

DANMARKS METEOROLOGISKE INSTITUT
TEKNISK RAPPORT

02-08

Korrektion for fejlkilder på måling af nedbør
Korrektionsprocenter ved udvalgte stationer i 2001

Flemming Vejen



Copenhagen 2002

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 2001	11
3.1 Kontrol af korrektionsprocenter	14
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 2001. Disse korrektionsprocenter er beregnet for tre forskellige grader af læ: velbeskyttede, moderat beskyttede og ubeskyttede stationer (såkaldte A-, B- og C-stationer). Endvidere er der en kort gennemgang af, hvordan korrektionerne er beregnet.

Idet nedbørmålinger i Danmark i hovedsagen bliver udført med “den danske Hellmann måler uden skærm”, gælder korrektionsprocenterne for denne måler.

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):

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

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 (°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 :

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

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
p_i	0.055	0.057	0.087	0.140	0.201	0.231	0.169	0.060

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 2001 lå V indenfor modelgrænserne i 99.44% af døgn med nedbør, mens T opfyldte betingelserne i alle tilfælde.

2.4 Beregning af månedskorrektionsfaktor

Månedskorrektionsfaktoren $k_{m\text{dr}}$ 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:

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

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, $k_{m\text{dr}} = \sum P_c / \sum P_m$.

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's korrektionsfaktor, og for meget tørre måneder bliver månedskorrektionsfaktoren forholdsvis stor.

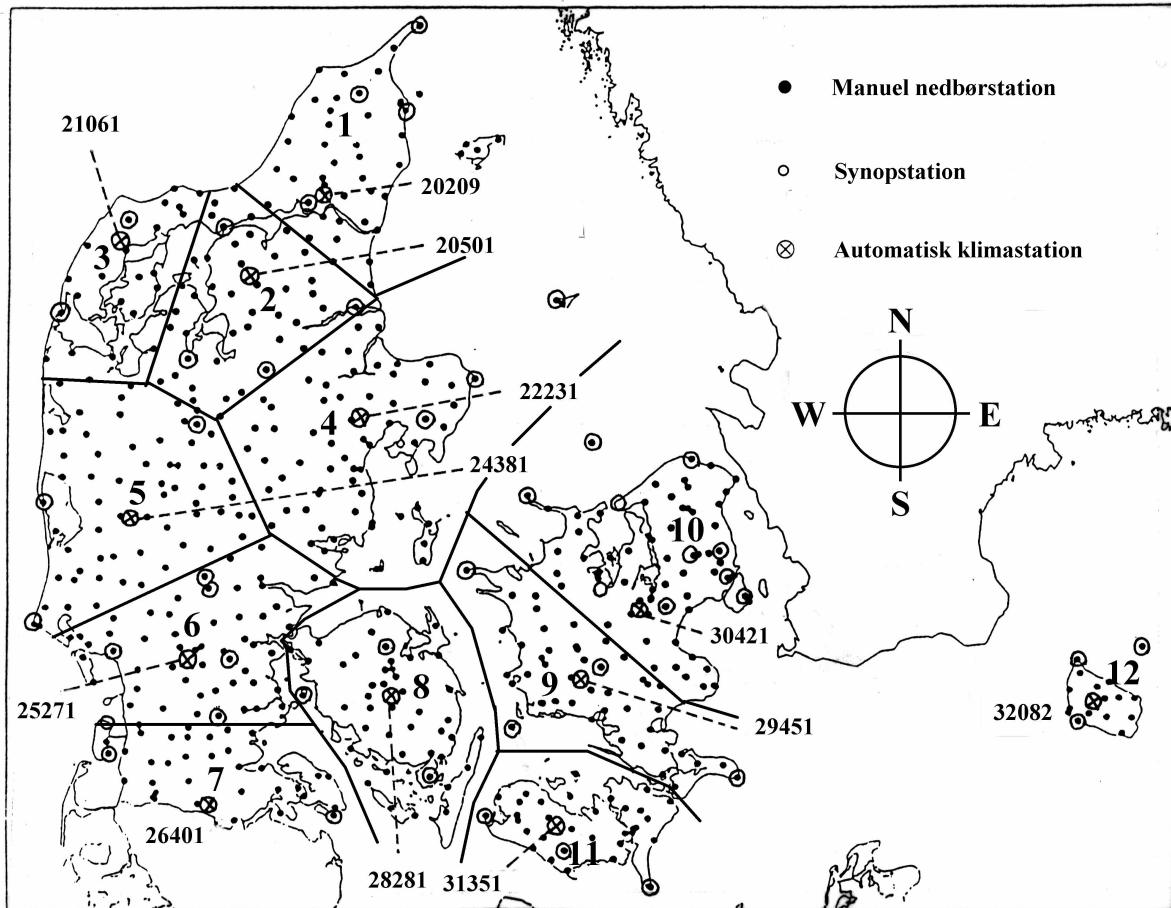
2.5 Den praktiske beregning af korrektionen

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. En række automatiske vejrstationer giver både V, T, I og nedbørmængde en gang i timen.

Beregningerne er foretaget for 12 automatiske vejrstationer, der er valgt således, at landet er opdelt i regioner med hver sin station i centrum (figur 2.1) ved opdeling i Thiessen Polygoner. Tabel 2.7 viser en liste over vejrstationerne. Såfremt nedbørarten ikke bliver observeret ved stationen, hentes der observationer heraf fra nærliggende vejrstationer.

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 vejrstationer er vist.

nr	navn	højde	lætype	η	zone	N	E
20209	Tylstrup II	13	C	3	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	4	32U	6147.540	507.220
26401	Store Jyndevad II	15	B	5	32U	6083.740	507.950
28281	Årslev II	49	C	2	32U	6130.290	591.460
29451	Flakkebjerg II	33	C	1	32U	6133.870	651.630
30421	Ledreborg Allé II	46	C	4	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

Tabel 2.7. Udvalgte stationsparametre for automatiske vejrstationer: højde over havet (m), lætype er defineret i tabel 2.6, vægtet middelhøjdevinkel η ved nedbørmåler og UTM-kordinater.

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 vejrstation 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 den månedlige korrektionsfaktor er højst $\pm 5\%$, 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 de automatiske vejrstationer, 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 ruhed 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:

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

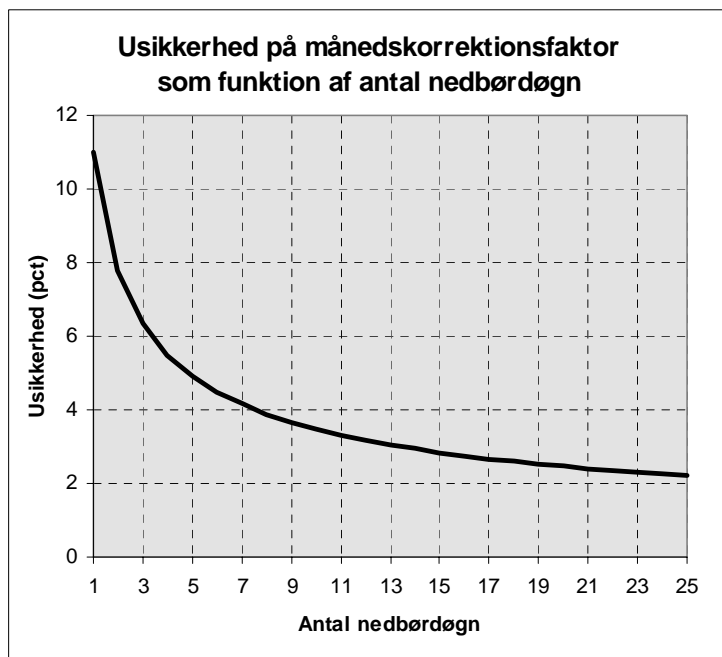
Dette er baseret på "en gange spredning" grænser $\pm 1 \times \sigma$ (68%). For en standardmåned med 15 nedbørdøgn og 6 mm pr. nedbørdøgn bliver den samlede stokastiske og spatiale usikkerhed ved $\pm 1 \times \sigma$ (68%) følgende:

For en måned:

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

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 2001

For 2001 er der på månedsbasis beregnet sneprocenter, korrektionsprocenter og usikkerhed på korrektionsprocent for de 12 automatiske vejrstationer. 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	17	68	25	3	0	0	0	0	0	0	9	49	13
20501	12	50	16	5	0	0	0	0	0	0	13	51	12
21061	13	39	15	4	0	0	0	0	0	0	4	40	7
22231	7	41	37	3	0	0	0	0	0	0	6	65	12
24381	5	33	11	11	0	0	0	0	0	0	3	31	7
25271	5	19	28	12	0	0	0	0	0	0	3	31	7
26401	9	31	43	11	0	0	0	0	0	0	2	36	10
28281	5	32	51	1	0	0	0	0	0	0	1	39	9
29451	8	25	45	5	0	0	0	0	0	0	3	59	8
30421	11	40	57	5	0	0	0	0	0	0	6	53	10
31351	14	12	28	2	0	0	0	0	0	0	4	31	5
32082	15	52	49	3	0	0	0	0	0	0	6	59	12
Ialt	10	38	33	5	0	0	0	0	0	0	5	45	9

Tabel 3.1. Procent af målt nedbør faldet som sne 2001 ved automatiske vejrstationer.

I 2001 udgjorde sne på årsbasis 5-13% af den målte nedbør, eller 9% for året for alle stationer, hvilket kun er en anelse under, hvad der normalt kan forventes. I februar og marts og især i december kom der en del sne. Korrektionsprocenterne afspejler disse forskelle, idet den for B-stationer lå på 60-70% i februar, marts og december. De enkelte måneder har der tillige været ret store regionale forskelle.

Der var blivende snedække i omtrent en uge i såvel starten som slutningen af februar, og den 11. kom der sne fulgt af regn. I starten af marts kom der igen sne, især i den østlige og nordlige del af landet, og der var snedække nogle dage. Et regulært snevejr den 18-19. Gav især den sydlige og østlige del af landet stedvis høje sneprocenter, og den 29. kom der igen sne. I april kom der sne ad flere omgange, nemlig den 12., 14. og 15., faktisk med kortvarigt snedække nogle steder. Det gav forholdsvis høje sneprocenter, særlig i Jylland. Endelig gjorde december sig bemærket ved udpræget vintervejr i de sidste 10 dage, flere steder med ret store snemængder med et snedække på op omkring 25 cm.

Korrektionsprocenter for A-, B- og C-stationer er vist i tabel 3.3. Samlede procenter på års- og månedsbasis er beregnet ved at vægte de enkelte månedsværdier med den tilsvarende

nedbørmængde. Det er gjort for at forhindre, at enkeltstående måneder med meget lidt nedbør og stor mængde wetting får for stor indvirkning på det samlede resultat.

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 generelt er så høje i vintermånederne.

I måneder med forholdsvis små nedbørmængder, eller hvor nedbøren er fordelt over mange døgn, vil en forholdsvis stort del af nedbøren gå tabt som wetting. Wettingtabet er en systematisk fejl, som er forårsaget af overfladeadhesion fra den indvendige side af nedbørmåle-rens tragt, snekors og målekande. Derved bliver en mindre del af nedbøren tilbageholdt og fordamper helt eller delvis. På årsbasis går ca. 5% af nedbørmængden tabt på denne måde.

Da wetting er delvis uafhængig af nedbørmængden, vil måneder med ringe mængde nedbør blive behæftet med relativt store wettingfejl, hvilket giver sig udslag i forholdsvis høje korrektionsprocenter. Korrektionsprocenten for den rene vindeffekt, hvor wetting er udeladt, vil være noget mindre. Dette har mere eller mindre været tilfældet ved nogle stationer, specielt i sommermånederne.

Tabel 3.2 viser den samlede korrektionsprocent på måneds- og årsbasis for stationerne 20209-32082. Den samlede nedbørkorrektion, der omfatter vindeffekt og wettingtab, har været lidt mindre end standardværdierne 1961-1990 (Allerup, Madsen og Vejen, 1998).

	type	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	året
2001	A	19	39	46	19	14	12	11	8	9	12	16	39	18
	B	26	59	70	22	15	14	12	9	10	15	19	59	24
	C	30	78	90	26	17	15	13	10	12	17	23	75	29
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 3.2. Korrektionsprocenter inkl. wetting for A-, B- og C-stationer beregnet ud fra målinger 2001 for stationerne 20209-32082 samt standardværdier for perioden 1961-90 (Allerup, Madsen og Vejen, 1998). Værdierne gælder for den danske Hellmann måler uden skærm.

Taget måned for måned er der dog mindre forskelle. For februar, marts og december har korrektionerne været noget større end standardværdierne som følge af en del snedebør, mens værdierne i sommermånederne omtrent har svaret til standardtallene. På årsbasis er korrektionerne ca. 2% større end standardværdierne.

Af det samlede antal manuelle nedbørstationer i Danmark står omkring 14% i åbent terræn (C-stationer), mens hovedparten på 59% står i moderat læ (B-stationer) og 23% er velbeskyttede for vinden (A-stationer). Det betyder, at hvis korrektionsprocenten for B-stationer for de 12 stationer i denne undersøgelse bliver taget som retvisende for nedbørforholdene ved de manuelle stationer, kan det groft taget siges, at der i år 2001 er faldet ca. 21% mere nedbør, end der er blevet målt.

A-stat	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Året
20209	19	29	23	14	8	9	7	11	11	13	19	36	16
20501	14	41	18	14	11	9	11	8	8	9	9	32	15
21061	27	66	29	19	13	17	6	12	12	13	20	46	19
22231	20	37	43	14	10	15	11	9	9	12	15	38	18
24381	15	33	19	21	12	11	14	8	8	9	13	20	14
25271	15	25	35	21	17	12	8	6	8	10	13	24	14
26401	17	33	49	23	18	12	12	8	8	13	13	38	18
28281	18	38	65	20	13	15	13	7	10	16	17	42	20
29451	18	41	77	22	17	13	13	5	9	17	16	57	19
30421	19	52	72	22	16	13	17	8	8	18	20	46	20
31351	19	37	86	22	17	14	12	7	7	11	18	31	17
32082	24	48	83	24	19	12	19	10	8	13	18	69	24
I ALT	19	39	46	19	14	12	11	8	9	12	16	39	17.9

B-stat	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Året
20209	25	44	33	17	9	10	9	13	13	16	24	51	21
20501	19	60	22	17	12	11	12	9	9	11	15	44	19
21061	37	106	40	24	15	20	7	15	15	17	25	72	27
22231	26	57	64	17	12	16	12	10	10	14	18	59	24
24381	18	49	22	26	13	13	15	9	9	11	16	31	18
25271	20	40	49	26	19	14	9	7	9	12	17	34	19
26401	22	49	72	27	20	14	13	9	9	16	16	56	24
28281	23	57	100	21	15	16	14	8	12	19	20	60	27
29451	25	65	120	27	19	15	14	6	11	20	20	85	26
30421	26	81	107	25	18	15	19	9	9	22	24	66	27
31351	43	55	140	25	18	15	14	8	8	13	21	49	24
32082	34	73	141	28	21	14	21	12	11	16	23	111	34
I ALT	26	59	70	22	15	14	12	9	10	15	19	59	24.2

C-stat	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Året
20209	31	58	41	19	9	12	9	15	14	19	29	63	25
20501	22	77	28	19	13	12	13	10	10	12	17	56	23
21061	46	140	50	28	17	22	8	17	17	20	30	98	33
22231	32	77	85	20	13	18	13	11	12	15	21	77	30
24381	21	64	25	30	14	14	16	10	10	13	18	38	22
25271	23	53	61	30	20	15	10	8	10	13	19	42	22
26401	25	64	93	31	22	15	14	11	10	19	18	73	29
28281	26	74	136	23	16	18	15	9	14	21	22	76	33
29451	30	80	165	31	21	16	15	7	12	22	23	111	32
30421	30	109	141	27	20	16	20	11	10	25	28	84	33
31351	30	69	160	27	20	17	16	8	9	15	24	62	26
32082	41	96	180	31	23	15	23	14	12	19	28	139	42
I ALT	30	78	90	26	17	15	13	10	12	17	23	75	29.3

Table 3.3. Korrektionsprocent inkl. wetting for A-, B- og C-stationer 2001 for automatiske vejrstationer. Korrektionsprocenten gælder for den danske Hellmann måler uden skærm.

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.

Dataudfald i perioder med tørvejr ignoreres, da det ingen indvirkning har på korrektionsprocenten. Ved dataudfaldet i perioder med små 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 2001 lå V udenfor dette område i 0.56% af døgn med nedbør ved de 12 automatiske vejstationer, mens T opfyldte betingelserne i alle tilfælde. Værdier af $I > 15 \text{ mm/time}$ har kun marginal betydning for korrektionens størrelse. Det har størst betydning, om V overskrider grænserne, da I og T kun har sekundær betydning for korrektionens størrelse.

Det er vanskeligt at vurdere effekten af, at det i disse 0.56% 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.

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.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
20209	5	4	6	4	6	6	6	5	4	5	4	4
20501	4	5	4	4	6	6	6	4	4	5	5	5
21061	4	5	5	4	6	4	6	5	4	4	4	4
22231	5	5	5	5	6	4	5	4	4	4	4	4
24381	4	5	5	4	5	4	5	4	3	4	4	4
25271	4	5	4	4	5	4	5	4	3	4	4	4
26401	4	4	4	4	5	4	5	4	4	4	4	4
28281	4	5	4	5	5	5	6	4	4	4	4	4
29451	5	5	4	4	6	6	6	5	4	5	4	5
30421	5	5	4	5	5	5	6	5	4	5	4	4
31351	-	6	4	5	7	6	5	5	4	6	4	4
32082	5	5	4	4	5	4	6	4	4	5	4	4

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

4. Konklusion

Der er blevet beregnet korrektionsprocenter for 2001 måned for måned på basis af målinger ved 12 automatiske vejrstationer, 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 2001 gældende for C-stationer er beregnet til 29.3%, mens procenten for A- og B-stationer er hhv. 17.9% og 24.2%. 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 vinterhalvåret har for B-stationer som helhed været på 15-70% og i sommerhalvåret på 10-15%. Specielt i vintermåneder 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 2001 udgjorde sne på årsbasis 5-13% af den målte nedbør, hvilket er nær normalen på omkring 10%. De enkelte måneder har der været ret store regionale forskelle.

Usikkerheden på de månedlige korrektionsfaktorer afhænger af antal nedbørdøgn og variationen i nedbørmængde, og har i 2001 varieret omkring 5% i de enkelte måneder.

På et så vanskeligt felt som “korrektion af nedbør for fejkilder” 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.