens størrelse ved forskellige værdier af V, T, I og α .

Der bliver også korrigeret for wetting. Størrelsen af wettingtabet for den danske Hellmann måler ses i tabel 2.3. Det forholdsvis store wettingtab november til april skyldes, at nedbørmåleren er forsynet med et snekors. Fordampningstabet er ubetydeligt jfr. tabel 2.4, og der bliver ikke korrigeret for dette tab.

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 P_c for $\alpha=0.0$ bliver da:

$$P_c = k_r \cdot P_m + w_r \quad (2)$$

hvor P_m er den målte nedbørmængde og w_r er wettingmængden for regn. For fast nedbør ved $\alpha=1.0$ indgår wettingtabet w_s derimod ikke i det empiriske udtryk, så wettingtabet skal også korrigeres:

$$P_c = k_s \cdot (P_m + w_s) \quad (3)$$

For blandet nedbør ved $0 < \alpha < 1$ fås den korrigerede nedbør af:

$$P_c = (1 - \alpha)(k_r P_m + w_r) + \alpha k_s (P_m + w_s) \quad (4)$$

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 2.2. Korrektionsfaktorer k_α for udvalgte værdier af V =middelvindhastighed (m/sek) under nedbør i målerhøjde, T =middeltemperatur ($^{\circ}\text{C}$) under nedbør, I =regnintensitet (mm/time), og α =fraktion fast nedbør. Tallene gælder for den danske Hellmann måler uden skærm.

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
blandet nedbør	0.17	0.19	0.27	0.35	0.24	0.27	0.27	0.24	0.21	0.17	0.23	0.18
fast nedbør	0.12	0.14	0.19	0.25	0.17	0.19	0.19	0.17	0.15	0.12	0.17	0.13

Tabel 2.3. Wettingtab i mm pr. nedbørdøgn for en Hellmann måler (Allerup og Madsen, 1979, 1980, Elomaa, FMI (Finnish Meteorological Institute), pers. komm.).

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

I den generelle korrektionsmodel er blandet nedbør defineret som nedbør, der henover en måleperiode er faldet som både regn og sne og/eller slud. Slud bliver i denne sammenhæng betragtet som lige dele af regn og sne, og som følge deraf indgår wetting for blandet nedbør i tabel 2.3 ikke i korrektionen. Det er rimeligt, da nedbøren i hændelser med blandet nedbør oftere falder som sne og regn end som egentlig slud.

2.2 Læforholdenes betydning for nedbørmåling

Den målte vindhastighed bliver korrigeret for effekten af læ, inden den benyttes i korrektionsmodellen (Førland et al., 1996). Vindhastighed V bliver reduceret med en lækorrektionsfaktor λ (Sevruk, 1988):

$$\lambda = 1 - c \cdot \eta \quad (5)$$

hvor η er højdevinklen for lægiveren målt i grader, og $c=0.018$ (Vejen, Allerup og Madsen, 1998). Højdevinklen er vinklen mellem horisontalplanen og sigtelinien mellem nedbørmålerens øverste kant i 1.5m højde og overkanten af lægiveren, der kan være træer, bygninger o.lign. Da højdevinklen har forskellige værdier rundt om nedbørmåleren, fås et mere repræsentativt mål for læforholdene ved at bestemme en vægtet middelhøjdevinkel η :

$$\eta = \frac{1}{J} \sum_{i=1}^J \eta_i p_i \quad (6)$$

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

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 2.5. Værdier af vægtningskoefficient p_i fundet ved analyser af vind- og nedbørobservationer 1963-1973 (Allerup og Madsen, 1979).

Nedbørstationer er klassificeret i forskellige læklasser, A, B, C og D (tabel 2.6), hvori nedbørmåleren er hhv. velbeskyttet, moderat beskyttet, ubeskyttet og overbeskyttet for vinden (Allerup og Madsen, 1979, Frich et al., 1997). Omkring 14% af de manuelle nedbørstationer står i åbent terræn (C-stationer), 59% står i moderat læ (B-stationer), mens 23% står velbeskyttede for vinden (A-stationer). Ved de resterende 4% er vegetationen lige akkurat blevet for høj, og målerne står for at blive flyttet hen, hvor der er mindre læ.

Læklasse	Benævnelse	Højdevinkel η
A	Velbeskyttet	$19^\circ < \eta \leq 30^\circ$
B	Moderat beskyttet	$5^\circ < \eta \leq 19^\circ$
C	Ubeskyttet	$0^\circ \leq \eta \leq 5^\circ$
D	Overbeskyttet	$\eta > 30^\circ$

Tabel 2.6. Definition af læklasser A, B, C og D.

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

I døgn, hvor V, T eller I ligger udenfor de specificerede grænser, vil det være forkert både at udelade og inkludere data i beregning af en korrektionsfaktor. Det er specielt hvis V ligger over modelgrænserne, at resultaterne kan blive særdeles urealistiske. Derfor er der valgt at gøre det, der er mindst forkert. Hvis en af de styrende variable ligger udenfor modelintervallet, erstattes værdien med den nærmeste værdi i pågældende gyldighedsområde. Altså, hvis f.eks. $V > 7$ m/sek for sne, sættes $V = 7$ m/sek. Vel vidende at der her begås en fejl, er denne fejl oftest væsentlig mindre end hvis korrektionsfaktoren sættes til 1.00.

Det er dog forholdsvis sjældent, at der falder nedbør ved høje vindhastigheder, sne ved lave hhv. høje temperaturer og regn ved kraftig intensitet. I 1999 lå V på eller under modelgrænserne i 99.2% af døgn med nedbør, mens T opfyldte betingelserne i alle tilfælde.

2.4 Beregning af månedskorrektionsfaktor

Månedskorrektionsfaktoren $k_{m,dr}$ beregnes ved at vægte den daglige korrektionsfaktor $k_{\alpha(d)}$ med nedbørmængden $P_{m(d)}$ for hvert døgn d henover alle døgn D i måneden:

$$k_{m,dr} = \frac{\sum_{d=1}^D \left((1 - \alpha) \cdot [k_{r(d)} P_{m(d)} + w_{r(d)}] + \alpha \cdot k_{s(d)} [P_{m(d)} + w_{s(d)}] \right)}{\sum_{d=1}^D P_{m(d)}} \quad (7)$$

hvor $w_{s(d)}$ og $w_{r(d)}$ er døgnets wettingmængde for hhv. sne og regn. Udtrykket beskriver blot, at wettingmængden bliver korrigeret, når nedbøren har været sne, men forbliver ukorrigeret for regn. Der står egentlig ikke andet, end at månedskorrektionsfaktoren er givet ved forholdet mellem korrigeret og ukorrigeret månedlig nedbørsum, $k_{m,dr} = \frac{\sum P_c}{\sum P_m}$.

Ved at vægte med den daglige nedbørmængde opnås et realistisk billede af den korrigerede månedsværdi, og det undgås, at store korrektionsfaktorer ved meget små nedbørmængder får for stor indflydelse på månedsresultatet. Ved små nedbørmængder får wetting forholdsvis stor betydning for det pågældende døgn korrektionsfaktor, og for meget tørre måneder bliver månedskorrektionsfaktoren forholdsvis stor.

2.5 Den praktiske beregning af korrektionen

Et grundlæggende krav ved valg af stationer har været, at der skulle være hyppige observationer, helst hver time, af vindhastighed (V), lufttemperatur (T), regnintensitet (I), nedbørart og nedbørmængde. De eneste stationer, der kan give både V, T, I og nedbørmængde en gang i timen, er automatiske klimastationer.

Beregningerne er foretaget for 12 automatiske klimastationer, der er valgt således, at landet er opdelt i regioner med hver sin klimastation i centrum (figur 2.1) ved opdeling i Thiessen Polygone. Tabel 2.7 viser en liste over klimastationerne. Da nedbørarten ikke bliver observeret ved klimastationerne, hentes der observationer heraf fra nærliggende synopstationer.

Grundideen er, at alle nedbørstationer i hver region skal kunne korrigeres ved brug af korrektionsprocenten i centrum, vel vidende at der vil blive begået en fejl af en vis størrelse. Det forekommer rimeligt at antage, at der hersker nogenlunde isotropiske forhold i regionerne *under nedbør*, dels pga. strukturen for typiske atmosfæriske trykssystemer (Petersen et al.,

1981), og dels pga. regionernes forholdsvis begrænsede størrelse og topografi. De rumlige (spatiale) variationer af vindhastighed og temperatur indenfor en region er normalt forholdsvis begrænsede under nedbør.

Figur 2.1. Inddeling af Danmark i Thiessen polygoner med angivelse af regionsnummer. Placering af manuelle nedbørstationer, synopstationer og de 12 automatiske klimastationer er vist.

nr	navn	højde	lætype	η	zone	N	E
20209	Tylstrup II	13	C	5	32V	6338.610	557.680
20501	Hornum II	30	B	9	32V	6299.150	526.810
21061	Silstrup II	41	C	0	32V	6309.770	478.230
22231	Ødum II	61	C	3	32V	6240.560	569.835
24381	Borris II	25	B	7	32U	6201.565	476.750
25271	Askov II	62	C	5	32U	6147.540	507.220
26401	Store Jynde vad II	15	C	3	32U	6083.740	507.950
28281	Årslev II	49	C	3	32U	6130.290	591.460
29451	Flakkebjerg II	33	C	1	32U	6133.870	651.630
30421	Ledreborg Allé II	46	C	5	33U	6168.130	314.040
31351	Abed II	7	C	0	32U	6078.280	649.690
32082	Klemensker Ø	103	C	2	33U	6114.190	490.980

Tablet 2.7. Udvalgte stationsparametre for automatiske klimastationer: højde over havet (m), lætype er defineret i tabel 2.6, vægtet middelhøjdevinkel η ved nedbørmåler og UTM-koordinater. I perioden 1989-99 har η været næsten konstant.

2.6 Usikkerhed

Et mål for usikkerheden på døgnbasis er sammensat af to væsentlige bidrag samt nogle mere perifere:

- Usikkerheden (den stokastiske) på selve korrektionsmodellen.
- Usikkerhed som følge af ekstrapolation af korrektionsfaktoren ud over et areal.
- Usikkerhed på beregning af de meteorologiske parametre.

Usikkerheden (spredningen) på korrektionsmodellen er ved $1 \times$ standardafvigelsen på korrektionsfaktoren af størrelsesordenen $\pm 5\%$ ved modelgrænserne og $\pm 1\%$ ved intermediære værdier (Allerup, Madsen og Vejen, 1997), idet residualvariansen $\sigma^2=0.08$ for snedelen og $\sigma^2=0.06$ for regndelen. Ved V,T,I nær modelgrænserne vil eksempelvis en korrektionsfaktor $k_{\alpha(d)}$ beregnet til 1.20 bevæge sig indenfor 1.15 og 1.25, hvorimod hvis V,T,I er langt fra modelgrænserne, vil $k_{\alpha(d)}$ usikkerhedsintervallet være 1.19 til 1.21.

Standardbrugen af modellen (1) er baseret på input af lokalt målte α , V, T og I. Idet en klimastation i hver af de 12 regioner i figur 2.1 forsyner nedbørmålerne med et korrektionsestimat $k_{\alpha(d)}$, fordi information om de fire uafhængige variable mangler ved nedbørstationerne, får den regionale variation på $k_{\alpha(d)}$ indflydelse på den samlede usikkerhed. Effekten på $k_{\alpha(d)}$ af den regionale variation α , V, T og I er blevet undersøgt (Allerup, Madsen og Vejen, 2000).

Det blev konkluderet, at usikkerheden på korrektionsfaktoren er under $\pm 5\%$, når den ekstrapoleres indenfor 50 km's afstand. Dette lidt overraskende faktum hænger sammen med, at middelværdien af V og T, som modellen benytter, er beregnet som *middelværdi under nedbør*, og at middelværdien af V og T under nedbør har mere begrænsede spatiale variationer, end når der er tørvejr. Antagelsen om isotropi holder kun i indlandet og ikke i kystnære regioner. I alt 92% af nedbørstationerne ligger inden 50's afstand km fra klimastationerne, 80% indenfor 40 km, og 59% indenfor 30 km.

Der er en mindre usikkerhed ved beregning af meteorologiske variable.

Snefraktionen α bliver så vidt muligt bestemt ud fra observationer af nedbørens art. Hvis sådanne data mangler, bliver det antaget, 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 $T > 2^\circ\text{C}$ og regn ved $T < 0^\circ\text{C}$, men det er det bedste bud på en α -værdi ved mangel på observationer.

Vindhastigheden målt i 10m bliver transformeret ned til nedbørmålerens højde på 1.5m vha. det logaritmiske vindprofil. Hvis der ligger sne, er nedbørmålerens reelle højde mindre end 1.5m, og det betyder i princippet, at en usikker angivelse af snedybden kan få effekt på den korrigerede vindhastighed og dermed også på korrektionsfaktoren. Ved typiske værdier af V, T og I og de snedybder, der oftest forekommer i Danmark, er fejlen på korrektionsfaktoren dog kun indenfor nogle få procent, og specielt for regn er forskellen i de fleste tilfælde under 1% (Vejen, Allerup og Madsen, 1999). Ved transformation af V har overfladens ru-

hed også betydning for usikkerheden, omend denne i gennemsnit er marginal og i de fleste tilfælde kun giver ubetydelig forskel i korrektionsniveau.

Endelig er usikkerheden i mindre grad påvirket af en mindre unøjagtighed på de daglige wettingtab. Værdierne for wettingtab i tabel 2.3 er gennemsnitsværdier, og det reelle tab kan sagtens afvige herfra. Wettingtabet afhænger af, hvor lang tid den del af nedbøren, der hænger fast på målerens indre overflade, er om at fordampe, samt af hvor hyppigt henover måleperioden måleren er blevet "gjort våd". Faktisk har også læforholdene betydning for, hvor stort wettingtabet er; mere læ giver mindre wettingtab. Usikkerheden på wettingtabet får dog kun betydning, når det udgør en forholdsvis stor andel af den målte nedbørmængde.

2.6.1 Usikkerhed på månedskorrektion

Det er vigtigt at skelne mellem den stokastiske modelusikkerhed (i), der opstår ved beregning af korrektionsfaktorer $k(\alpha, I, V, T)$ ud fra lokalt kendskab til α, I, V, T og den spatiale usikkerhed (ii) (som lægges "oveni"), der opstår når α, I, V, T tages fra en fjern station. Udgangspunktet for beregning af usikkerheden på månedskorrektionsfaktoren er betragtninger over usikkerheden på de daglige værdier. Til beregning af usikkerheden på k for en måned bestående af q nedbørdøgn er benyttet følgende udtryk (Allerup og Madsen, 1979):

$$\sigma^2 \{ MK_q \} = \frac{\sigma^2 \sum_{i=0}^q [R_{m(i)}]^2}{\left(\sum_{i=0}^q R_{m(i)} \right)^2} \quad (8)$$

hvor σ^2 =residualvariansen på dagligt niveau, $R_{m(i)}$ =den målte nedbørmængde for et givet døgn i , og q =antal døgn med nedbør i måneden.

De to kilder til usikkerhed, den stokastiske på korrektionsmodellen og den spatiale, er uafhængige, hvorfor de principielt skal adderes. Det skal de også i praksis, når det konstateres, at 91% (dvs. praktisk taget alle) af de spatiale betingede forskelle på korrektionsfaktoren holder sig indenfor $\pm 1 \times \sigma$, når korrektionsfaktoren benyttes ud til en afstand af 50km. Yderligere gælder der, at ca. 50% af de spatiale afvigelser ligger indenfor betydeligt snævrere grænser. Usikkerheden på korrektionsfaktoren for et døgn bliver:

$$\text{samlet usikkerhed (stokastisk + spatial)} \rightarrow \begin{cases} = \text{"korrektion } \pm 10\% \text{" ...de moderate værdier af } \alpha, I, V, T \\ = \text{"korrektion } \pm 11\% \text{" ...de ekstreme værdier af } \alpha, I, V, T \end{cases}$$

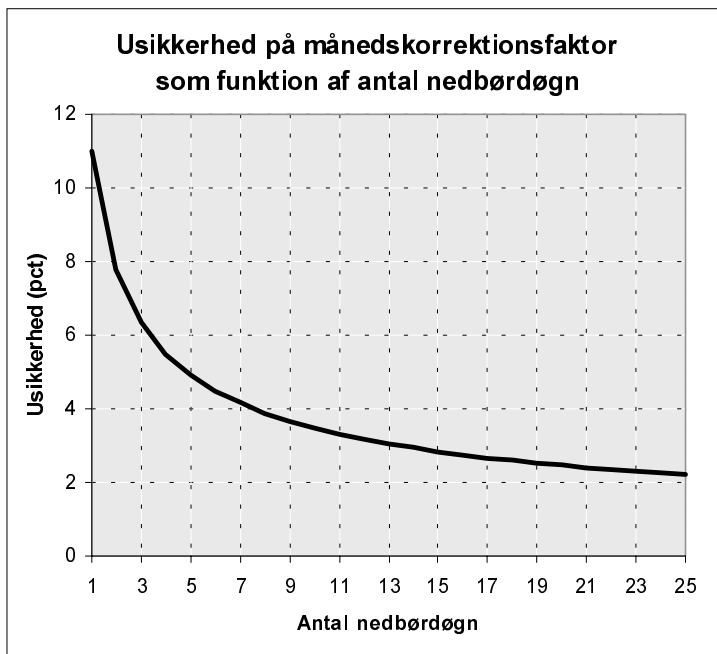
Dette er baseret på "en gange spredning" grænser $\pm 1 \times \sigma$ (68%). For en standardmåned med 15 nedbørdøgn og 6 mm pr. nedbørdøgn bliver den samlede stokastiske og spatiale usikkerhed ved $\pm 1 \times \sigma$ (68%) følgende:

For en måned:

samlet usikkerhed (stokastisk + spatial) \rightarrow $\begin{cases} = \text{"korrektion } \pm 2.6\% \text{" ...de moderate værdier af } \alpha, I, V, T \\ = \text{"korrektion } \pm 2.9\% \text{" ...de ekstreme værdier af } \alpha, I, V, T \end{cases}$

idet variansen for en måned tilnærmet er lig med σ^2/\sqrt{q} , hvor σ^2 er den daglige varians, og det antages, at antal nedbørdøgn for en standardmåned er $q=15$. Figur 2.2 viser usikkerheden på månedskorrektionsfaktoren som funktion af antal nedbørdøgn.

Der er væsentlige forskelle i læforholdene ved nedbørstationerne i hver af læklasserne A, B og C. Det får betydning for, hvor nøjagtig den korrigerede nedbørmængde er bestemt, når korrektionsprocenterne bliver benyttet. Læforholdene i sig selv har ingen betydning for usikkerheden på de beregnede korrektionsprocenter, fordi de er beregnet for fastholdte værdier af læindeks i læklasserne A, B og C.



Figur 2.2. Usikkerhed på månedskorrektionsfaktor som funktion af antal nedbørdøgn. Idealiseret idet der er antaget konstant nedbørmængde alle døgn.

3. Korrektionsprocenter for 1999

For 1999 er der på månedsbasis beregnet foreløbige tal af sneprocenter, korrektionsprocenter og usikkerhed på korrektionsprocent for de 12 automatiske klimastationer. Korrektionsprocenterne er beregnet for hver af læklasserne A, B og C. For hver klasse er benyttet fastholdte værdier af læindeks: 2.5 for C-stationer, 12.0 for B-stationer og 24.5 for A-stationer.

Sne udgør normalt omkring 10% af den målte årsnedbør (Allerup og Madsen, 1979) og falder i tidsrummet november-april samt undtagelsesvis i maj og oktober. Årlige værdier af sneprocent i tabel 3.1 er fremkommet ved at vægte sneprocenten de enkelte måneder med den målte nedbørmængde, idet beregning af et simpelt gennemsnit ville resultere i forkerte resultater.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Året
20209	8	8	26	2	0	0	0	0	0	0	24	18	5
20501	9	14	25	14	0	0	0	0	0	0	32	13	9
21061	10	15	24	5	0	0	0	0	0	0	16	11	6
22231	17	25	23	18	0	0	0	0	0	0	12	18	8
24381	7	18	15	6	0	0	0	0	0	0	20	5	5
25271	11	27	13	4	0	0	0	0	0	0	9	7	6
26401	12	18	8	3	0	0	0	0	0	0	13	8	5
28281	23	24	17	0	0	0	0	0	0	0	9	10	7
29451	19	25	15	15	0	0	0	0	0	0	14	8	6
30421	24	35	24	15	0	0	0	0	0	0	5	18	11
31351	21	23	9	12	0	0	0	0	0	0	-	-	6
32082	28	33	23	15	0	0	0	0	0	0	21	16	12

Tabel 3.1. Procent af målt nedbør faldet som sne 1999 ved automatiske klimastationer. Med fed kursiv er markeret middeltal, der er baseret på ukomplette data.

Korrektionsprocenter for A-, B- og C-stationer er vist i tabel 3.2. Det giver ingen mening at beregne korrektionsfaktor inkl. wetting for perioden ud fra middelværdien af månedstallene, da enkeltstående måneder med meget lidt nedbør og stor mængde wetting vil få alt for stor indvirkning på det endelige resultat. Derfor er års- og månedsgennemsnit beregnet ved at vægte månedsværdierne med nedbørmængden. Vindens indflydelse på nedbørmålingerne, den såkaldte vindeffekt, der er den betydeligste systematiske fejl, er meget større for sne end for regn jfr. Allerup, Madsen og Vejen (1997). Dette er hovedårsagen til, at korrektionsprocenterne er så høje i vintermånederne.

I 1999 udgjorde sne på årsbasis 5-12% af den målte nedbør. Specielt for de enkelte måneder har der været ret store regionale forskelle. F.eks. var sneprocenten i februar 35% ved station 30421 (Ledborg Allé), men kun 8% ved station 20209 (Tylstrup). Korrektionsprocenten afspejler disse forskelle, den var for de nævnte stationer hhv. 70% og 37% (for B-stationer). Sneprocenten i april var også ujævnt fordelt. Det afspejler det forhold, at der f.eks. midt i måneden faldt slud og sne, stedvis i form af kraftige byger, hvilket som konsekvens betød forskellig mængde sne i forhold til månedens totale nedbørmængde. Overraskende er det så måske, at station 28281 (Årslev) have en høj korrektionsprocent, men en sneprocent på 0%.

A-stat	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Året
20209	21	28	33	16	13	6	7	11	10	9	23	24	14
20501	17	19	23	22	12	6	8	9	9	11	25	13	14
21061	28	34	39	22	13	9	13	8	8	12	31	27	19
22231	27	39	29	22	13	7	9	6	9	11	18	27	16
24381	17	17	18	22	11	8	8	7	6	6	17	14	12
25271	18	21	15	21	12	9	7	11	5	7	22	14	12
26401	20	22	14	23	11	9	11	11	7	9	26	17	14
28281	27	44	30	43	19	9	14	11	13	13	31	21	19
29451	30	38	27	40	12	9	10	10	14	13	43	25	19
30421	30	51	30	39	15	10	19	10	11	13	34	30	23
31351	34	35	21	41	14	9	11	14	16	20	-	-	19
32082	35	47	39	50	18	12	15	11	9	11	24	28	25
I ALT	25	30	25	29	13	8	10	9	8	10	25	21	16

B-stat	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Året
20209	30	37	42	19	15	7	8	12	12	10	31	33	17
20501	23	24	30	26	14	7	9	10	10	13	33	17	17
21061	42	44	56	28	17	11	15	9	10	15	39	39	26
22231	38	55	42	27	15	9	10	7	10	13	25	39	21
24381	22	22	23	27	12	9	8	8	7	8	25	18	15
25271	25	29	20	24	13	11	8	11	6	9	27	20	15
26401	26	29	17	26	12	10	12	12	8	12	32	23	18
28281	37	60	40	46	21	10	15	12	15	16	37	29	24
29451	41	54	35	48	14	11	12	12	16	16	50	35	24
30421	43	78	40	49	18	11	20	11	12	15	40	42	30
31351	47	47	28	46	16	11	12	18	20	23	-	-	25
32082	51	70	54	74	21	13	16	13	11	14	31	41	34
I ALT	34	42	34	36	16	10	11	11	10	12	32	29	21

C-stat	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Året
20209	37	44	49	21	17	8	9	14	13	12	35	40	20
20501	27	28	37	29	15	7	10	11	11	14	38	21	20
21061	54	51	74	33	20	13	17	10	11	17	46	47	31
22231	46	66	52	33	16	10	11	8	12	15	29	48	25
24381	26	28	27	30	13	10	9	9	8	9	28	22	17
25271	30	35	22	26	14	12	8	11	7	10	31	24	18
26401	32	36	19	28	13	11	13	13	9	13	38	28	21
28281	47	75	49	48	23	11	17	13	16	17	43	37	29
29451	51	67	42	55	16	13	13	14	18	19	55	43	29
30421	54	90	48	58	20	12	21	13	13	17	45	53	36
31351	60	58	34	51	17	12	13	21	22	26	-	-	29
32082	65	91	67	98	25	15	17	14	12	16	37	48	42
I ALT	43	51	41	43	17	11	12	12	11	14	37	35	25

Tabel 3.2. Korrektionsprocent inkl. wetting for A-, B- og C-stationer 1999 for automatiske klimastationer. Korrektionsprocenten gælder for den danske Hellmann måler uden skærm. Med fed kursiv er markeret værdier, der er baseret på data med begrænsede mangler.

Det hænger sammen med, at der faldt mindre mængde nedbør på Fyn, og iøvrigt også i Vest- og Sydsjælland samt Lolland/Falster. Og da nedbøren faldt, blæste det ofte forholdsvis mere end det gjorde, da nedbøren faldt på nogle andre nedbørdøgn i den øvrige del af landet. Mindre mængde nedbør betyder også, at wettingtabet får relativt større indflydelse på den månedlige korrektionsprocent. Netop de nævnte landsdele fik mindste nedbørmængde i april 1999, og wettingtabet er en væsentlig årsag til, at korrektionsprocenterne var højere her end ved de jyske stationer.

Wettingtab er en systematisk fejl, som er forårsaget af overfladeadhesion fra den indvendige side af nedbørmålerens tragt, snekors og målekande. Derved bliver en mindre del af nedbøren tilbageholdt og fordamper helt eller delvis. Fejlen medfører et nedbørdeficit på ca. 5% på årsbasis. Da wetting er delvis uafhængig af nedbørmængden, vil måneder med ringe mængde nedbør blive behæftet med relativt store wettingfejl, hvilket giver sig udslag i høje korrektionsprocenter. Korrektionsprocenten for den rene vindeffekt, hvor wetting er udeladt, vil være noget mindre.

	type	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	året
1999	A	24.7	30.3	25.1	28.6	13.3	8.1	9.9	9.2	8.3	10.2	24.7	20.6	16.4
	B	34.5	42.0	33.8	36.0	15.6	9.6	11.1	10.8	9.8	12.2	31.8	28.8	21.4
	C	43.1	51.1	41.3	42.6	17.3	10.7	12.0	12.0	10.9	13.8	36.6	35.0	25.3
standard	A	29	30	26	19	11	9	8	8	9	10	17	26	16
	B	41	42	35	24	13	11	10	10	11	14	23	37	21
	C	53	53	45	29	16	13	12	12	13	17	29	48	27

Tabel 3.3. Korrektionsprocenter inkl. wetting for A-, B- og C-stationer beregnet ud fra målinger 1989-1999 for stationerne 20209-30421 samt standardværdier for perioden 1961-90 (Allerup, Madsen og Vejen, 1998). Værdierne gælder for den danske Hellmann måler uden skærm. Med fed kursiv er markeret værdier, der er baseret på data med begrænsede mangler.

Tabel 3.3 viser den samlede korrektionsprocent på måneds- og årsbasis for de 12 stationer. Den samlede nedbørkorrektion, der omfatter vindeffekt og wettingtab, har omtrent samme størrelse som for standardværdierne 1961-1990 (Allerup, Madsen og Vejen, 1998). For de enkelte måneder er der dog nogle mindre forskelle, specielt i vintermånederne december og januar, men også i april. Forskellene i halvåret maj-oktober er dog ubetydelige.

Af det samlede antal manuelle nedbørstationer i Danmark står omkring 14% i åbent terræn (C-stationer), mens 59% står i moderat læ (B-stationer) og 23% er velbeskyttede for vinden (A-stationer). Det betyder, at der årligt falder ca. 20% mere nedbør, end der rent faktisk bliver målt, og dette med store udsving fra år til år afhængig af, hvor stor en del af nedbøren, der er faldet som sne.

3.1 Kontrol af korrektionsprocenter

Der er lavet kvalitetskontrol på de månedlige korrektionsprocenter, som går ud på at vurdere datagrundlaget for beregningerne. Det er specielt vurderinger af dataudfald, der ligger til grund for denne kontrol. Hvis der mangler data for en periode, hvor der er faldet væsentlige mængder nedbør, er den beregnede korrektionsprocent efter alt at dømme ikke repræsentativ for den pågældende station. Det har således ikke været muligt at beregne en månedskorre-

tion for station 31351 for november og december. De manglende værdier kan erstattes med standardværdier (Allerup, Madsen og Vejen, 1998) eller værdier fra den nærmeste region.

Hvis der har været dataudfald i en periode med tørvejr, accepteres korrektionsprocenten. Hvis dataudfaldet har været i en periode med begrænsede nedbørmængder, analyseres de daglige korrektionsværdier samt vindhastighed, temperatur, regnintensitet og sneprocent for at vurdere, om dataudfaldet har haft væsentlig betydning for månedsestimatet. Det vil f.eks. være tilfældet, hvis der har været kraftig vind i nedbørperioden, og nedbøren er faldet som sne.

3.2 Usikkerhed

Det er af betydning for en vurdering af usikkerheden på korrektionsberegningerne, om og i givet fald hvor ofte T, I og V har ligget udenfor korrektionsmodellens gyldighedsområde. I 1999 lå V udenfor dette område i 0.77% af døgn med nedbør ved de 12 klimastationer, mens T opfyldte betingelserne i alle tilfælde. Værdier af I over grænsen på 15 mm/time har kun marginal betydning for korrektionens størrelse. Det har størst betydning, om V overskrider grænserne, idet I og T kun har sekundær betydning for korrektionens størrelse.

Det er vanskeligt at vurdere effekten af, at det i disse 0.77% af samtlige døgn ikke var muligt at beregne en korrektionsfaktor "fuldt ud", fordi korrektioner ved V over modelgrænserne er meget usikre, og fordi denne usikkerhed vokser med stigende værdi af V. Der er dog ingen tvivl om, at det er bedre at korrigere med $V = \text{modelgrænsen}$ fremfor at lade være med at korrigere.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
20209	5	5	4	4	4	4	6	5	5	4	4	4
20501	4	4	3	5	6	4	10	5	4	4	4	4
21061	4	4	3	5	6	4	5	5	4	5	4	3
22231	3	4	4	5	5	4	6	4	4	5	5	4
24381	3	4	4	4	6	4	5	5	5	5	4	4
25271	4	4	4	5	5	4	5	4	4	5	6	4
26401	3	3	4	5	5	4	4	4	6	4	4	4
28281	4	5	4	6	6	4	5	5	4	4	5	3
29451	4	4	5	5	5	5	5	4	5	4	5	4
30421	4	4	5	4	5	4	4	5	6	5	6	4
31351	4	4	5	5	5	5	5	5	5	4	-	-
32082	4	4	5	5	5	4	5	5	6	4	4	4

Tabel 3.4. Usikkerhed i pct. på månedskorrektionsfaktor for automatiske klimastationer.

Tabel 3.4 viser usikkerheden på de månedlige korrektionsfaktorer k_{mdr} , og gælder indenfor 50 km's afstand fra stationen. Faktisk er usikkerheden mindre ved selve stationen. Hvis korrektionsfaktoren f.eks. har været 2.35 og usikkerheden været $\pm 5\%$ på 95% konfidensniveau, så ligger k_{mdr} med 95% sikkerhed i intervallet 2.30-2.40. Det svarer til, at korrektionsprocenten er 135 og varierer mellem 130 og 140. Hvis der var blevet målt f.eks. 50 mm, ville den korrigerede mængde være 117.5 mm og usikkerhedsintervallet være 111.6-123.4 mm.

4. Konklusion

Der er blevet beregnet korrektionsprocenter for 1999 måned for måned på basis af målinger ved 12 automatiske klimastationer, der er jævnt fordelt i Danmark. Korrektionerne justerer for vindens effekt på den målte nedbørmængde og for wettingtabet, og gælder for “den uskærmede danske Hellmann måler”. Resultaterne kan kun benyttes for målere af denne type. Korrektionsprocenterne er beregnet for både A-stationer (placeret velbeskyttede for vinden), B-stationer (moderat læ) og C-stationer (placeret i åbent terræn).

Korrektionsprocenten for hele 1999 gældende for C-stationer er beregnet til 25.2%, mens procenten for A- og B-stationer er hhv. 16.4% og 22.3%. Omkring 14% af de manuelle nedbørstationer i Danmark står i åbent terræn (C-stationer), mens 59% står i moderat læ (B-stationer) og 23% er velbeskyttede for vinden (A-stationer).

Korrektionsprocenten i vintermånederne har været på 35-50% og om sommeren på 11-12%. Specielt i vintermåned med sne kan korrektionerne blive store, særlig hvis det også blæser, idet vindeffekten på sne er betydeligt større end for regn. Blandt andet derfor er det også beregnet, hvor stor en del af nedbøren der er faldet som sne. I 1999 udgjorde sne på årsbasis 5-12% af den målte nedbør, men for de enkelte måneder har der været ret store regionale forskelle.

Usikkerhed på de månedlige korrektionsfaktorer afhængig af antal nedbørdøgn og variationen i nedbørmængde, og har i 1999 ligger mellem 3 og 10%.

De beregnede korrektionsprocenter er foreløbige tal, idet der resterer en færdigoptimering af visse beregningsmetoder. I Technical Report No. 00-20 vil de færdige tal, der p.t. betragtes som det bedste bud på korrektionsprocenter, blive præsenteret.

På et så vanskeligt felt som “korrektion af nedbør for fejlkilder” er der nok ingen tvivl om, at der fremover vil kunne ske forbedringer af metoderne, på nogle punkter måske betydelige. Dette gælder både med hensyn til selve beregningsmetoderne og til den måde, beregningerne er sat i system. Et oplagt mål for en videreudbygning af systemet vil være at gøre det i stand til at beregne korrektioner i vilkårlige punkter ved interpolation fremfor at være låst fast til bestemte stationer. Det vil gøre brugen af korrektionerne mindre følsom overfor stationsvalg, når der skal korrigeres nedbørdata fra vilkårlige steder i landet.

5. Referenceliste

Allerup, P., og Madsen, H., 1979. Accuracy of Point Precipitation Measurements. Danish Meteorological Institute, Climatological Papers, No. 5., København 1979, 84p.

Allerup, P., og Madsen, H., 1980. Accuracy of point precipitation measurements. Nordic Hydrology, 11, p. 57-70.

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, Tech. Rep. No. 98-10, Copenhagen.

Allerup, P., Madsen, H., and Vejen, F., 2000. Correction of precipitation based on off-site weather information. *Atm. Res.*, Vol. 53, 231-250.

Frich, P., Rosenørn, S., Madsen, H., og Jensen, J. J., 1997. Observed Precipitation in Denmark, 1961-90. Danish Meteorological Institute, Techn. Rep. No. 97-8, Copenhagen.

Førland, E. J., Allerup, P., Dahlström, B., Elomaa, E., Jónsson, T., Madsen, H., Perälä, J., Rissanen, P., Vedin, H., og Vejen, F., 1996. Manual for Operational Correction of Nordic Precipitation Data, Nordic Working Group on Precipitation, Det Norske Meteorologiske Institut, Report Nr. 24/96.

Petersen, E. L., Frandsen, S., Hedegaard, K. and Troen, I., 1981. Wind atlas for Denmark. Risø, Denmark.

Sevruk, B., 1988. Wind Speed Estimation at Precipitation Gauge Orifice Level. WMO/TD-No. 222.

Vejen, F., P. Allerup og H. Madsen, 1998. Korrektion for fejlkilder af daglige nedbørmålinger i Danmark. Danish Meteorological Institute, Tech. Rep. No. 98-9, Copenhagen.

Vejen, F., P. Allerup og H. Madsen, 1999. Korrektion for fejlkilder af daglige nedbørmålinger i Danmark. Resultater: 1989-1997. Danish Meteorological Institute, Tech. Rep. No. 99-7, Copenhagen.