

Betydning af instrumentskift ved overgang fra manuel til automatisk måling af nedbør

DMI-rapport 21- 38

Flemming Vejen, Torben Schmith, Michael Scharling og Henrik Vedel



Kolofon

Serietitel	DMI-rapport 21-38
Titel	Betydning af instrumentskift ved overgang fra manuel til automatisk måling af nedbør
Undertitel	
Forfatter(e)	Flemming Vejen, Torben Schmith, Michael Scharling og Henrik Vedel
Andre bidragsydere	
Ansvarlig institution	Danmarks Meteorologiske Institut
Sprog	Dansk
Emneord	Pluvio, Hellmann, Observeret nedbør, korrigeret nedbør, målerskift
URL	https://www.dmi.dk/publikationer/
ISSN	2445-9127
Versionsdato	15-3-2021
Link til hjemmeside	www.dmi.dk
Copyright	Danmarks Meteorologiske Institut

Indhold

1	Abstract	4
2	Resumé	4
3	Introduktion	4
1	Nedbørmålere, datagrundlag og kvalitetssikring	5
3.1	Nedbørmålere	5
3.2	Kontrol af metadata	6
3.3	Kontrol af observationer	7
4	Analysemetode	7
5	Resultater	8
5.1	Analyse af daglige værdier af målt og korrigeret nedbør for regn, blandet nedbør og sne	8
5.2	Analyse af månedlige og samlede værdier af målt og korrigeret nedbør	9
6	Sammenfatning	14
7	Referencer	15
8	Tidligere rapporter	16

1 Abstract

2 Resumé

I denne rapport undersøges betydningen af et skift fra manuel til automatisk måling af nedbør for observeret og korrigeret nedbør. Undersøgelsen er baseret på parallelle målinger af nedbør med den manuelle Hellmann og den automatiske Pluvio²-måler, som har været opstillet ved et antal stationer i perioden december 2009 til december 2010. Formålet var at undersøge, i hvilken grad de to målere observerer samme mængde nedbør, og om korrigeret nedbør kan beregnes på samme måde for de to målere. Det er fundet, at for sne/slud måler Pluvio ca. 11 % mere nedbør end Hellmann, mens korrigeret snedebør er ca. 5 % højere end for Hellmann. Denne forskel kan hovedsagelig tilskrives generelle og mere specifikke tekniske udfordringer ved måling af sne. For regn måler Pluvio ca. 2,3 % mere end Hellmann, men den korrigerede nedbør er ca. 2,2 % lavere for Pluvio i forhold til Hellmann. Forskellen i målt nedbør mellem Hellmann og Pluvio skyldes i hovedsagen, at Hellmann taber nedbør ved fordampning i modsætning Pluvio. Resultatet for korrigeret nedbør tyder på, at den model, der benyttes til korrektion af regn observeret med Pluvio, bør justeres, så den kan kompensere for den påviste forskel for regn mellem de to målere.

3 Introduktion

Instrumentskift er defineret som overgangen ved årsskiftet 2010/2011 fra det manuelle nedbørmålenetværk bestykket med Hellmann-målere til et automatisk målenetværk bestående af målere af typen Pluvio² (herefter kaldet Pluvio), Geonor og Rimco. Målt og korrigeret gridnedbør er baseret på data fra disse målere.

Hellmann-nettet blev endeligt nedlagt ved årsskiftet 2010/2011. De første Pluvio-stationer blev oprettet i december 2009. Der blev gennemført en 12,5 måneders overlapsperiode mellem det manuelle net og Pluvio 15/12-2009 til 1/1-2011. Ved 60 stationer blev der målt nedbør med Hellmann og Pluvio. Disse data åbner mulighed for at undersøge, om målerskiftet i sig selv har betydet en ændring i målt og korrigeret nedbør.

Korrektion af nedbør målt med Hellmann, Geonor og Rimco er veldokumentet og korrektionsmodel er udviklet i internationalt samarbejde (Førland et al, 1996, Allerup, Madsen, Vejen, 1997, Goodison, Louie, Yang (WMO), 1998). Pluvio blev først langt senere sendt på markedet og indgik ikke i dette samarbejde. Korrektionsforholdene for denne måler er derfor i princippet ukendte. Dog angav leverandøren i produktinformation for Pluvio (OTT, 2007) en målenøjagtighed på $\pm 5\%$ i forhold til Hellmann. Idet der ikke var forlydender om bias, er det hidtil antaget, at Pluvio kan korrigeres på samme måde som Hellmann-måleren. Ud fra resultatet af modelberegninger af vindflow omkring typiske nedbørmålere (Colli et al, 2018) kan der dog sås tvivl om, hvorvidt det er korrekt at korrigere Pluvio som Hellmann. Der er ikke fundet litteratur, der specifikt undersøger forskellen mellem Hellmann og Pluvio.

Formålet med undersøgelsen er at belyse de to målertypers evne til at måle nedbør for at fastslå, om korrigeret nedbør for Pluvio kan beregnes ved brug af de samme empiriske konstanter i korrektionsmodellen som for Hellmann.

Undersøgelsen af instrumentskift har to spor for de to målere: (1) der foretages en direkte sammenligning baseret på observeret nedbør, (2) der analyseres korrigeret nedbør beregnet med den metodik, der benyttes ved leverancer til NOVANA.

Idet vi sammenligner korrigeret nedbør på stationsniveau, som bruges i den efterfølgende beregning af korrigeret gridnedbør til NOVANA ved DMI, hænger nærværende rapport sammen med Vejen, Vedel og Scharling (2021) om korrektioner. Generelt er der større tiltro til korrektion af Geonor- og Rimco-målere (jfr. WMO-projekt, 1998), som også benyttes i DMI's automatiske nedbørmålenet. Derfor er en undersøgelse af effekten af instrumentskift til disse målere inkl. korrektion af observationerne ikke inkluderet i rapportens analyser, og vi koncentrerer os i første omgang om at sammenligne Hellmann og Pluvio.

1 Nedbørmålere, datagrundlag og kvalitetssikring

Der er målt nedbør med Hellmann og Pluvio ved 60 lokaliteter i perioden 15/12-2009 til 1/1-2011. Pluvio-måleren er så vidt muligt placeret tæt på Hellmann-måleren, og det er tilstræbt at placere de to målere på samme matrikel, men der er undtagelser fra dette. Hver af de to målere ved en given lokalitet er registreret som en selvstændig nedbørstation og kaldes herefter et "stationspar". Figur 1 viser placeringen af de 60 stationspar. Der er foretaget kvalitetssikring, der er opdelt i kontrol af hhv. metadata og observationer.



Figur 1. Placeringen af de 60 nedbørstationer (stationspar) med Hellmann- og Pluvio-målere. Kortmaterialet er fra GoogleEarth.

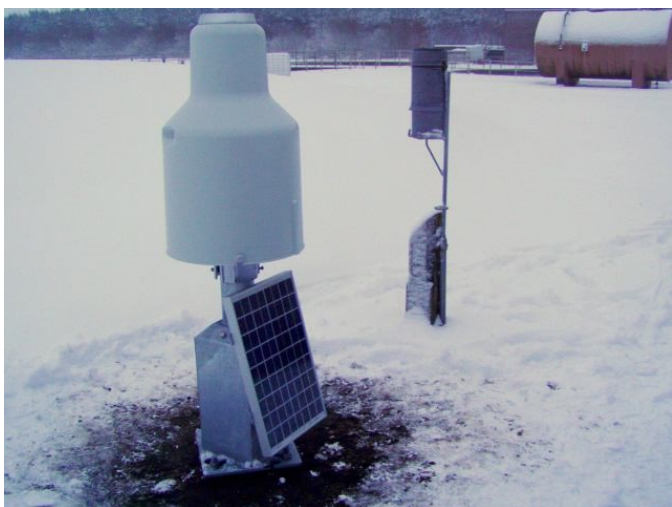
3.1 Nedbørmålere

Det korrekte navn for Hellmann-måleren (figur 2) er egentlig "den danske Hellmann-måler", men den benævnes for nemheds skyld Hellmann i hele rapporten. Der findes andre udgaver af Hellmann-målere, den tyske, polske og ungarnske Hellmann (Goodison, Louie, Yang (WMO), 1998), som adskiller sig fra den danske på nogle få, men afgørende punkter. Den danske er forsynet med et såkaldt snekors, som i vinterhalvåret er placeret inde i målerens overdel for at dæmpe den hvirvel, der ellers ville forhindre noget af sne nedbøren i at blive opsamlet af måleren.

Desuden er der monteret en såkaldt krave, der dækker samlingen mellem målerens over- og underdel. Kraven forhindrer, at vand via samlingen kan trænge ind og ned i målerens opsamlingsdel og blive målt med som et lille, men falsk bidrag til nedbøren, f.eks. når det regner og vindtrykket er stort.

Hellmann-måleren er manuel og skulle nominelt tømmes dagligt kl. 8 lokal tid, men afvigelser fra dette tidspunkt var almindelige, ligesom observationsperioder på to eller flere døgn kunne forekomme. Målingen foregik ved at tømme nedbøren over i et måleglas og herefter aflæse nedbørmængden i en opløsning på 0,1 mm.

I modsætning hertil er Pluvio-måleren fuldautomatisk (figur 2) og giver en præcist afgrænset observationsperiode. Måleren er sat til at observere nedbørmængden hvert 10. minut, hvorefter data straks sendes til DMI's database. Måleren er en såkaldt vejemåler, hvor målerens opsamlingsenhed i princippet er placeret på en vægt, som består af en avanceret vejecelle, der giver nedbørmængden i en opløsning på 0,01 mm. Måleren er forsynet med frostvæske, hvilket betyder, at fast nedbør som sne straks bliver fastholdt i måleren og ikke kan blæse op af den igen. En avanceret algoritme i måleren sørger for at kompensere for fordampningstab og filtrere falske nedbørsignaler fra. Sådanne kan skyldes urenheder, der lander i måleren, eller vibrationer fra vindpåvirkning.



Figur 2. Opstilling af Hellmann og Pluvio ved Ribe Rensningsanlæg. Bemærk det sydvendte solpanel, der sørger for opladning af batteri til strømforsyning. Set fra VSV den 6/1-2010.

3.2 Kontrol af metadata

Der er sat flg. metadatakrav til valg af stationspar for at sikre sammenlignelige data: (1) højst 12 m mellem målerne, (2) nær identiske læforhold (højdevinkler) i 8 kompasretninger, (3) læindeks ≤ 30 og målt ved begge målere. Der er udført en Students t-test af højdevinklerne for hvert stationspar. Stationspar med ikke-signifikante sæt højdevinkler er udeladt. Der er forkastet 4,1 % af data pga. krav 1, 14,1 % pga. krav 2 og 27,1 % pga. krav 3, i alt 45,3 % af data.

3.3 Kontrol af observationer

Der arbejdes med daglige værdier, da det er tidsopløsningen på Hellmann-data. Pluvio måler i 10-minuts opløsning, og der er hentet data i 1-times opløsning i DMI's database. Disse er aggregeret til døgnværdier. Hvis der mangler timeværdier i et døgn, forkastes stationsparret for det pågældende døgn.

Data fra stationspar er underkastet kvalitetssikring. Typiske fejl på Pluvio-måleren er tekniske fejl, der resulterer i nær kontinuerlige signaler, der ofte er urealistiske, eller ekstreme værdier. Typiske fejl på Hellmann-måleren er rapporteringsfejl såsom faktor 10 fejl og tastefejl. Sådanne data udelukkes fra den efterfølgende analyse.

Hellmann-måleren blev ikke altid tømt dagligt, og hvis en måling var akkumuleret over flere døgn, blev nedbøren i sin tid efterfølgende fordelt på de enkelte døgn ved interpolation baseret på nabostationer, hvilket kan have bidraget til mindre fejl. Selvom oplysninger om interpolation ikke er gemt digitalt, indgår interpolerede data i analysen, idet den samlede nedbørsum stadig er korrekt. Observationstidspunktet for Hellmann er nominelt kl. 8 lokaltid, men pga. variationer i tidspunkt for observation kan der forekomme forskelle i måleperioden mellem Hellmann og Pluvio. Dette introducerer en fejlkilde, der kan gøre sammenligning af daglige værdier vanskelig og usikker. Et ekstremt eksempel er fra stationsparret Hellmann nr. 2838550 og Pluvio nr. 543520 fra 7/6 og 8/6-2010. Hellmann måler hhv. 3,3 og 67,2 mm, mens Pluvio måler 34,1 og 35,1 mm.

Et sæt algoritmer tester data for graden af uoverensstemmelse, og ud fra flagmarkeringer er det manuelt bedømt, om data indeholder fejl, eller om årsagen kan være forskel i tidspunkt for observation eller andet. Stationspar, hvor forskel i nedbørmængde ikke skyldes fejl, men forskellig observationsperiode, bliver benyttet i analyserne trods den dermed introducerede usikkerhed.

Til vurdering af, hvorvidt antagelsen om korrektion af de to målere med samme model holder stik, anvendes databåde i en direkte sammenligning af målerne på basis af daglige værdier, og i analyser på længere tidsskala (månedsbasis og samlet for overlapsperioden).

4 Analysemetode

Alle punktnedbørdata korrigeres efter nuværende korrektionsmodel før analysen af betydningen af instrumentskift. Ud fra dette vil vi kunne se, om de korrektioner, der anvendes i NOVANA-produktet, giver anledning til inhomogeniteter, og i givet fald hvor store. I analyserne er alle kvalitetssikrede data medtaget uagtet evt. forskel i observationsperiode. Hellmann og Pluvio sammenlignes i første omgang på dagligt niveau. For at undgå, at forskel i måletidspunkt for de to målere genererer støj på dagligt niveau, der kan influere på det endelige resultat, analyseres der også akkumuleret nedbør hen over længere perioder på måneds- og årsbasis.

Analyserne foretages for sne, regn og blandet nedbør (sne, slud eller regn i løbet af et døgn), idet det antages, at ved lufttemperatur $T \leq 0^\circ\text{C}$ er nedbørtypen sandsynligvis sne, ved $T > 2^\circ\text{C}$ er nedbørtypen sandsynligvis regn, og ellers blandet nedbør (herefter kaldet slud).

Nedbørkorrektionen foretages, som det er beskrevet i notater til DCE (f.eks. Vejen, 2012).

Temperatur og vindhastighed for en nedbørstation fås fra den 20×20 km² gridcelle, nedbørmålerne er placeret i. Der er tale om de samme griddata for meteorologiske parametre, som er leveret til NOVANA. Vindhastigheden repræsenterer 10 m over terræn og korrigeres derfor ned til nedbørmålerhøjden på 1,5 m. Dernæst korrigeres vindhastigheden for den lokale læeffekt. For de gennemsnitlige læforhold ved stationerne betyder det en reduktion af vindhastigheden i 10 m på ca. 70 %.

For at få et første overblik, sammenlignes alle data. Der laves scattergrammer for Hellmann vs. Pluvio, og der sammenlignes visuelt med identitetslinje. Der laves histogram over forskel mellem Pluvio og Hellmann for visuelt at kunne sammenligne bias med usikkerhed. Vi angiver kvantitative mål for overensstemmelse, f.eks. R², bias, o.lign. Herefter beregnes der månedlig og samlet målt og korrigeret nedbørsum med hhv. Hellmann og Pluvio.

Usikkerheden omkring observationstid gør en direkte sammenligning af daglige værdier usikker, da der hersker berettiget tvivl om, hvorvidt observationerne fra de to målere er fra samme nedbørperiode. Erfaringsmæssigt kan der være afvigelser fra nominel observationstid på op til flere timer. Manglen på lokale målinger af vindhastighed gør det for usikkert at analysere en evt. vindafhængighed for forskellen i nedbørsopsamling mellem Hellmann og Pluvio.

5 Resultater

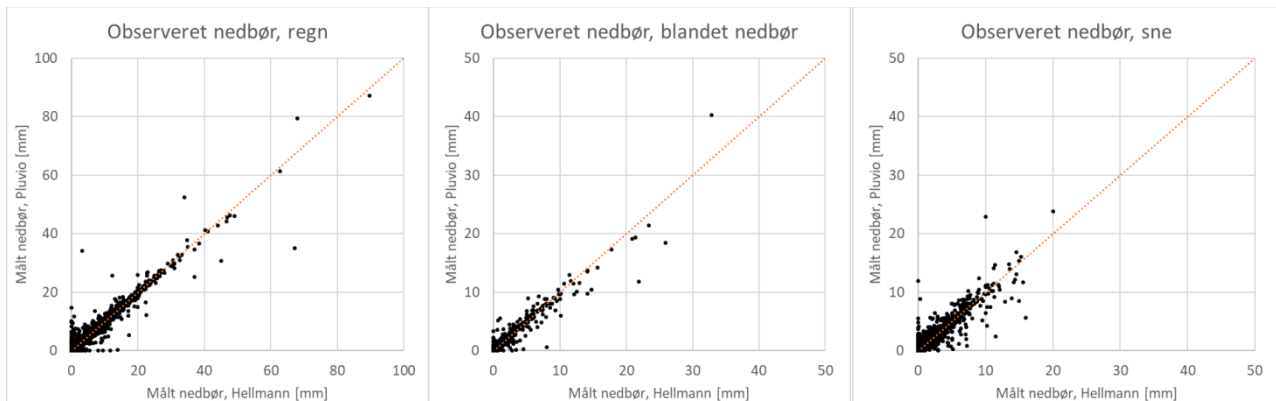
5.1 Analyse af daglige værdier af målt og korrigeret nedbør for regn, blandet nedbør og sne

En direkte sammenligning af daglige nedbørsummer målt med Hellmann og Pluvio er vist i figur 3. Betydningen af, at måling med Hellmann ikke altid foretages på samme tidspunkt er tydeligt, f.eks. ved tilfælde hvor den ene måler har lav nedbørmængde, mens den anden har høj. Samlet ses effekten som betydelig støj, særlig for sne. Hovedlinjen er dog, at observationerne for de to målere ud fra en visuel vurdering ligger tæt på 1:1. Det samme billede går igen for korrigeret nedbør. Også her giver usikkerheden på observationsperioden sig udslag i betydelig støj (figur 4). Det ses, at spredningen øges fra regn over blandet nedbør til sne, og fra målt til korrigeret nedbør.

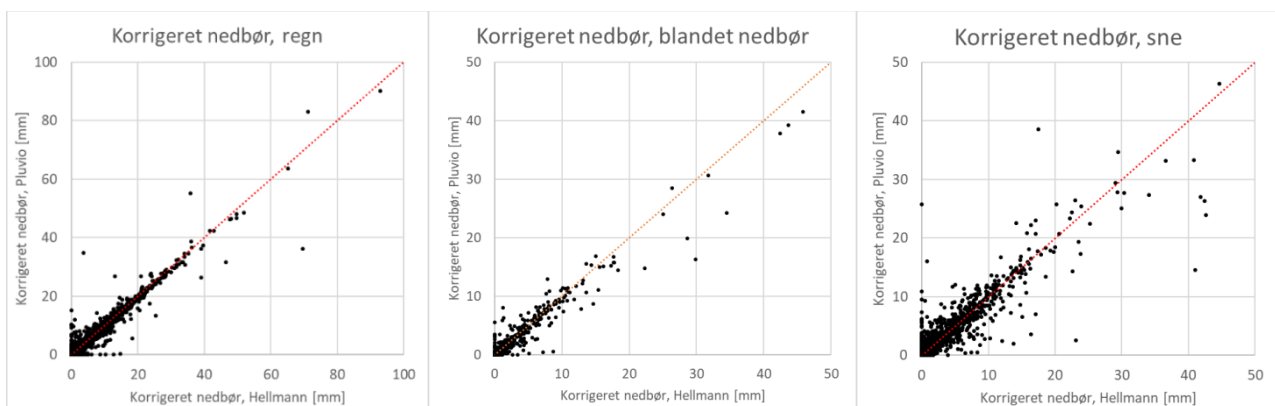
Forklaringsgraden falder jfr. tabel 1 fra 95,7 % over 91,8 % til 77,7 % for observeret nedbør, mens tallene for korrigeret nedbør er hhv. 98,5 %, 92,9 % og 78,0 %. Hvis Hellmann-måleren vha. den lineære sammenhæng i figurerne bruges til at estimere, hvor meget der er faldet i Pluvio-måleren, kan der beregnes en RMSE (root-mean-squared error) for målt og beregnet nedbørmængde for Pluvio (tabel 1). For både regn, blandet nedbør og sne er RMSE for korrigeret nedbør større end for målt, i særlig grad for sne.

Tabel 1. Forklaringsgrad R², RMSE og antal observationer med nedbør for daglige værdier af Hellmann og Pluvio for hhv. regn, blandet nedbør og sne.

	Regn		Blandet nedbør		Sne	
	Målt	Korrigeret	Målt	Korrigeret	Målt	Korrigeret
R ²	0,957	0,985	0,918	0,929	0,777	0,780
RMSE	1,347	1,391	1,143	2,839	1,733	4,830
n (psum>0)	4037		457		1667	



Figur 3. Sammenligning af observeret nedbør med Hellmann og Pluvio for regn, blandet nedbør og sne i perioden 15/12-2009 til 1/1-2011. Identitetslinjen er vist som stiplede rød linje.



Figur 4. Sammenligning af korrigeret nedbør med Hellmann og Pluvio for regn, blandet nedbør og sne i perioden 15/12-2009 til 1/1-2011. Identitetslinjen er vist som stiplede rød linje.

Det vurderes, at den høje usikkerhed på sammenhængen mellem de to målere primært skyldes, at observationsperioden i mange tilfælde ikke matcher. Det giver derfor ikke mening at benytte daglige værdier til at bedømme de to målere i forhold til hinanden, og det er ikke muligt ud fra figurerne for målt og korrigeret nedbør at konkludere en generel tendens for forskellen mellem de to målere. Derfor sammenlignes i stedet de samlede nedbørsummer for sne, blandet nedbør og regn. Dermed bliver de situationer håndteret, hvor forskel i observationsperiode gør målinger på dagligt niveau usammenlignelige, f.eks. når den ene type måler har observeret 0 mm, mens den anden har målt nedbør.

5.2 Analyse af månedlige og samlede værdier af målt og korrigeret nedbør

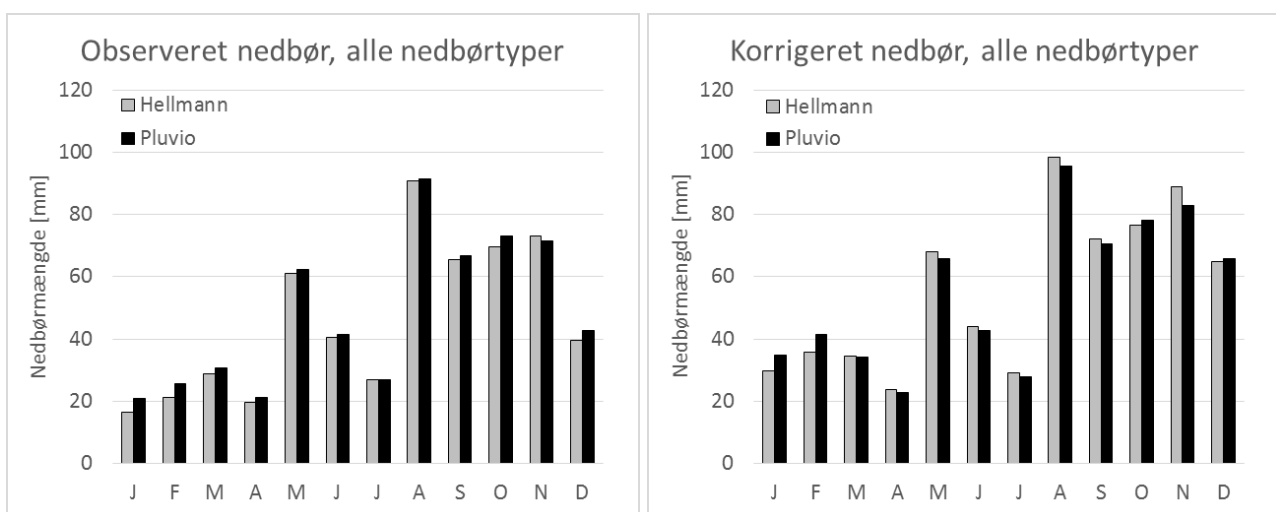
For at afklare, hvordan korrektionen virker for de to målere, er der beregnet målt og korrigeret nedbør på måneds- og årsbasis på stationsniveau og for det samlede datasæt. Det kan give et mere generelt svar på, om korrektionen for Pluvio er underestimeret, og i givet fald hvor meget, idet støjen på dagligt niveau er dæmpet i den samlede nedbørmængde.

Stationer med mange afbrydelser pga. fejl eller mangler, eller stationer som først er oprettet langt inde i overlapsperioden, er udeladt for at sikre data, der så konsistent som muligt beskriver de tidlige variationer i nedbørforholdene. Hvis disse dataserier blev taget med i analyserne, ville de mange afbrydelser i data gøre sammenligning af den samlede nedbør målt med Hellmann og Pluvio mere usikker. Det skyldes, at det kræver kontinuerlige målinger at ophæve betydningen af,

at de to målere ofte ikke observerer nedbør henover den samme periode. Således er beregningerne foretaget for 31 stationpar, der ud af det samlede datasæt på 60 stationspar har de mest komplette data for regn, blandet nedbør og sne. Det betyder, at analyserne er baseret på dataserier med en effektiv længde på ca. 9,5 måneder pr. stationspar. Det er i underkanten af det ønskelige, men vi er begrænset af overlapsperiodens længde og den valide mængde data, der kunne opsamles inden for denne.

Figur 5 viser, at for det samlede datasæt er den observerede nedbør med Pluvio generelt lidt højere end for Hellmann for næsten alle måneder. Det er, som vi ville forvente, idet Pluvio også registrerer det wettingtab¹, som Hellmann-måleren er udsat for. Ifølge Rasmussen et al (2012) er nedbørmålere, der som Pluvio vejer nedbøren, ikke påvirket af wetting i modsætning til volumetriske nedbørmålere som Hellmann. Der er ikke fundet litteratur om, hvorvidt målere som Pluvio trods alt har et wettingtab, hvor begrænset dette end måtte være, og i givet fald hvilken størrelse det har.

For det korrigerede datasæt derimod, ser der ud til at være en generel tendens til, at værdierne for Pluvio er højere end for Hellmann i de perioder, hvor næsten al nedbøren er faldet som sne (januar, februar og december). I de fleste af de øvrige måneder er værdierne for Pluvio lavere end for Hellmann.



Figur 5. Månedlige værdier af observeret og korrigeret nedbør for Hellmann og Pluvio for alle typer nedbør givet som samlet sum af kvalitetssikrede data.

Tendensen bliver tydelig, når der opdeles efter nedbørtype. I figur 6 er vist månedlige værdier af observeret og korrigeret nedbør for hhv. regn og slud/sne. Generelt måler Pluvio mere nedbør end Hellmann, men den korrigerede nedbør er mindre for Pluvio. Eneste undtagelse er oktober. Der er ikke fundet nogen forklaring på dette. For sne er det tydeligt, at både målt og korrigeret nedbør for Pluvio er større end for Hellmann. Forskellen er forholdsvis stor i de fleste måneder, men i november er tendensen modsat. Årsagen kan være problemer med såkaldt snowcapping, som i starten af overlapsperioden blev observeret for nogle Pluvio-målere. Dette består i, at sne hæfter

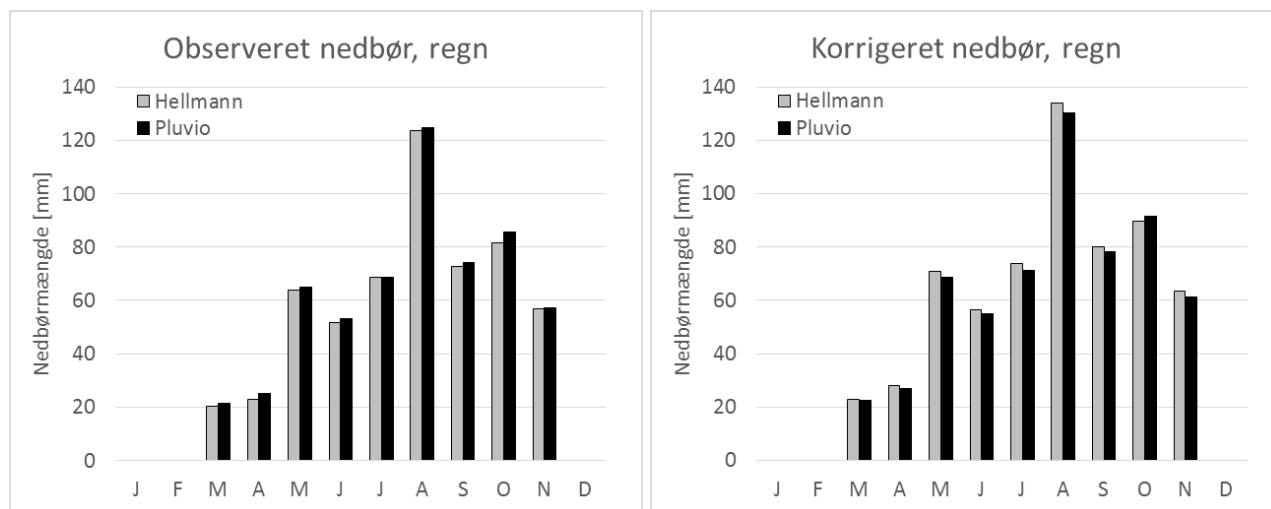
¹ Wettingtab er betegnelsen for fordampning af den nedbør, der hænger fast på målerens indre overflade, i modsætning til fordampning fra en fri vandoverflade af nedbør i måleren. Wettingtabet er sammensat af to bidrag: (1) fordampning af vand, der henover måleperioden hænger fast på indersiden af måleren og går tabt, og (2) vandfilm, der bliver hængende i opsamlingsenheden, når denne tømmes over i et måleglas, og derfor ikke bliver målt med.

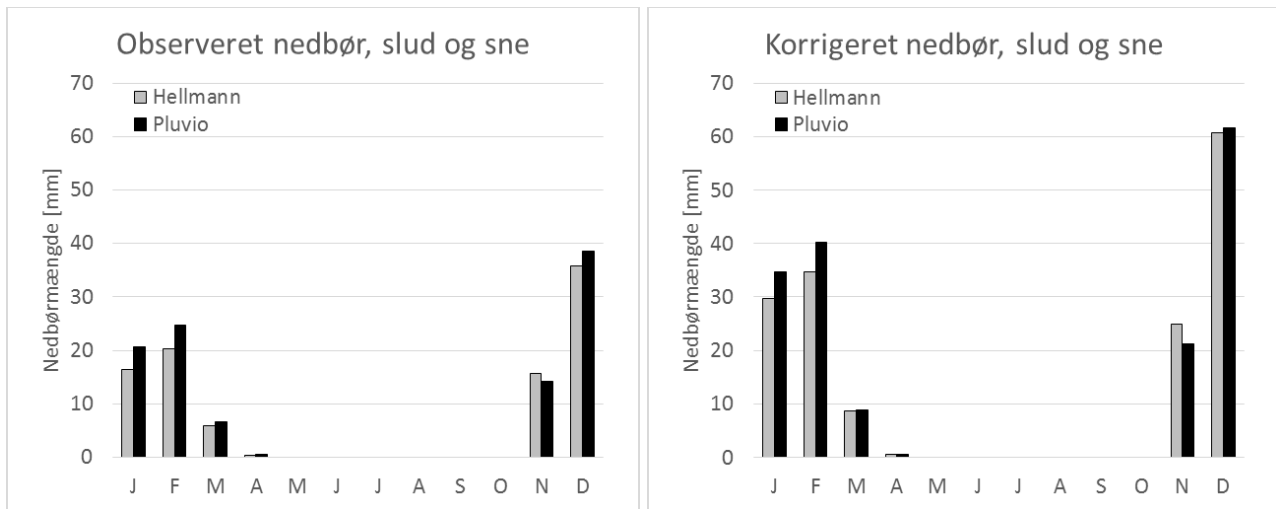
sig fast omkring måleråbningen og dækker denne delvis til, så måleråbningen og dermed den observerede nedbørmængde i praksis bliver mindre.

Som vist i tabel 2, måler Pluvio i gennemsnit markant mere sne end Hellmann (ca. 11 %), hvilket har en teknisk forklaring. Pluvio-måleren er forsynet med en vand/frostvæskeblanding, der fastholder sneen i måleren, straks den rammer væskeoverfladen. Desuden har måleren en kapacitet på 1500 mm minus frostvæsken. Hellmann kan kun rumme ca. 35 mm sne afhængig af sneens egenskaber, og selvom måleren er forsynet med et snekors, som dæmper hvirvler nede i måleren, kan det ikke udelukkes, at noget af den faldne sne blæser op af måleren igen, når mængden af sne i måleren nærmer sig målerens åbning. Hellmann vil derfor være tilbøjelig til at måle for lidt sne. Dette kan være en af forklaringerne på den ret store forskel mellem de to målere for sne. Hyppigheden af denne fejlkilde for Hellmann er dog vanskelig at estimere.

For regn måler Pluvio 2,3 % mere nedbør end Hellmann. I alt er nedbørmængden målt med Pluvio 3,9 % højere end med Hellmann.

Tabel 2 viser de samlede værdier af målt og korrigeret nedbør for de to målere for regn samt for blandet nedbør og sne for det samlede datasæt af 12,5 måneders længde. Omkring 80 % af data fra de 31 stationspar er godkendt i kvalitetssikringen. Langt de fleste af de forkastede data skyldes ikke datafejl, men at en døgnværdi for Pluvio ikke kunne beregnes pga. manglende timeværdier. For samtlige 60 stationer kunne kun 45 % af data godkendes. Det ses, at der sker et markant skift i den mængde nedbør, målerne har opsamlet, når nedbøren går fra regn til blandet nedbør og sne. Dette forhold influerer også på den korrigerede nedbør.





Figur 6. Månedlige værdier af observeret og korrigeret nedbør for Hellmann og Pluvio for regn (øverst) og sne/slud (nederst) givet som samlet sum af kvalitetssikrede data.

Som vist i tabel 2, måler Pluvio i gennemsnit markant mere sne end Hellmann (ca. 11 %), hvilket har en teknisk forklaring. Pluvio-måleren er forsynet med en vand/frostvæskeblanding, der fastholder sneen i måleren, straks den rammer væskeoverfladen. Desuden har måleren en kapacitet på 1500 mm minus frostvæsken. Hellmann kan kun rumme ca. 35 mm sne afhængig af sneens egenskaber, og selvom måleren er forsynet med et snekors, som dæmper hvirvler nede i måleren, kan det ikke udelukkes, at noget af den faldne sne blæser op af måleren igen, når mængden af sne i måleren nærmer sig målerens åbning. Hellmann vil derfor være tilbøjelig til at måle for lidt sne. Dette kan være en af forklaringerne på den ret store forskel mellem de to målere for sne. Hyppigheden af denne fejlkilde for Hellmann er dog vanskelig at estimere.

For regn måler Pluvio 2,3 % mere nedbør end Hellmann. I alt er nedbørmængden målt med Pluvio 3,9 % højere end med Hellmann.

Tabel 2. Samlede værdier pr. station af målt og korrigeret nedbør for Hellmann og Pluvio for alle nedbørtyper, sne, blandet nedbør og regn. For regn er tallene baseret på marts-november, mens de andre nedbørtyper er baseret for hele året. Tallene er baseret på 31 forholdsvis komplette stationer. Der er beregnet procentuel forskel mellem Pluvio og Hellmann for målt og korrigeret nedbør.

	alle		Regn		Blandet nedbør og sne	
	Hellmann	Pluvio	Hellmann	Pluvio	Hellmann	Pluvio
Målt [mm]	553,4	574,6	432,1	442,1	95,0	105,5
Korrigeret [mm]	665,5	662,6	476,5	466,3	159,3	167,4
Forskel målt [%]	3,85		2,30		11,05	
Forskel korrigeret [%]	-0,44		-2,15		5,09	

For regn er det forventet, at Pluvio måler mest, da regn ikke har fordampningstab i modsætning til Hellmann. Forskellen på 2,3 % er dog mindre end det forventede, da fordampning normalt ville betyde, at Hellmann i et normalår (1961-1990) på årsbasis burde måle ca. 4,3 % mindre end Pluvio. Beregningen er foretaget ud fra månedlige værdier af wettingtab for regn, normal nedbørsum og normale antal døgn med regn. Det er hidtil antaget, at de to måleres aerodynamiske egenskaber er ens, hvilket ville betyde, at der burde lande samme regnmængde i de to målere og at kun fordampningstabet ville resultere i en lavere mængde for Hellmann.

En forklaring kunne være, at Pluvio-målinger af regn er mere vindpåvirkede end hidtil antaget. Dette ses ved, at den beregnede korrigerede nedbør for Pluvio er ca. 2,2% lavere end den korrigerede for Hellmann måleren på trods af, at den måler 2,3% mere. Korrektionen skal netop sørge for at udligne forskellen i målt nedbør og ovenstående indikerer, at korrektionsmodellen bør opgraderes til at korrigere regn målt med Pluvio måleren korrekt.

For korrigeret nedbør af alle typer er værdierne for Hellmann og Pluvio næsten ens med en underestimering for Pluvio på 0,44 %. Dette dækker dog over den store forskel mellem sne, blandet nedbør og regn. Jfr. de tekniske udfordringer for Hellmann kan forskellen i korrigeret snedebør for de to målere ikke tages som udtryk for korrektionsmodellens evne til at korrigere Pluvio korrekt. Snemålingerne er generelt mere usikre med større spredning, og det bidrager sandsynligvis til bias, at Hellmann kan have svært ved at fastholde sneen i måleren.

For sne og slud måler Pluvio ca. 11 % mere end Hellmann. Den primære forklaring på forskellen for sne er de to måleres evne til at fastholde sneen, når den er landet i måleren. Frostvæsken i Pluvio smelter sneen, så den ikke kan blæse ud af måleren igen. Dette kan ske i Hellmann-måleren, når mængden af sne i måleren nærmer sig målerens åbning. Hellmann vil derfor være tilbøjelig til at måle for lidt sne.

Som nævnt burde korrektionen udligne forskellen i målt nedbør, men det sker ikke, idet den korrigerede nedbør for slud og sne for Pluvio er 5,1 % højere end for Hellmann. Dette kunne skyldes to forhold:

- (1) At de to måleres evne til at fastholde sneen som nævnt er forskellig,
- (2) at korrektionsmodellen for sne og slud er udviklet på basis af feltmålinger i Finland, hvor sneen formentlig er mere tør og mere vindpåvirkelig end fugtigere og tungere sne, der er mest typisk i Danmark.

De tekniske forskelle mellem de to målere gør direkte sammenligning af korrektionsniveauet for sne forholdsvis usikker, da det er svært at afgøre, hvilke af ovenstående punkter der har størst betydning for resultaterne. Disse forhold spiller ikke i samme grad ind for regn.

Korrektionsmodellen er udviklet på basis af målinger i Danmark og forskellen i teknologi udmønter sig praktisk taget kun i en forskel i wettingtab, hvis størrelse er kendt. Korrektionsniveauet for regn giver således et mere reelt billede af, om de empiriske konstanter i korrektionsmodellen for Pluvio bør justeres. Der faldt praktisk taget ingen regn i vintermånederne, der var udpræget domineret af frost og sne. Korrektionen for regn er derfor opgjort for 31 stationspar for marts-november, og der er fundet en gennemsnitlig underestimering på 2,15 % i forhold til Hellmann. Dette dækker over betydelig variation fra stationspar til stationspar fra -6 % til +1 %, men med klar overvægt at værdier i midten af dette interval. Så trods spredningen i scattergrammet for regn i figur 3 og figur 4 tyder resultaterne på, at korrektionen af Pluvio bør justeres og efterberegnes.

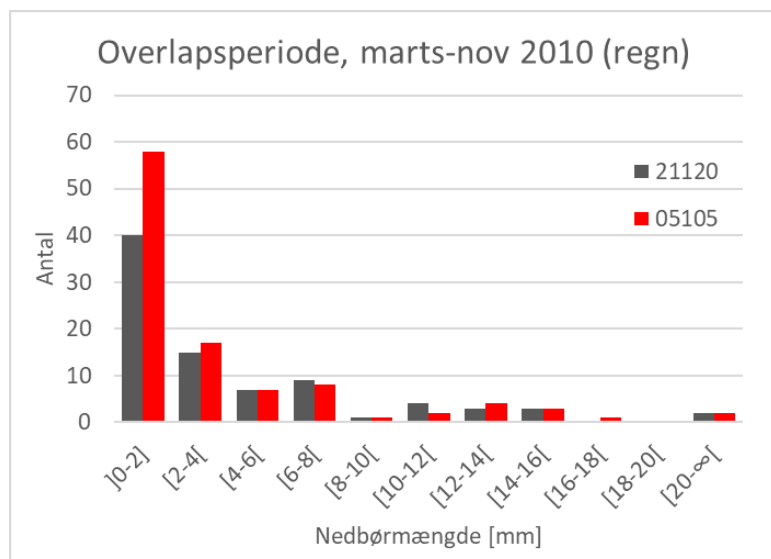
På stationsniveau varierer resultaterne for målt og korrigeret nedbør i forhold til det generelle billede i tabel 2. Det skyldes sandsynligvis forskelle i de lokale turbulensforhold omkring nedbørmålerne. Nedbørmålerens placering i forhold til vindretning, lægivere og lægiveres beskaffenhed har betydning for, hvor forskelligt Pluvio og Hellmann måler ved de enkelte stationer, og hvilken af målerne der måler mest nedbør. For en station som Hesselballe (figur 7) gør det f.eks. en forskel for graden af turbulens, og derfor for relationen mellem opsamlet nedbør i de to målere, om vinden kommer fra bygningerne eller det åbne stykke med fjern bevoksning.

23160 Hesselballe / 2009 / 20090806 / ny + Pluvio /



Figur 7. Læforhold ved station Hesselballe (stationsnummer for Hellmann er 23160 og Pluvio 05225).

Et karakteristisk træk for alle stationer er, at antal døgn med små nedbørmængder er meget større for Pluvio end for Hellmann, mens antal døgn med nedbørmængder på 2 mm og derover er forholdsvis ens. Årsagen er det førnævnte wettingtab for Hellmann, som gør, at Hellmann-måleren overser en del nedbørdøgn sammenlignet med Pluvio. Figur 8 viser fordelingen på nedbørklasser for stationen i Erslev. Det samlede antal nedbørdøgn med 2 mm eller mere er 44 for Hellmann og 45 for Pluvio, men for under 2 mm er antal døgn hhv. 40 og 58.



Figur 8. Antal døgn med nedbørmængder i forskellige klasser målt med hhv. Hellmann (sorte søjler) og Pluvio (røde søjler) i perioden marts-april 2010 for regn. Stationen er Erslev (21120 er stationsnummer for Hellmann og 05105 for Pluvio).

6 Sammenfatning

Data fra 60 stationspar bestående af Hellmann og Pluvio-målere for perioden 15/12-2009 til 1/1-2011 er benyttet til at sammenligne de to måleres evne til at måle nedbør og til at belyse, om det er

en korrekt antagelse, at korrigeret nedbør for Pluvio kan beregnes ved brug af de samme empiriske konstanter i korrektionsmodellen som for Hellmann. Ved omhyggelig kvalitetssikring er der genereret et datasæt, som ved analyse af daglige værdier er kommet et svar på dette spørgsmål nærmere.

Til dataanalyserne er udvalgt 31 stationspar med de mest konsistente datasæt i overlapsperioden. Mange af de øvrige stationspar lider under udfald for Pluvio på timeniveau. Resultaterne viser, at for samtlige ukorrigerede data måler Pluvio ca. 3,9 % mere nedbør end Hellmann. Det er som forventet pga. de tekniske forskelle mellem de to målere. For Hellmann er der ved hver observation et lille tab af nedbør, som pga. adhæsion ikke kan hældes ud af måleren, når der skal observeres, eller som går tabt i løbet af observationsperioden ved fordampning. Det samlede tab kaldes wettingtab. Der er dog store forskelle mellem regn på den ene side, og sne og blandet nedbør på den anden: for sne og blandet nedbør måler Pluvio 11,1 % mere nedbør end Hellmann, men for regn kun 2,3 % mere. Denne forskel skyldes, at måling af sne generelt er mere usikker: (1) Pluvio er forsynet med en frostvæskeblanding, som fastholder sneen i måleren i langt højere grad end Hellmann, (2) Hellmann kan rumme højst ca. 35 mm sne imod en kapacitet på 1500 mm for Pluvio.

For det samlede datasæt underestimeres korrigeret nedbør for Pluvio med blot 0,44 % i forhold til Hellmann, men det dækker over stor forskel i korrektionsniveauet for sne, blandet nedbør og regn. Mens snekorrektionen for Pluvio er 5,1 % højere end for Hellmann, er korrektionen for regn 2,15 % lavere.

For sne og slud er korrektionsmodellen udviklet på basis af data fra Finland. Desuden er der måletekniske udfordringer: mens Hellmann kan have svært ved at fastholde sneen i måleren, når mængden nærmer sig målerens kapacitet, forbliver sneen i Pluvio-måleren, da denne er forsynet med frostvæske. Da det er vanskeligt at adskille effekten af måleteknik og korrektionsmodel, kan der herske berettiget tvivl om den reelle størrelse af forskellen i korrektionsniveau for sne og slud.

For regn er korrektionsmodellen udviklet på basis af målinger i Danmark, og den største teknologiske forskel mellem Hellmann og Pluvio ses kun ved et wettingtab, hvis størrelse er fastlagt. For regn synes resultatet således mere pålideligt, så der er solid evidens i resultaterne for, at korrektionen af Pluvio bør justeres og efterberegnes, så der kan kompenseres for den påviste forskel mellem de to målere for regn.

7 Referencer

Allerup, P., Madsen, H., and Vejen, F., 1997: A Comprehensive Model for Correcting Point Precipitation. *Nordic Hydrology*, vol. 28, 1-20.

Colli, M., Pollock, M., Stagnaro, M., Lanza, L. G., Dutton, M. and O'Connell, E., 2018: A Computational Fluid-Dynamics Assessment of the Improved Performance of Aerodynamic Rain Gauges. *Water Resources Research*, **54**, 779-796.

Førland, E. J. (ed), P. Allerup, B. Dahlström, E. Elomaa, T. Jóhsson, H. Madsen, J. Perälä, P. Rissanen, H. Vedin and F. Vejen, 1996: Manual for Operational Correction of Nordic Precipitation Data. Nordic Working Group on Precipitation, Det Norske Meteorologiske Institut, Report Nr. 24/96.
Goodison, B., Louie, P., and Yang, D., 1998: WMO Solid Precipitation Measurement Intercomparison-Final Report. WMO, Geneva, Switzerland.

Goodison, B. (ed), Louie, P., and Yang, D., 1998: WMO Solid Precipitation Measurement Intercomparison: Final Report. Instruments and Observing Methods, Report No. 67, WMO/TD No. 872, WMO, 1998, Geneva, Switzerland.

OTT, 2007: Productinfo. OTT Pluvio 2 – All Weather Precipitation Gauge. Meteorology June 2007, 70.020.020.9.0, OTT Messtechnik GmbH & Co, 2 pp.

Rasmussen, R., Rasmussen, R., B. Baker, J. Kochendorfer, T. Meyers, S. Landolt, A. P. Fischer, J. Black, J. M. Thériault, P. Kucera, D. Gochis, C. Smith, R. Nitu, M. Hall, K. Ikeda, and E. Gutmann, 2012: How well are we measuring snow? The NOAA/FAA/NCAR Winter Precipitation Test Bed. BAMS, June 2012, 811-829.

Vejen, F., 2012: Korrigeret nedbør 1989-2010. Dataleverance til DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. Del 3 af 6: Metodebeskrivelse. DMI, Klima- og Energiministeriet. Dokumentation og metodebeskrivelse. April 2012, 20p.

Vejen, F., Vedel, H. og Scharling, M., 2021: Korrektion af observeret nedbør målt med Pluvio² i Danmark. DMI rapport 21-39, 2021.

8 Tidligere rapporter

Tidligere rapporter fra Danmarks Meteorologiske Institut kan findes på adressen:

<https://www.dmi.dk/publikationer/>