



Danmarks
Meteorologiske
Institut

Undersøgelser af DMI's nedbørsdata til anvendelse for hydrologiske formål

Afrapportering til miljøministeriet

DMI-rapport 21- 40

Rune Carbuhn Andersen ed.

Kolofon

Serietitel	Tekniske rapport 21- 40
Titel	Undersøgelser af DMI's nedbørsdata til anvendelse for hydrologiske formål
Undertitel	Afrapportering til miljøministeriet
Forfatter(e)	Rune Carbuhn Andersen ed.
Andre bidragsydere	Christensen, OB., Schmith, T., Christiansen, B., Scharling, M., Vedel, H., Ribergaard, MH., Vejen, F., Schmith, T., Olesen, M., Butts, M., Sarup, K.,
Ansvarlig institution	Danmarks Meteorologiske Institut
Sprog	Dansk
Emneord	Nedbør, Dansk klima, Analyse, ERA5, Geonor
URL	https://www.dmi.dk/publikationer/
ISSN	2445-9127
Link til hjemmeside	www.dmi.dk
Copyright	Danmarks Meteorologiske Institut

Indhold

1	Resumé	4
2	Afrapportering til miljøministeriet	4
	Resumé for beslutningstagere	4
1	Indledning	9
	1.1 Status på DMI's opgaver	10
2	Baggrund: Modernisering af nedbørsmålnetværk	13
3	Gennemgang af undersøgelser og foreløbige resultater	14
	3.1 Sammenligning med uafhængige data	14
	3.1.1 Sammenligning af DMI griddet nedbør med ERA5	15
	3.2 Kan diskontinuiteten forklares med fejl i DMI's data?	17
	3.2.1 Gennemgang af produktkæde - fra måling til produkt	17
	3.2.2 Instrumentskift og effekt på observeret og korrigeret nedbør	18
	3.2.3 Ny korrektionsmetode	21
	3.2.4 Fordeling af nedbørsstationer	23
4	Sammenfatning af DMI-undersøgelserne	25
	4.1 Diskussion af DMI-undersøgelserne	25
	4.2 Konklusioner fra DMI-undersøgelserne	27
5	Forslag til den videre proces	28
	5.1 Forslag til proces for input til NOVANA-rapport 2020	28
	5.2 Oplæg til samarbejde om nyt 'autoritativt' nedbørsgrid	29
	5.2.1 Baggrund	29
	5.2.2 Forslag	29
6	Referencer	31
7	Terminologi	32

1 Resumé

Denne rapport indeholder afrapportering til miljøministeriet i forbindelse med undersøgelse af DMI's nedbørsdata til anvendelse for hydrologiskes formål.

2 Afrapportering til miljøministeriet

Undersøgelser af DMI's nedbørsdata til anvendelse for hydrologiske formål

Resumé for beslutningstagere

Nedbørsdata fra DMI anvendes i en række opgørelser og beregninger, som Nationalt Center for Miljø og Energi ved Aarhus Universitet (DCE) og De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) udfører, bl.a. i forbindelse med deres forskningsbaserede myndighedsbetjening af Miljøministeriet i regi af NOVANA (Det Nationale Overvågningsprogram for Vandmiljø og Natur).

Sagen omhandler en *diskontinuitet* (et tidsligt spring i niveau) i DMI's specialprodukt til NOVANA, *griddet, korrigeret* nedbør, herefter betegnet NOVANA-produktet. NOVANA-produktet er et produkt der er baseret på målinger af nedbør, der er *korrigeret* for vejrforhold og forhold omkring måleinstrumentet, og interpoleret (*griddet*) til at dække hele landet med en matematisk beregning.

Denne rapport har et todelt formål. For det første redegør rapporten for de undersøgelser, DMI har foretaget af den diskontinuitet i NOVANA-produktet, som DMI har leveret til hydrologiske beregninger hos DCE og GEUS og som DCE og GEUS synliggjorde. Som der redegøres for i rapporten, bekræfter DMI's undersøgelser, at der er diskontinuitet i NOVANA-produktet. Rapporten beskriver i forlængelse heraf de første skridt, DMI har foretaget for at afbøde diskontinuiteten. For det andet præsenterer rapporten et oplæg til fremadrettet arbejde for et forbedret og tidssvarende nedbørsdataproduct, der understøtter den stigende opmærksomhed på hydrologi og oversvømmelser.

DCE og GEUS har sammenlignet NOVANA-produktet over tre forskellige årtier – 1990-2000, 2001-2010 og 2011-2019. Anvendelsen af NOVANA-produktet for 2011-2019 til hydrologiske beregninger resulterer ifølge DCE og GEUS' hydrologiske modeller i en underestimering af afstrømningen i vandløb sammenlignet med den målte afstrømning i samme periode. DCE og GEUS konstaterer på den baggrund et fald i NOVANA-produktet i gennemsnit på ca. 8 pct. for den sidste periode i forhold til de to foregående perioder og dermed et spring i data (diskontinuitet) omkring 2010 i NOVANA-produktet.

Diskontinuiteten er opstået i forbindelse med DMI's omlægning til et nyt stationsnet i årene omkring 2010, hvor typen af måleinstrumenter blev moderniseret og antallet af nedbørsmålere samtidig reduceret.

Diskontinuiteten er bekræftet ved sammenligning med et uafhængigt datasæt 'ERA5'. Denne sammenligning viser et gennemsnitlig fald på 6 pct. på landsplan i NOVANA-produktet for perioden 2010-2019 i forhold til perioden før 2010. Lokalt og regionalt viser de to undersøgelser (DMI med ERA5 samt DCE og GEUS med afstrømning) større afvigelser, der i et vist omfang ses i de samme geografiske områder. Der synes desuden at være en tendens til, at afvigelserne primært ses, hvor DMI's stationsnetværk for nedbørmålere er blevet reduceret mest.

DMI har undersøgt flere mulige årsager til diskontinuiteten. DMI's undersøgelse af den isolerede effekt af at udtynde nedbørmålnetværket påviser ingen ændring af betydning på landsplan, men lokalt og regionalt ses betydelige ændringer. Der er områder hvor nedbør underestimeres eller overestimeres i det udtyndede nedbørmålnetværk sammenlignet med det tidligere stationsnetværk med mange nedbørmålere. Ekstra kvalitetskontrol af nedbørmålinger, gennemgang af beregningsprocesser og justering af korrektionsrutinerne af observeret nedbør, har samlet ført til en forbedring på ca. 2 pct. forøgelse i NOVANA-produktet på landsplan efter 2010, sammenlignet med DMI's tidligere estimat. DMI har således afbødet problemet med diskontinuiteten i NOVANA-produktet i det omfang, det har været muligt inden for den givne tidsramme. DMI har fokuseret sine undersøgelser på de mest sandsynlige årsager samt områder hvor datagrundlaget til analyser er stærkest således, at den størst mulige nytte kunne opnås.

De forbedringer, DMI har implementeret, løser kun en mindre del af forskellen mellem DMI's nedbørmålinger og DCE og GEUS' afstrømningsmålinger, og der er stadigvæk en betydelig diskontinuitet, der ikke entydigt kan svares for.

Samlet set konkluderer DMI, at der ikke er fundet betydende fejl i selve observationerne af nedbør eller den efterfølgende databehandling trods omfattende undersøgelser, men at interpolationen af nedbør er påvirket af den ændring i stationsnettet, der skete omkring 2010. Ændringerne i NOVANA-produktet har et delvist sammenfald med reduktionen i antallet af nedbørmålere, så de største ændringer generelt sker i områder, hvor nedbørmålnettet nu er tyndest.

Antallet af nedbørmålere er reduceret fra ca. 500 målere homogent fordelt over hele landet i 2006 til ca. 250 målere i 2011, med en betydelig mere inhomogen placering med mange nedbørmålere i byerne og færre på landet. I de senere år er antallet af målere til monitorering af afstrømning i vandløb steget fra ca. 300 til ca. 500 stationer. Der er således opstået en ulighed mellem tætheden i det landsdækkende nedbørmålnet især uden for byerne og observationsnettet til monitorering af afstrømning i vandløb. Det synes åbenlyst, at det nuværende stationsnet for nedbørmålere er for inhomogent og i visse områder for tyndt besat til i tilstrækkelig grad at kunne understøtte den ønskede nøjagtighed i NOVANA-produktet til hydrologiske beregninger.

For at understøtte en langsigtet og robust løsning, anbefaler DMI, at der arbejdes hen imod et nyt og forbedret autoritativt nedbørsprodukt til generel brug for hydrologisk modellering i Danmark. Det foreslås, at dette udvikles i fællesskab mellem DMI, DCE og GEUS. Det anbefales:

- at udvide antallet af nedbørmålere for at sikre en mere robust og homogen dataindsamling, hvis udfordringerne med udtynding af stationsnetværket skal løses.
- at nedbørsestimater fremadrettet baseres på en kombination af radardata og observationer fra nedbørmålere. Det giver nedbørprodukterne en større rummelig opløsning og langt større præcision i, hvor den maksimale nedbør falder. Flere nedbørmålere vil højne kvaliteten af dette kombinerede nedbørprodukt.
- at fortsætte udredningen af anvendte data og metoder til NOVANA-produktet, herunder også tidsserier før 2010/11, idet der stadigvæk kan påvises et spring trods genberegning af NOVANA-produktet.

Varetagelsen af myndighedsrollerne i relation til hydrologi bør fremadrettet baseres på et øget samarbejde mellem relevante myndigheder, med fokus på løbende dialog om udvikling af data, metoder og anvendelse, for at sikre bedre anvendelse af data og produkter.

Indhold

Resumé for beslutningstagere	4
1 Indledning	9
1.1 Status på DMI's opgaver	10
2 Baggrund: Modernisering af nedbørsmålernetværk	13
3 Gennemgang af undersøgelser og foreløbige resultater	14
3.1 Sammenligning med uafhængige data	14
3.1.1 Sammenligning af DMI griddet nedbør med ERA5	15
3.2 Kan diskontinuiteten forklares med fejl i DMI's data?	17
3.2.1 Gennemgang af produktkæde - fra måling til produkt	17
3.2.2 Instrumentskift og effekt på observeret og korrigeret nedbør ...	18
3.2.3 Ny korrektionsmetode	21
3.2.4 Fordeling af nedbørsstationer	23
4 Sammenfatning af DMI-undersøgelserne	25
4.1 Diskussion af DMI-undersøgelserne	25
4.2 Konklusioner fra DMI-undersøgelserne	27
5 Forslag til den videre proces	28
5.1 Forslag til proces for input til NOVANA-rapport 2020	28
5.2 Oplæg til samarbejde om nyt 'autoritativt' nedbørsgrid	29
5.2.1 Baggrund	29
5.2.2 Forslag	29
6 Referencer	31
7 Terminologi	32

1 Indledning

Nedbørsobservationer anvendes til en lang række formål, og moderniseringen af DMI's observationsprogram i årene omkring 2010 har primært været designet til at understøtte vejrprognoser, observation af farligt vejr, og klimatologiske opgørelser på landsplan. Her har været stigende fokus på observation af ekstremnedbør (især skybrud) i tætbefolkede områder, samt at observationerne skal understøtte vejrmodeller, der anvendes til vejrudsigter i høj tidslig opløsning. Sekundært har data gennem hele perioden været anvendt til bl.a. hydrologiske formål.

Nedbørsdata fra DMI anvendes i en række opgørelser og beregninger, som Nationalt Center for Miljø og Energi ved Aarhus Universitet (DCE) og De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) udfører, bl.a. i forbindelse med deres forskningsbaserede myndighedsbetjening af Miljøministeriet. DCE og GEUS har påpeget en potentiel tidslig diskontinuitet i DMI's nedbørsdata - i et specifikt $10 \times 10 \text{ km}^2$ nedbørsprodukt, hvor DMI's nedbørsestimater efter 2010 ifølge DCE og GEUS hydrologiske modeller fører til en underestimering af afstrømningen i vandløb sammenlignet med den målte afstrømning (Svendsen et al., 2020). Tidspunktet for diskontinuiteten falder sammen med DMI's overgang fra et manuelt til et automatisk målnetværk omkring 2010. I den forbindelse blev antallet af nedbørsmålere reduceret fra ca. 500 målere i 2006 til ca. 250 målere i 2011. Udover betydeligt færre nedbørsmålere gav reduktionen en betydeligt mere inhomogen placering med mange nedbørsmålere i byerne og færre på landet. I dag er der 278 målestationer til måling af nedbør. Til gengæld måler de mange gange i timen, hvor målingerne tidligere kun skete én gang i døgnet.

Ud af de 278 målestationer ejer DMI 99, Spildevandskomiteens (SVK) medlemmer ejer 177 og to ejes af henholdsvis Billund Lufthavn og Aarhus Lufthavn. Der anvendes i dag 3 forskellige typer af nedbørsmålere – Pluvio, Rimco og Geonor.

Parallelt med dette er fokus på Danmarks hydrologiske kredsløb høj, og set i lyset af klimaforandringerne, forventes opmærksomheden på dette kun at stige i fremtiden. Dette er reflekteret i, at observationsnettet til monitorering af afstrømning i vandløb er udvidet de seneste år fra ca. 300 til ca. 500 stationer. Der er således opstået en ulighed mellem tætheden i det landsdækkende nedbørsmålernet især uden for byerne og observationsnettet til monitorering af afstrømning i vandløb.

Alle observationer og afledte produkter er behæftet med en usikkerhed, der kan være tilfældig (pege i forskellige retninger fra observation til observation) eller systematisk (give systematisk over- eller underestimering). Dette er ikke fejl i produktet, idet de eksisterer selvom metoden er velbeskrevet og procedurer er fulgt.

Nedbørsobservationer er påvirket af usikkerheder ved selve målingen, og ved forhold omkring instrumentet der gør, at ikke al nedbøren rammer ned i instrumentet. Den systematiske del af disse usikkerheder er for det specifikke nedbørsprodukt, der er leveret til DCE og GEUS, reduceret ved hjælp af en korrektion, og betegnes "korrigeret nedbør". Denne korrektion har i sig selv en usikkerhed.

Når nedbørstal skal kendes for alle dele af landet, interpoleres til et ensartet beregningsnet, et såkaldt "grid". Dette produkt betegnes "griddet nedbør". For griddet nedbør er det en kilde til usikkerhed at data interpoleres over kortere eller længere afstande, afhængig af antallet af målestationer.

DMI leverer daglige nedbørsdata fra samtlige nedbørsstationer samt to typer griddet nedbørsdata baseret på disse nedbørsstationer til DCE og GEUS:

- Griddet, observeret nedbør: På baggrund af kvalitetssikrede målinger af nedbør fra nedbørsmålere beregnes landsdækkende griddet, observeret nedbør med en opløsning på $10 \times 10 \text{ km}^2$. Det er et

komplet datasæt over nedbør for alle områder i landet – også de områder, hvor der ikke står en nedbørmåler inden for et 10x10 km² felt.

- Griddet, korrigeret nedbør: Specifikt til NOVANA-partnerne foretager DMI en korrektion af nedbørsmålingerne forud for gridberegningen til 10x10 km². Korrektionen for den enkelte stations nedbørsdata afhænger af typen af nedbørmåler og kompenserer for nedbørmålerens forskellige design, placering i terrænet samt nedbørstype og vejrforhold. Hvis det f.eks. blæser vil der skabes turbulens omkring nedbørmåleren afhængigt af design, hvilket forhindrer noget af nedbøren i at lande i måleren. DMI anvender en internationalt anerkendt korrektionsmetode, hvor metoden er ens for perioderne før og efter 2010/11 men tilrettet de forskellige anvendte typer af nedbørmålere. Griddet, korrigeret nedbør er et specialprodukt, som produceres til NOVANA-partnere til hydrologisk modellering. Det anvendes desuden af rådgivningsfirmaer, der arbejder med grundvandskortlægning.

På DMI, og meteorologiske institutter i udlandet, anvendes normalt observeret nedbør og griddet, observeret nedbør, i forbindelse med udarbejdelse af vejrprognoser og -varsler samt klimatologi. Der er risiko for diskontinuitet i datasættet når nedbørmåleretværket ændres så markant som i 2010. Mens det accepteres at der sker ændringer i den observerede nedbør ved ændring af måleinstrumenter, er korrektionerne for den korrigerede nedbør tiltænkt at mindske denne ændring. Der har ikke tidligere været registreret eller rapporteret betydelige fejl eller mangler i observeret nedbør eller i griddet, observeret nedbør i forbindelse med omlægningen i 2010.

Denne rapport undersøger derfor på at NOVANA-partnerne (DMI, DCE og GEUS) har oplevet betydelige udfordringer med nationale og især regionale forskelle mellem perioderne før/efter 2010 ved anvendelse af griddet, korrigeret nedbør.

Samlet set har DMI haft fokus på:

- Sammenligning af DMI nedbørsdata med uafhængige nedbørsdata fra en global re-analyse – ERA5 (Christensen et al., 2021), (Giusti, M et al., 2021).
- Ekstra kvalitetskontrol af alle DMI's målinger for at fjerne forkerte observationer fra 2010 og fremefter (Olesen et al., 2021), (Giusti, M et al., 2021).
- Undersøge den anvendte gridberegning (Christiansen et al., 2021).
- Undersøge effekten af at udtynde nedbørmåleretværket (Christensen et al., 2021) & (Christiansen et al., 2021).
- Undersøge og forbedre korrektionen af nedbørsobservationerne (Vejen et al., 2021a) og (Vejen et al., 2021b).

1.1 Status på DMI's opgaver

Miljøministeren har medio 2020 bedt DCE, GEUS og DMI om at forstå problemet og løse udfordringen med diskontinuitet i DMI's nedbørsdata, som DCE og GEUS ser i deres vandbalanceberegninger. DCE, GEUS og DMI har derfor nedsat en arbejdsgruppe med dette mål for øje. DCE, GEUS og DMI har i fællesskab arbejdet efter et kommissorium med to formål:

1. Finde en midlertidig løsning til at afbøde en mulig inkonsistens i gridnedbørsproduktet til de mest presserende opgaver med myndighedsbetjening.
2. Etablere en mere langsigtet løsning for samarbejde omkring DMI's leverance til NOVANA, herunder udarbejdelse af idékatalog for pilotprojekter.

Det er DMI's opgave at udarbejde analyser af nedbørsobservationer og griddede nedbørsprodukter og mulig inkonsistens i samarbejde med DCE og GEUS. Det er DCE's og GEUS's opgave at udarbejde opfølgende

analyser i forbindelse med DCE-notat N2050-51 og herunder finde mulige årsager til ændring i relationen mellem nedbør og afstrømning i samarbejdet med DMI.

DMI udarbejdede og indgik aftale omkring nedenstående aktivitetsplan i forlængelse af kommissoriet. Arbejdet har taget udgangspunkt i at undersøge og forstå omfanget af problemet med diskontinuitet samt efterfølgende fokusere på aktiviteter, der har størst effekt i forhold til tidsplanen.

Tidsplan	Aktivitet	Status og nytte
9. okt. 2020	1. Statistisk analyse af eksisterende data, sammenligning med uafhængigt datasæt, undersøgelse af instrumentskift, korrektioner, fordeling af stationer og betydning for gridning.	Afsluttet. De forskellige DMI-undersøgelser er færdigafsluttet og rapporteret under afsnit 3. De er grundlaget for de foreløbige konklusioner.
	2. Udvikling af nye korrektionsfaktorer for vindeffejder m.m., baseret på ny forskning.	Afsluttet. Den nyeste viden er inddraget til at bestemme nye korrektionsfaktorer for regn for Pluvio-nedbørsmåleren.
	3. Produktkæde (fra måling til modtager) er kortlagt	Delvist afsluttet. Produktkæden er overordnet kortlagt internt og alle væsentlige processer er gennemgået med fokus på bidrag til punkt 1. Standardiseret kortlægning af processer fortsætter ved COWI i februar 2021 .
	4. Elementer, der bidrager til usikkerhed i produktet er kortlagt	Afsluttet. I forbindelse med den overordnede kortlægning af produktkæden, er det vurderet hvilke elementer der påvirker det samlede produkts usikkerhed med fokus på bidrag til punkt 1.
	5. Arbejdsgruppe med DCE og GEUS er etableret og udvikling er igangsat.	Afsluttet. Fælles arbejdsgruppe er etableret med jævnlige møder mellem DMI, DCE og GEUS på flere niveauer og der er en fælles forståelse af vigtigheden af at fortsætte det tætte samarbejde.
18. dec. 2020	6. Nye korrektioner (punkt 2) er beregnet og data med nye korrektioner er genberegnet, tjekket og leveret til NOVANA.	Afsluttet. Nye korrektionskonstanter er beregnet og genberegning afsluttet med efterfølgende kvalitetssikring. Leveret til NOVANA: 27. jan 2021.
	7. Produktkæde er gennemgået.	Delvist afsluttet. Alle betydende processer er gennemgået med fokus på bidrag til punkt 1. Standardiseret kortlægning af processer fortsætter ved COWI i februar 2021 .

Tidsplan	Aktivitet	Status og nytte
	8. Usikkerhedsberegning er færdig og resultat rapporteret til DCE og GEUS.	<p>Udskudt. Værdien af tiltaget i forhold til det nuværende produkt og den igangværende proces vurderes at være minimal.</p> <p>I relation til fremtidige produkter og deres anvendelsespotentiale vil denne aktivitet forventeligt give værdi og planlægges derfor igangsat i forbindelse med fremtidige produkter.</p>
	9. Plan for videre udvikling, baseret på resultater af 1. runde af undersøgelser, er færdig.	<p>I gang. Der er, i tæt dialog mellem parterne, udarbejdet et forslag til roadmap/idékatalog for det fremadrettede fælles samarbejde med udvikling af et forbedret koncept for beregning af griddet, korrigeret nedbør til hydrologisk modellering. Der er en fælles forståelse for nødvendigheden af et nyt 'autoritativt' griddet nedbørsprodukt til hydrologi.</p>

Mange af aktiviteterne i 2020 har haft til formål at afklare landsdækkende trends og udfordringer med DMI's griddede, korrigerede nedbørsprodukter for perioden 2011-2019.

DMI, DCE og GEUS har løbende drøftet retningen for samarbejdet og løsningen af kommissoriets første punkt om at finde en midlertidig løsning. Et centralt punkt efter den indledende kortlægning har været at DMI anerkender diskontinuiteten i de griddede, korrigerede nedbørsdata og at DMI ikke forventede at finde det fulde årsagsbillede til diskontinuiteten. Derfor var der to veje at gå. Enten kunne DMI, DCE og GEUS i fællesskab udarbejde et matematisk korrektionslag, der på bedst mulig vis skabte sammenhæng mellem de to perioder, uden at skele til årsagerne bag. Eller fokus kunne lægges på at finde årsager og forklaringer på så stor en del af diskontinuiteten som muligt. Det var et klart ønske fra DCE og GEUS ikke at lave en kortsigtet matematisk løsning med et korrektionslag, men at fokusere på at lokalisere flest mulige årsager. Det skyldes ønsket om at finde en robust og fremtidsorienteret løsning, der ikke bagefter skal genberegnes flere gange. Desuden foretager DCE og GEUS korrektioner i de videre beregningskæder for afstrømning og næringsstofudledning. Disse korrektioner vil blive ændret fremadrettet, så de delvist kompenserer for diskontinuiteten i nedbørsdataene. Dermed er den midlertidige løsning, der er efterspurgt af kommissoriet, at DMI har forbedret datakvaliteten og korrektionsfaktorer mest muligt inden for den givne tidsramme samt genberegnet det griddede, korrigerede nedbørsdatasæt.

Samlet set er resultatet at DMI's genberegnete og forbedrede griddet, korrigeret nedbørsdata på landsplan øget med 1,9 % i perioden efter 2010, forventeligt svarende til at diskontinuiteten påvist af DCE og GEUS er reduceret med ca. en fjerdedel på landsplan. Der er stadigvæk væsentlige lokale variationer. Det genberegnete griddede nedbørsdatasæt er leveret til DCE og GEUS ultimo januar 2021.

DCE og GEUS har valgt at anvende denne version af griddet, korrigeret nedbør til de igangværende modelberegninger i 1. kvartal 2021 for NOVANA-rapporten "Vandløb 2019".

Der er ikke foretaget en usikkerhedsberegning af griddet, observeret nedbør eller griddet, korrigeret nedbør – punkt 8 i ovenstående tabel – da værdien af tiltaget i forhold til det nuværende produkt og den igangværende afklaring vurderes at være for begrænset i forhold til kompleksiteten af aktiviteten og de ressourcer, der vil være behov for til opgaven. I relation til fremtidige griddede nedbørsprodukter vurderes opgaven yderst relevant og forventes derfor igangsat i 2021 afhængig af det kommende samarbejde mellem DCE, GEUS og DMI vedr. etablering af et forbedret og 'autoritativt nedbørsdatasæt'.

Leveringen af genberegnet griddet, observeret nedbør og griddet, korrigeret nedbør samt denne DMI-rapport, herunder den foreløbige afklaring af diskontinuiteten, betragtes derfor af DMI som opfyldelse af kommissoriets første formål, på trods af, at der fortsat findes en betydelig og uforklaret diskontinuitet. Det genberegnete griddede nedbørsdatasæt har afbødet diskontinuitetsproblemet i mindre omfang og den videre nødvendige afklaring om data og korrektioner foreslås fortsat under kommissoriets anden del – etablering af en fælles langsigtet samarbejde om DMI's leverance til NOVANA.

2 Baggrund: Modernisering af nedbørsmålnetværk

DMI måler nedbør på målestationer over hele landet. De indsamles og behandles til meteorologisk og klimatologisk brug efter internationalt anerkendte standarder og teknologier. Data fra DMI's målnetværk anvendes bredt til formidling, varsling, klimaovervågning og til verifikation af DMI's vejrmodeller. Til klimaovervågning kvalitetskontrollers og kvalitetssikres nedbørsdata af DMI's eksperter, inden de indgår i udarbejdelsen af klimatologiske dataserier.

DMI's samlede målnetværk gennemgik en modernisering/automatisering fra sidst i 90'erne og ca. ti år frem, dog hovedsageligt i perioden 2007-2010. Moderniseringen skete med henblik på at forbedre kvaliteten og tidsopløsningen af data til drift og udvikling af DMI's vejrmodeller, og for at styrke kommunikation om klima og vejr til borgerne. DMI's manuelle nedbørsmålnetværk var meget afhængig af betjening af private lodsejere. Det var forbundet med udfordringer for DMI at vedligeholde observationsserien ved fx dødfald, salg af privat grund eller f.eks. nedlæggelse af landbrugsskoler. Desuden blev det med tiden markant vanskeligere at få private lodsejere til drive de manuelle nedbørsmålere.

Moderniseringen af det samlede målnetværk betød, at der for nedbørsmålinger skete en markant forandring i perioden 2007-2011, hvor antallet af manuelle nedbørsmålestationer af typen Hellmann blev reduceret fra omkring 430 manuelle Hellmann-målestationer til ca. 100 stationer i 2010. Da det automatiske nedbørsmålnetværk blev taget i brug i 2011, blev de manuelle målere erstattet med ca. 230 automatiske målestationer, bestykket med tre forskellige nedbørssensortyper (Geonor, Pluvio og Rimco). Det samlede net af nedbørsmålere bestod af ca. 100 DMI-ejede Geonor og Pluvio målere og ca. 130 Rimco målere ejet af Spildevandskomiteen (SVK). Nedbørsmålnetværket blev samtidig med reduktionen i antallet af nedbørsmålere mindre homogent fordelt over Danmark, fordi SVK's målere primært er placeret i byerne. Antallet af målere er steget siden 2011 og udgør i 2020 ca. 285, da SVK har opsat yderligere målere i byområderne.

Af hensyn til varsling, og til rapportering af hvordan vejret har været, er der gode grunde til at have adgang til meget hyppige nedbørsmålinger, da evnen til at observere og forudsige kraftige nedbørshændelser har en særlig stor samfundsmæssig værdi. Især i forbindelse med skybrud kan oversvømmelser for eksempel indtræffe allerede kort efter den kraftige nedbør. For en meteorologisk myndighed er det centralt at monitorere og forudsige, hvordan vejret er og bliver, der hvor der er flest mennesker, og hvor vejret potentielt kan gøre mest skade på liv og værdier, når vejret bliver farligt. Derfor har moderniseringen af nedbørsmålere fra manuelle døgn-registreringer til automatiske 1. og 10-minutters, samt 1-timesregistreringer været væsentlig for DMI's myndighedsvaretagelse.

I forhold til DMI's klimamonitorering af det danske område har udtyndingen af nedbørsmålnetværket ført til større usikkerhed lokalt, men i forhold til internationale standarder og myndighedsopgaven med at følge udviklingen i nedbøren i Danmark som helhed, er nettet tilstrækkeligt.

3 Gennemgang af undersøgelser og foreløbige resultater

I det følgende gennemgås DMI's delundersøgelser. De tekniske rapporter for hver delundersøgelse er vedlagt som bilag til denne statusrapport.

DMI's undersøgelser har fokuseret i to retninger. For det første har DMI undersøgt, om der er diskontinuitet i DMI's griddede nedbørsdata og omfanget af eventuel diskontinuitet. Dernæst har DMI undersøgt de mest sandsynlige årsager til en eventuel diskontinuitet samt hvordan diskontinuiteten kan afhjælpes. DMI har i den forbindelse bevidst fravalgt undersøgelsesaktiviteter, der åbenlyst ikke ville kunne løftes inden for den givne tidsramme samt aktiviteter hvor det nødvendige datagrundlag blev vurderet som utilstrækkeligt på daværende tidspunkt.

DMI's tilvalgte aktiviteter har omhandlet:

- Undersøgelse af diskontinuitet ved sammenligning af DMI's nedbørsdata med det uafhængige ERA5 datasæt (Christensen et al., 2021), (Giusti, M et al., 2021).
- Undersøgelse af betydningen af udtyndingen af DMI's målnetværk med basis i en forenklet og hurtig gridning (Christiansen et al., 2021).
- Genvurdering af korrektionen for Pluvio-målere i forhold til korrektionen for Hellman målere og til referenceværdier fra testområde (Vejen et al., 2021).
- Tjek af Geonor-målere med fokus på, at fejlbehæftede data fra ældre stationer bliver korrekt frasorteret i kvalitetssikringsproceduren (Olesen et al., 2021), (Giusti, M et al., 2021), (Christiansen et al., 2021).
- Opdatering af DMIs database mht. lævinkler samt mindre opdatering af algoritmer og supplerende kvalitetskontrol.

De væsentligste fravalg i DMI's undersøgelser er:

- En dybere undersøgelse af betydningen af udtyndingen af DMI's målnetværk med basis i den mere avancerede gridningsmetode, der anvendes til NOVANA produktet ("NOVANA-gridning").
- Undersøgelse af alternative interpolationsrutiner til NOVANA-gridning.
- Vurdering af korrektioner for Rimco, Geonor og Hellmann i relation til diskontinuiteten 2010/2011.
- Undersøgelse af betydningen af flytning af nedbørsmålere i forbindelse med moderniseringen af nedbørsnettet.
- Detailundersøgelse af effekterne af netværksændringer og interpolationsrutine vha. radardata.

Fravalgene skyldes primært to årsager. For de tre første punkter vil det tage for lang tid at undersøge i forhold til projektperioden, og for de to sidste mangler det fornødne datagrundlag pt.

3.1 Sammenligning med uafhængige data

Den bedst mulige test af diskontinuitet af nedbør er at sammenligne DMI's griddede nedbørsdata baseret på nedbørsmålere med et uafhængigt sæt nedbørsestimater. Det bedste landsdækkende datasæt er p.t. at sammenligne DMI's nedbørsdata med et uafhængigt datasæt baseret på modellering af fortidens vejr (en såkaldt re-analyse).

DCE og GEUS har sideløbende foretaget en komplementær analyse af diskontinuiteten baseret på målt afstrømning (Thodsen, H. et al., 2020). Deres analyse dækker den del af Danmark, hvor målinger af afstrømning vurderes at være mest pålidelige, svarende til ca. 50% af Danmarks areal. De har sammenlignet perioden 1997/1998 til 2006/2007 med perioden 2011/2012 til 2018/2019 og finder en underestimering af nedbør i størrelsesordenen af ca. 8 % for de målte oplande med betydelige regionale forskelle.

3.1.1 Sammenligning af DMI griddet nedbør med ERA5

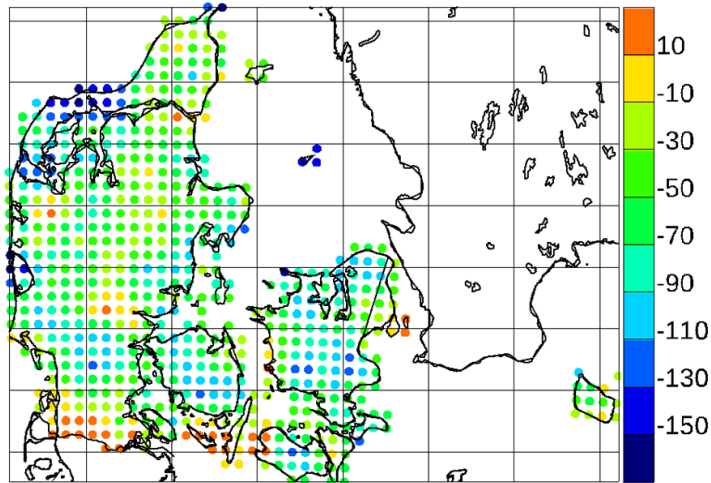
DMI har sammenlignet nedbørsdata leveret til NOVANA med tilsvarende data fra re-analysen ERA5 (Christensen et al., 2021). ERA5 (Giusti, M et al., 2021) er et internationalt anerkendt datasæt for mange meteorologiske variable, herunder nedbør, der er etableret ved at kombinere observationer fra landstationer, fly, satellitter, etc. med vejrmødelkørsler. Det er vigtigt at understrege at ERA5 ikke anvender danske nedbørsmålninger. ERA5 er den nyeste re-analyse fra European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). ERA5 inkluderer perioden 1989-2019 og dermed det store instrumentskift fra 2007-2010 i DMI. Data fra ERA5 findes for hver time og er beregnet på et grid med ca. 31 km gitterafstand.

En re-analyse viser ikke nødvendigvis helt korrekt nedbør, fx er ERA5-nedbør over Danmark generelt højere end det målte, og den velkendte forhøjede nedbørsmængde langs den jyske højderyg ligger for langt mod vest i re-analysens data. Til gengæld inddrager ERA5-modellen som sagt ikke de danske nedbørsmålninger, og kan derfor ikke indeholde en diskontinuitet med relation til skiftet af nedbørsmålere i Danmark, og vigtigst forventes ændringer i nedbøren over tid at være relativt godt beskrevet i ERA5. Derfor kan ERA5-data bruges til at beskrive den forventede udvikling i nedbøren fra perioden langt før 2010 til perioden efter, og man kan dermed sammenligne om en tilsvarende udvikling ses i de data, der leveres til NOVANA.

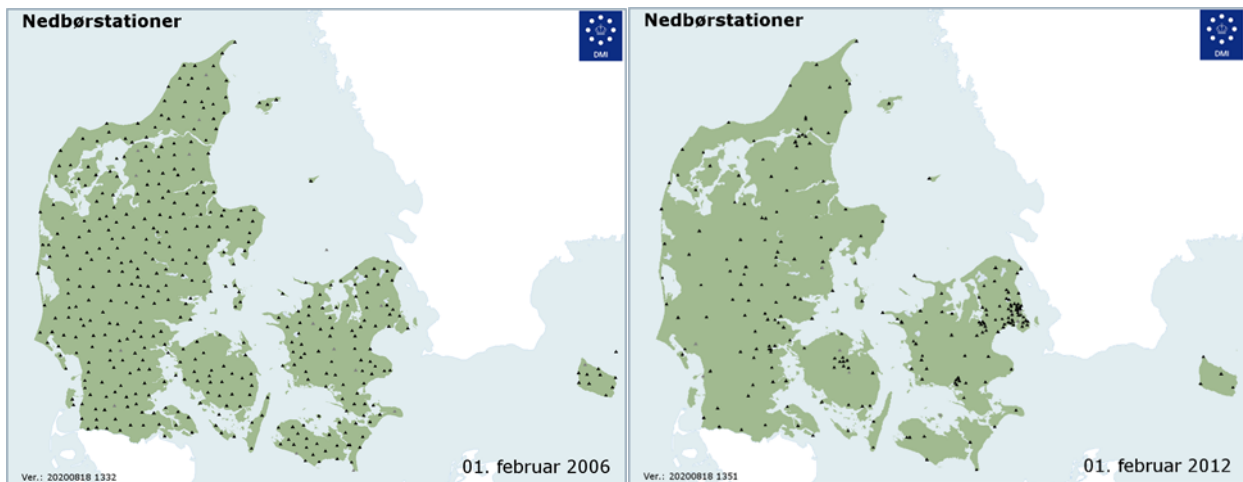
Sammenligningen mellem DMI's griddet, korrigeret nedbørsdata og ERA5 har vist følgende:

- Når nedbørsdata for perioden 1989-2010 sammenlignes med 2011-2018 ses en mindre stigning i årsnedbøren i ERA5, men et signifikant fald i DMI's korrigerede nedbør - særligt for Sjælland, Fyn og Midt- og Sydjylland (se Figur A).
- Sammenligningen med ERA5 viser i gennemsnit på landsplan 6 % mindre korrigeret nedbør efter 2010 sammenlignet med niveauet før 2010, når der tages højde for den klimatiske udvikling. Der ses større regionale afvigelser på op til ca. 12 % i de samlede nedbørsmængder. Dette er i overensstemmelse med den komplementære analyse baseret på afstrømningsmålinger foretaget af DCE og GEUS. Fra deres sammenligning af perioden 1997/1998 til 2006/2007 og perioden 2011/2012 til 2018/2019 finder de en underestimering af nedbør med en medianværdi på ca. 8 % for de målte oplande. Man skal dog være opmærksom på at de målte oplande dækker ca. 50 % af Danmark, hvor DMI's undersøgelse dækker hele Danmark.
- Underestimeringen af nedbør lader til at være – i det mindste delvist – sammenfaldende med de områder, hvor antallet af nedbørsmålestationer er færrest (se Figur B).
- På landsplan ses umiddelbart ikke en tilsvarende før/efter forskel mht. griddet, observeret nedbør. En forskel kunne forventes, da der er et større såkaldt wetting-tab¹ i den ældre målerstype. Dette ses ikke tydeligt (se Figur C). Der er områder med både stigning og fald i målt nedbør. Grundet samtidige ændringer i måler typer og nedbørsnetværk er en fuldstændig forklaring på dette ikke fundet.

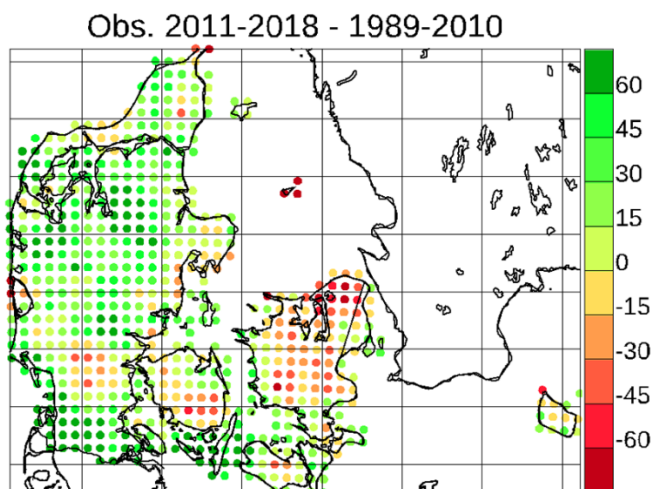
¹ Wettingtab er betegnelsen for fordampning af nedbør, der hænger fast på målerens indre overflade, i modsætning til fordampning fra en fri vandoverflade.



Figur A: Kortet viser diskontinuitetens størrelse og geografiske fordeling, i form af nedbørsændringer (millimeter pr. år) i gridet, korrigeret nedbør fratrukket ERA5 mellem de to perioder (2010-2018) – (1989-2010). Ved at fratække ERA5 tages der højde for evt klimatiske ændringer i nedbørsklimaet mellem de to perioder.



Figur B: Nedbørsstationsnetværket på to datoer før (2006) og efter (2012) målerskiftet.



Figur C: Forskellen mellem de to perioders årsnedbør (mm/år) for griddet, observeret nedbør.

3.2 Kan diskontinuiteten forklares med fejl i DMI's data?

DMI's analyse af ERA5-datasættet og DCE's og GEUS's analyse af afstrømningsdata angiver begge at der er forskel i størrelsen af griddet, korrigeret nedbør, når perioden før og efter ændringerne i stationsnetværket for nedbørsmålere sammenlignes. Ændringen i stationsnetværket for nedbørsmålere bestod i væsentlige ændringer i måler typer, antal nedbørsmålere og deres placering.

For at undersøge, hvorvidt der er en sammenhæng mellem afvigelsen i griddet nedbør og ændringerne i stationsnettet for nedbørsmålere, har DMI valgt systematisk at undersøge følgende:

- Gennemgang af produktkæde.
- Effekten af instrumentskiftet på observeret og korrigeret nedbør.
- Muligheden for at forbedre korrektion af observeret nedbør for Pluvio nedbørsmåleren.
- Effekten af udtydning af nedbørsnetværket.

3.2.1 Gennemgang af produktkæde - fra måling til produkt

For at sikre, at produktionen af klimadata foregår korrekt, er produktionskæden fra de rå observationsværdier til de færdige 10x10 km² griddede nedbørsdata blevet gennemgået. Der er ikke fundet nogen alvorlige afvigelser i data under gennemgangen, men undersøgelsen har afdækket tre områder, hvor der har været behov for ændringer:

1. Manglende opdatering af nedbørsstationernes lævinkler i en periode.
2. Supplerende kvalitetssikring for nedbør i perioden 2011 til og med 2019.
3. Ændring af interpolationsrutinen som bruges til beregning af griddet nedbør.

DMI har i forbindelse med undersøgelserne konstateret at nedbørsstationernes lævinkler² ikke er blevet opdateret i produktionsdatabasen i tre år. De nye lævinkler er nu blevet indlæst og produktionsdatabasen er opdateret. Det vurderes, at opdateringen i enkelte tilfælde kan have mindre betydning lokalt, men ikke på landsplan.

² Lævinkler er værdier, der beskriver, hvor eksponeret en nedbørsmåler står ift. vind, som har betydning for beregningen af korrigeret nedbør.

Nedbørsdata fra samtlige nedbørstationer kvalitetssikres rutinemæssigt tre gange i løbet af året, nemlig dagligt, ved månedens udgang og ved årets udgang af DMI's klimatologer. Det er disse kvalitetssikrede data, der benyttes som input i de nedbørsprodukter, NOVANA har adgang til. I forbindelse med nærværende undersøgelse er alle årsværdier i perioden 2011 til og med 2019 gennemgået endnu engang, med særlig fokus på at identificere nedbørsmålere, der i forhold til omkringliggende nedbørsmålere udviser afvigelser af en størrelsesorden, som ikke er klimatologisk plausibel. Om en nedbørsmåler konkret vurderes at måle for lidt/meget afhænger af mange ting, bl.a. klimatologisk forventning, generelt nedbørsniveau og variation i området, afstand til nabostationer, kyst-indland-forhold og om man kan genfinde afvigelsen over længere tid.

I den supplerende kvalitetssikring blev der lagt særlig vægt på at undersøge data fra Geonor-målerne, da der over tid er detekteret et signifikant skred i flere af disse målere i forhold til ERA5 (Olesen et al., 2021), der ikke kan forklares klimatologisk. Undersøgelsen har resulteret i, at der i gennemsnit blev ekskluderet yderligere fem Geonor-stationer pr. år og i alt blev ca. 4% af samtlige målinger ekskluderet fra de efterfølgende beregninger. Det er primært nedbørsstationer, der har observeret for lidt nedbør i forhold til ERA5, men der er også tilfælde, hvor stationer har observeret for meget. Det forventes, at den supplerende kvalitetssikring kan have stor betydning lokalt i både positiv og negativ retning. På landsplan vil man forventelig kunne se en svag øgning i nedbørsniveauet på op til 0,5 % i gennemsnit.

Produktionen af 10x10 km² griddet nedbør benytter som tidligere nævnt kvalitetssikrede tidsserier af stationsdata som input. De komplette stationsserier fremkom tidligere ved at evt. dataudfald på en station blev erstattet med syntetiske data beregnet vha. data fra omkringliggende stationer. Når alle målere er af samme type er dette nogenlunde robust i forhold til korrektion af nedbør, men med 3 forskellige typer nedbørsmålere efter 2010 gav dette en inkonsistens mht. korrektion af døgnnedbøren for en måler som havde haft dataudfald. Derfor er interpolationsrutinen nu ændret, så der ved beregning af korrigeret nedbør (døgnværdiberegning) er indført krav om at en station maksimalt må have to timeværdier pr døgn, der er beregnet på basis af omkringliggende nedbørsstationer for at indgå i beregningen. Hvis man udelukker nedbørsdata fra stationer, der kun mangler en enkelt timeværdi i døgnnet, vil stationsantallet i gridberegningen blive væsentligt reduceret. Det vurderes, at denne ændring af interpolationsrutinen kan have stor lokal betydning, men vil på landsplan kun have marginal betydning.

Hovedkonklusionen fra denne undersøgelse er:

- Den supplerende kvalitetssikring og skærpede krav til inputdata ved beregning af korrigeret nedbør har stor betydning lokalt i både positiv og negativ retning. På landsplan skønnes det, at tiltagene har forøget nedbørsniveauet til under en procent i gennemsnit.

3.2.2 Instrumentskift og effekt på observeret og korrigeret nedbør

I forbindelse med skiftet mellem de manuelle Hellmann nedbørsmålere og de automatiske Pluvio nedbørsmålere blev der på 60 lokationer gennemført en overlapsperiode fra den 15.12.2009 til den 01.01.2011.

Disse data har DMI anvendt til at undersøge om selve målerskiftet har betydet et skift i den observerede og korrigerede nedbør for perioden før 2010 i forhold til perioden efter 2010 (Vejen et al., 2021a).

Det er hidtil antaget, at de to nedbørsmålertypers (Pluvio og Hellmann) aerodynamiske egenskaber er ens, hvilket vil betyde, at der vil lande samme regnmængde i de to nedbørsmålere, og at kun wettingtabet ville resultere i en lavere observeret nedbørsmængde for Hellmann nedbørsmåleren.

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

Hellmann nedbørsmåleren.

Undersøgelsen af instrumentskift har to spor baseret på data fra overlapsperioden:

- 1) En direkte sammenligning mellem Hellmann og Pluvio nedbørsmålerne baseret på observeret nedbør i overlapsperioden.
- 2) Tilsvarende sammenligning af korrigeret nedbør beregnet for begge måletyper med samme metodik, der benyttes ved leverancer til NOVANA.

Der er betydelige tekniske og fysiske designforskelle mellem Hellmann og Pluvio nedbørsmålere. F.eks. er nedbørsmålerenes geometri ikke helt ens, hvilket har betydning for vindens flow omkring måleråbningen og dermed for hvor stor en del af den "sande nedbør", der rent faktisk bliver opsamlet. Derfor må der forventes en vis forskel i den observerede nedbørmængde for de to typer af nedbørsmålere.

Formålet med at korrigere nedbøren er at udligne den forskel i observeret nedbørmængde, der skyldes de to måletypers tekniske og designmæssige karakteristika. Hvis der vises en forskel i korrigeret nedbør, vil der være behov for at justere den beregningsmodel, der bruges til beregning af korrektionen.

Måleteknikken for de to nedbørsmålere betyder i sig selv, at der er forskelle i den observerede nedbørmængde, hvilket forklares i det følgende.

Hellmann nedbørsmåleren er manuel og har ud over det tab, der skyldes vinden, et yderligere tab der skyldes wettingtab. Måling af sne er en særlig udfordring, da sne kan være svær at fastholde i nedbørsmåleren, der højst kan rumme ca. 35 mm sne. Da nedbørsmåleren tømmes en gang i døgnet, kan dette give underestimering af store snehændelser. Kapaciteten for regn er fuldt tilstrækkelig for de maksimale nedbørmængder i Danmark.

Pluvio nedbørsmåleren er automatisk, idet nedbøren vejes kontinuert og en intern algoritme filtrerer støj fra samt justerer for tab af nedbør, der skyldes fordampning fra den fri vandoverflade i måleren og wetting. Pluvio nedbørsmåleren er forsynet med frostvæske, som fastholder snenedbør, og nedbørsmåleren har kapacitet til at måle alle relevante nedbørmængder i Danmark.

Målingerne fra de to typer nedbørsmålere i overlapsperioden er kvalitetssikret på daglig nedbør (dvs. åbenlyst fejlagtige observationer er sorteret fra). Der er screenet for fejl og mangler i data, som f.eks. kan skyldes tekniske fejl eller mangler i rapporteringen fra Pluvio nedbørsmåleren. Der er kun anvendt data fra Pluvio-Hellmann-målerpar, der står under nogenlunde samme læforhold og med kort indbyrdes afstand. Det betyder, at ca. 45 % af data fra de 60 stationer i overlapsperioden på 12,5 måneder må udelukkes fra analyserne. I de resterende data mangler der en del observationer for nogle af stationerne. Beregningerne er derfor baseret på 31 stationer med de mest komplette data for regn, slud og sne.

Sammenligningsanalyse opsummeres i Tabel 1. Resultaterne for de to typer nedbørsmålere er meget forskellige for regn, slud og sne.

For regn er det som forventet, at Pluvio nedbørsmåleren måler mest, da denne type nedbør ikke har noget wettingtab i modsætning til Hellmann nedbørsmåleren. Forskellen på 2,3 % er dog mindre end det forventede, da wettingtab normalt ville betyde, at Hellmann på årsbasis burde måle 4 % mindre regn end Pluvio ifølge en teoretisk beregning for et normalt nedbørsår. Forskellen på 2,3 % er dog så lille, at den vil være svær at se i tidsserier af årlig nedbør pga. størrelsen af de årlige variationer.

Vores undersøgelser tyder på, at Pluvio-nedbørsmålinger af regn er mere vindpåvirkede end hidtil antaget. Baseret på data fra ovennævnte Hellmann-Pluvio-målerpar er den korrigerede nedbør for Pluvio

nedbørsmåleren 2,15% lavere end den korrigerede nedbør for Hellmann nedbørsmåleren (se tabel 1). Det bemærkes at der er en betydelig variation fra målerpar til målerpar i intervallet fra -6 % til +1 %, hvor -2,15 % er et gennemsnitstal. Der er således betydelig usikkerhed på estimatet, men det er på de foreliggende data det bedste bud på en korrektionsfaktor. Korrektionen skal netop sørge for at udligne forskellen i observeret nedbør, og ovenstående indikerer, at de empiriske konstanter i korrektionsmodellen bør opgraderes til at korrigere regn observeret med Pluvio nedbørsmåleren mere korrekt.

Tabel 1: Sammenligning mellem Hellmann og Pluvio nedbørsmålere for observeret og korrigeret nedbør. Sammenligningen er udført for alle nedbørstyper, for sne og slud samt kun for regn. Den korrigerede nedbør for Pluvio nedbørsmåleren er marginalt lavere end for Hellmann nedbørsmåleren, men det dækker over, at korrektionen for Pluvio er højere end for Hellmann, når det er sne og slud, men lavere når det er regn.

Forskel Pluvio-Hellmann (%)	Regn, sne og slud	Sne og slud	Regn
Observeret nedbør	3,85	11,05	2,30
Korrigeret nedbør	-0,44	5,09	-2,15

For sne og slud måler Pluvio nedbørsmålere ca. 11 % mere end Hellmann nedbørsmålere. De primære forklaringer på forskellen for sne er de to nedbørsmåleres evne til at fastholde sneen, når først den er landet i måleren, samt til dels forskellen i kapacitet. Frostvæsken i Pluvio nedbørsmåleren smelter sneen, så den ikke kan blæse ud af måleren igen. Dette kan ske i Hellmann nedbørsmåleren, når mængden af sne i måleren nærmer sig målerens åbning. Hellmann nedbørsmåleren vil derfor være tilbøjelig til at observere for lidt sne.

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

- At de to måleres evne til at fastholde sneen som nævnt er forskellig.
- At de empiriske konstanter i 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 modsatte resultater for korrigeret nedbør af regn, slud og sne gør, at den samlede korrigerede nedbør kun er 0.4 % lavere for Pluvio nedbørsmålere end for Hellmann nedbørsmålere. Den korrigerede nedbør for Pluvio nedbørsmålere er således marginalt lavere end for Hellmann nedbørsmålere, men det dækker over, at korrektionen for Pluvio er højere end for Hellmann, når det er sne og slud, men lavere når det er regn. I overlapsperioden faldt der usædvanlig store snemængder i vinteren 2009-2010 og november-december 2010. Da regn siden da har været den dominerende nedbørstype, vil underestimeringen af korrigeret nedbør på 2,15 % være mest repræsentativ for et normalt år i perioden 2011 og frem.

For regn synes resultatet mere pålideligt af de tidligere nævnte tekniske årsager, og desuden er der i beregningerne udeladt vintermåneder og relativt kolde døgn for at undgå, at en evt. andel af sne i døgnnedbøren påvirker resultatet. Selvom resultaterne for regn på nedbørsstationsniveau varierer i forhold til det generelle billede i tabellen, giver det samlede resultat et pålideligt billede af forskellen mellem Hellmann nedbørsmålere og Pluvio nedbørsmålere for regn.

Det korrigerede datasæt beregnet vha. NOVANA-metoden³ for perioden før 2010 og for perioden efter 2010 viser som nævnt et inhomogent skift mellem perioderne. På baggrund af ovenstående undersøgelse af effekten af instrumentskift bidrager et løft af korrektionsniveauet for Pluvio nedbørsmålere på 2,15% til at mindske den påviste diskontinuitet for korrigeret nedbør.

Undersøgelsen af nedbørsmålerinstrumentets betydning for effekten på observeret og korrigeret nedbør har vist følgende:

- Pluvio nedbørsmålere observerer 2,30 % mere regn end Hellmann nedbørsmålere, men den korrigerede nedbør er 2,15 % lavere for Pluvio nedbørsmålere i forhold til Hellmann nedbørsmålere.
- Regn har de senere år været den altdominerende nedbørsform. Derfor er det på baggrund af ovenstående sandsynligt, at Pluvio nedbørsmålerne har bidraget til et for lavt korrektionsniveau. En generel justering af korrektionsniveauet for regn for Pluvio nedbørsmålere vil kunne kompensere for underestimeringen af regn.
- Overlapsperioden var usædvanlig snerig, og der kunne konstateres store forskelle mellem Hellmann og Pluvio nedbørsmålere for både observeret og korrigeret sne. Det vurderes dog, at resultaterne for sne er for usikre til at udlede noget generelt om forskellen mellem Hellmann og Pluvio, og der er derfor i mindre grad fokuseret på sne i det følgende. Mængden af sne 2011 og frem er ret begrænset, hvorfor det manglende resultat for sne kun har relativt lille betydning for den samlede korrigerede nedbørmængde.

3.2.3 Ny korrektionsmetode

Beregning af korrigeret nedbør foretages vha. en matematisk model, hvori empiriske konstanter indgår, der er fastlagt på basis af forsøg for de enkelte typer af nedbørsmålere (Vejen et al., 2021b). Modellen kan derfor benyttes til at korrigere nedbørobservationer fra en hvilken som helst nedbørmåler, hvis blot der er fastlagt empiriske konstanter for den pågældende nedbørmåler. Modellens matematiske struktur er fastlagt ved analyser af empiriske data for både sne, slud og regn. Arbejdet med ny korrektionsmetode handler *ikke* om at finde en ny modelstruktur, men om at bestemme nye empiriske konstanter, der giver en bedre beskrivelse af bias på den målte nedbør.

Det er hidtil antaget, at der for Pluvio nedbørsmålere kan benytte samme konstanter som for Hellmann-måleren, men undersøgelsen i forrige afsnit stiller væsentlige spørgsmålstejn ved, om denne antagelse er korrekt. Det skyldes som tidligere nævnt primært to forhold:

- Hellmann og Pluvio nedbørsmålere har ikke helt ens design-geometri, hvilket har betydning for nedbørsmålerens evne til at opfange nedbør.
- Korrektionsmodellen for sne og slud er baseret på målinger i Finland og de empiriske konstanter er måske ikke repræsentative for dansk område.

Det er derfor nødvendigt at udvikle nye empiriske konstanter for Pluvio nedbørsmålere. Der benyttes data fra to kilder:

- Observationer for perioden 2010-2019 af meteorologiske variable og nedbør ved et testfelt i Midtjylland fra HOBE-projektet, herunder observationer af den sande nedbør via. referencemålere

³ For at fungere optimalt, kræver korrektionsmodellen lokale målinger af vindhastighed, temperatur under nedbør samt nedbørstype og regnintensitet, men dette er ikke muligt for stationer, der kun måler nedbør. I NOVANA-metoden benyttes der i stedet 20×20 km² gridværdier af vindhastighed og temperatur på døgnbasis, nedbørstype bestemt ud fra gridværdier af temperatur og der benyttes klimaværdier for regnintensitet.

(Jensen, K. et al., 2004).

- Observationer fra overlapsperioden 2009-2010 mellem Pluvio og Hellmann nedbørsmålere.

Det er vha. HOBE-data forsøgt at fastlægge nye empiriske konstanter i korrektionsmodellen for regn for Pluvio nedbørsmålere. Imidlertid har testfeltet et vindklima, hvor det under nedbør ikke blæser så meget som i andre dele af landet. Derfor vil en opdatering af korrektionsmodellen med nye konstanter baseret på disse data have et gyldighedsområde for vindhastighed, der er for snævert i forhold til det faktiske vindklima i Danmark.

Underestimering af korrigeret nedbør for Pluvio nedbørsmålere er undersøgt i forhold til referencemåleren for regn. Det er fundet, at for vindregimet ved testfeltet er der en underestimering på ca. 1,1 %. Det er forsøgt undersøgt, om underestimeringen er afhængig af regnintensitet og vindhastighed. Statistiske analyser viser dog, at der ikke er tilstrækkeligt grundlag for at konkludere dette med sikkerhed.

Resultater baseret alene på HOBE-data kan pga. det begrænsede vindklima *ikke* anbefales til at fastlægge nye empiriske konstanter, der kompenserer for tab af nedbør som funktion af vindhastighed, og som gælder for regn målt med Pluvio.

I afsnittet om instrumentskift er fundet, at korrigeret regn er 2,15 % lavere for Pluvio nedbørsmålere i forhold til Hellmann nedbørsmålere. Dette tal er baseret på 31 nedbørsstationer med samtidige målinger af regn med de to typer nedbørsmålere placeret nær hinanden i den snefri delperiode marts til november 2010.

At afvigelsen er større for overlapsperioden end for data fra HOBE-testfeltet kan skyldes flere ting, der har at gøre med, at beregningsgrundlaget for de to sæt data er forskelligt:

- I HOBE er referencemåleren en nedbørsmåler i jordhøjde, i overlapsperioden er det Hellmann nedbørsmåleren 1,5m over terræn.
- I HOBE er vinden og nedbørstypen observeret lokalt, men for overlapsdata fås vindene og nedbørstypen fra 20x20 km² gridværdier mens regnintensiteten fås fra månedlige tabelværdier, der er fastlagt ved klimatologiske undersøgelser.

Dertil kommer, at i overlapsperioden er begge nedbørsmålere placeret "realistisk", dvs. som de faktisk står rundt om i landet med de udfordringer, der er mht. læforhold og turbulens lokalt, mens målerne i HOBE-testfeltet står optimalt, dvs. i et homogent vindfelt stort set uden påvirkning fra læforhold. Ved at anvende afvigelsen fra overlapsperioden inddrages effekterne af, at nedbørsmålerne i praksis ikke altid står optimalt placeret i forhold til at måle nedbør. Underestimeringen på 2,15 % for overlapsdata afspejler derfor i højere grad, end de 1,1 % fra HOBE-data, de forskelle, som NOVANA-metoden resulterer i ved overgangen fra det gamle stationsnetværk af nedbørsmålere til det nye stationsnetværk.

Afvigelsen har ført til, at der er tilføjet en ny konstant til de empiriske konstanter i korrektionsmodellen så der kan kompenseres for den generelle bias, der er konstateret mellem Hellmann og Pluvio nedbørsmålere. I praksis virker den nye korrektion for Pluvio nedbørsmålere som den gamle korrektion for Hellmann nedbørsmålere, men forøget med en faktor 1,0215, svarende til afvigelsen på 2,15 % mellem målerparrene i overlapsperioden.

For sne er datagrundlaget fra HOBE-testfeltet desværre for tyndt til udvikling af nye robuste empiriske konstanter, hvorfor de hidtidige konstanter fastholdes. Der er dog fundet evidens for, at snenedbør målt med Pluvio overkorrigeres med korrektionsmodellen for sne, hvilket formentlig også er tilfældet for Hellmann. Vinternedbør 1989-2010 er derfor muligvis overestimeret, hvilket kan have indført en systematisk forskel i korrigeret nedbør for de to perioder hhv. før og efter 2010, idet hyppigheden af sne er faldet betydeligt de senere år. Det har ikke været muligt at sætte tal på denne forskel. Der kan med fordel arbejdes mere med

snekorrektionen og dens eventuelle effekt på inhomogenitet for korrigeret nedbør, ikke mindst i forhold til perioden 1989-2010, hvor der faldt mere sne og slud.

Beregning af opdaterede konstanter i korrektionsmodellen for regn målt med Pluvio nedbørsmålere har givet følgende resultat:

- Data fra HOBE-testfeltet giver ikke tilstrækkeligt datagrundlag til at bestemme nye konstanter i modellen for regn for vindforhold der er repræsentative i hele Danmark. Dette gælder også for sne.
- For sne antyder HOBE-data, at de eksisterende konstanter i modellen for sne overestimerer korrektionen.
- Det er vha. data fra overlapsperioden fundet, at de eksisterende empiriske konstanter underestimerer korrektionen for Pluvio nedbørsmålere med ca. 2,15 % for regn.
- En tilføjelse af de empiriske konstanter i korrektionsmodellen for regn observeret med Pluvio nedbørsmålere giver en forøgelse af den korrigerede nedbør med en faktor (konstant) 1,0215, svarende til afvigelsen på ca. 2,15 % mellem Hellmann og Pluvio nedbørsmålere ved nedbørstationerne i overlapsperioden.

3.2.4 Fordeling af nedbørsstationer

DMI har undersøgt effekten af færre målere (figur B) på beregning af griddet, korrigeret nedbør i et 10x10 km² grid (Christiansen et al., 2021).

I perioden 2006 – 2011 overgik DMI fra et nedbørsmålnetværk med ca. 500 manuelle målere med aflæsning én gang i døgnet til et netværk med ca. 230 automatiske målere fordelt på tre typer. De registrerer hver især nedbør med en tidsopløsning på få minutter. En del af dem er opsat af og ejes af Spildevandskomiteens (SVK) medlemmer. De manuelle målere var ret jævnt fordelt ud over landet mens de automatiske er fordelt mere ujævnt, da SVK-målerne primært står i tætbefolkede områder.

Anvendelse af færre målere forventes at øge usikkerheden i det griddede nedbørsprodukt fra DMI, som DCE og GEUS anvender. Spørgsmålene er hvor meget, og om det fører til systematiske ændringer i estimatet af nedbør over Danmark. Nærværende undersøgelse er kun følsom over for ændringer i nedbørsmålerantal. Skiftet i typen af nedbørsmålere og ændringer i læforhold og nedbørsmængder som følge af flytning af nedbørsmålere, er ikke inkluderet i denne del af undersøgelsen.

Analysen er foregået ved at tage udgangspunkt i det tætte stationsnetværk i 1992 og derpå kunstigt udtynde dette stationsnetværk, så det svarer til det faktiske stationsnetværk i 2015. For dette 'udtyndede' stationsnetværk er griddet, korrigeret nedbør beregnet for teståret 1992 og sammenlignet med tilsvarende værdier af griddet, korrigeret nedbør baseret på det fulde stationsnetværk i 1992.

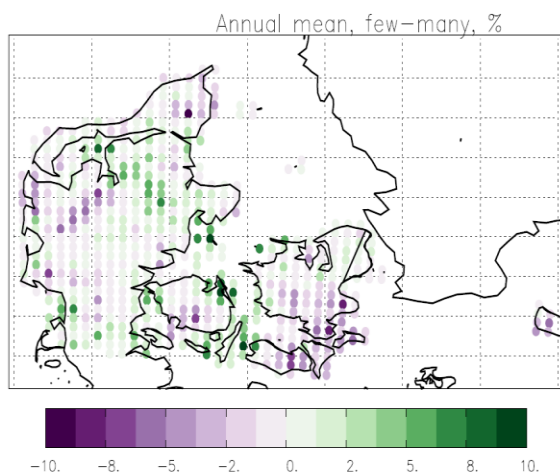
Det er verificeret, at analysen er robust i tid, dvs. resultaterne er stort set ens år for år for den undersøgte årsrække (1990 – 2009).

For at kunne udføre analysen tilstrækkeligt hurtigt er en simplificeret version af den metode, DMI anvender til NOVANA-gridning, udviklet. Det er i den forbindelse verificeret, at de to gridningsmetoder giver stort set samme resultater i teståret 1992.

Hvad angår den daglige middelnedbør over Danmark, giver det fulde datasæt beregnet med den simple metode, det udtyndede datasæt med den simple metode, og den originale NOVANA-gridning med det fulde datasæt meget ens resultater. Den årlige middelnedbør er 2,12 versus 2,11 mm/dag for griddet, korrigeret nedbør baseret på henholdsvis det fulde og det udtyndede stationsnetværk af nedbørsmålere – altså en forskel på ca. 0,5%.

Hvad angår den rumlige fordeling af årlig nedbør er griddet, korrigeret nedbør baseret på det fulde og

udtyndede stationsnetværk og griddet nedbør beregnet med NOVANA-metoden meget ensartede. På landsplan er der overordnet set kun ubetydelige forskelle. Differensplots af forskellen mellem griddet, korrigeret nedbør baseret på det fulde og det udtyndede stationsnetværk af nedbørsmålere viser lokale afvigelser i årsnedbør, der kan være op til 10% jf. figur D. De fleste lokale forskelle er dog under få procent. Både størrelsen og mønstret i afvigelserne er robust over tid (1990 – 2009), dvs. udtyndingen af stationsnetværket ser ud til at resultere i systematiske ændringer lokalt og regionalt.



Figur D: Relativ afvigelse i procent mellem årsnedbør beregnet vha. på baggrund af henholdsvis det udtyndede og det fulde stationsnetværk af nedbørsmålere.

Som tidligere nævnt er forskellene samlet set over hele Danmark meget små. På gridpunktsniveau er forskellene mellem årsnedbør baseret på henholdsvis det udtyndede og det fulde stationsnetværk af nedbørsmålere fordelt med et gennemsnit omkring 0 mm/dag med en standardafvigelse på 0,1 mm/dag, svarende til ca. 5 %.

For månedlig nedbør er forskellene større, dog i enkelte tilfælde over 20 % på gridpunktsniveau og endnu større for dagsværdier. Igen er middelværdien af forskellen mellem griddet, korrigeret nedbør baseret på henholdsvis det udtyndede og det fulde stationsnetværk af nedbørsmålere tæt på 0 for hele Danmark. For månedsværdier er forskellen totalt ca. 0 mm/dag med en standardafvigelse på 0,21 mm/dag, svarende til 14 %.

Med andre ord kan denne undersøgelse ikke påvise, at stationsudtyndingen af nedbørsmålere i sig selv har ført til en landsdækkende systematisk afvigelse, men stationsudtyndingen har betydelig lokal og regional betydning, ift. den måde data anvendes af NOVANA-partnerne.

DMI's samlede konklusion gælder hele Danmark. DCE og GEUS's målte afvigelser i oplande dækker ca. 50 % af Danmark. Man kan derfor ikke en-til-en sammenligne den afvigelse, som DCE og GEUS finder på baggrund af afstrømningsmålinger med DMIs resultat.

Gridberegningen i DMI's analyse af effekten af udtyndingen af stationsnetværket af nedbørsmålere og den gridberegning der foretages for NOVANA er ikke helt ens, men som tidligere nævnt viste en sammenligning mellem de to metoder for 1992 kun mindre forskelle, der vurderes ubetydelige for konklusionen.

Skift af type af nedbørsmålere og lokal omplacering af nedbørsmålere i forbindelse med perioden før 2010 og perioden efter 2010 indgår ikke i denne del af undersøgelsen.

Samlet set er konklusionen på undersøgelsen af effekterne af et reduceret stationsnetværk for nedbørsmålere følgende:

- Samlet set, for hele Danmark, kan det ikke påvises at uddyndingen af stationsnetværket for nedbørsmålere har medført en afvigelse af væsentlig betydning for griddet, korrigeret nedbør på landsplan.
- Derimod har uddyndingen af DMI's stationsnetværk af nedbørsmålere ført til en systematisk lokal og regional overestimering og underestimering af griddet korrigeret nedbør. Effekten er betydelig ift. den måde data anvendes af NOVANA-partnerne.
- Denne del af undersøgelsen angår specifikt effekten af reduktionen i antallet af nedbørsmålere.

4 Sammenfatning af DMI-undersøgelserne

På DMI og internationalt anvendes observeret nedbør og griddet, observeret nedbør i forbindelse med udarbejdelse af prognoser og varsler samt klimatologi. Der er den forbindelse ikke tidligere registreret eller rapporteret betydelige fejl eller mangler i observeret nedbør eller i griddet, observeret nedbør.

DMI leverer til NOVANA-partnerne et 10x10 km² griddet nedbørsprodukt baseret på korrigerede nedbørsmålerdata. Korrektionen tager hensyn til, hvordan vejr, type af nedbørsmåler og nedbørsmålerens omgivelser påvirker målingen.

NOVANA-partnerne ser betydelige udfordringer med nationale og især regionale forskelle i forbindelse med skiftet af DMI's stationsnetværk af nedbørsmålere i 2010. Baseret på DMIs nedbørsestimater efter 2010 ville NOVANA-partnerne overordnet set forvente mindre afstrømning via de danske åer end det som måles. Det er den diskontinuitet, som er baggrunden for nærværende undersøgelse.

4.1 Diskussion af DMI-undersøgelserne

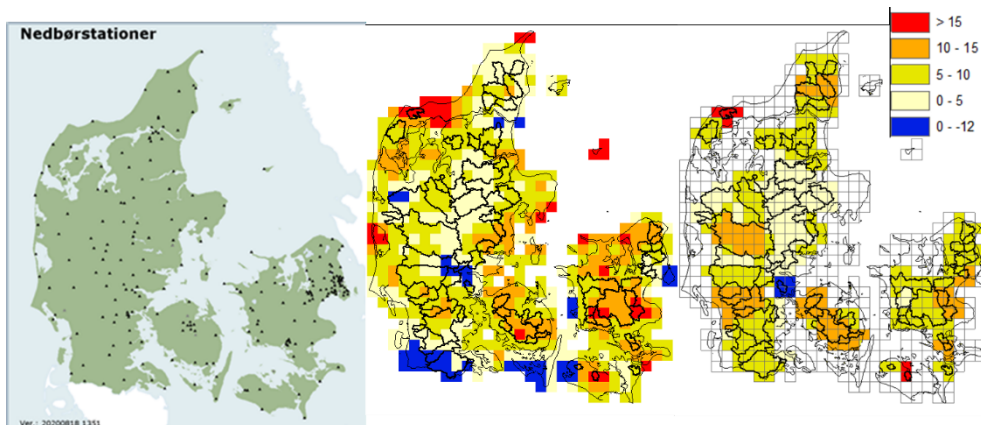
Ved gennemgang og analyse af enkeltelementer i den interne værdikæde i DMI fra målinger og kvalitetskontrol af data, over korrektion af nedbør, til beregning af griddet, observeret og griddet, korrigeret nedbør har DMI fundet forskellige muligheder for mindre forbedringer, men har ikke fundet forskelle, der hver især eller samlet forklarer den forskel, NOVANA-partnerne ser.

DMI's analyse af diskontinuitet bygger på en undersøgelse af mange års nedbørsmålerdata og sammenligning med andre datakilder. Frem til 2011 drev DMI et klimatologisk stationsnetværk af nedbørsmålere bestående udelukkende af manuelt betjente nedbørsmålere af Hellmann-typen. Nedbøren blev i hovedreglen aflæst én gang i døgnet. Fra 2011 overgik DMI til et automatiseret stationsnet af nedbørsmålere bestående af tre typer nedbørsmålere (Rimco, Geonor og Pluvio).

DMI har undersøgt diskontinuiteten ved at sammenligne DMI's to typer griddede nedbørsdata, baseret på henholdsvis observerede og korrigerede nedbørsmålinger, med uafhængige nedbørsdata (ERA5), der for nylig er frigivet af European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Denne undersøgelse viser godt 6% mindre korrigeret nedbør end "forventet" på landsplan i perioden efter 2010. De rødlige og gullige farve indikerer mindre nedbør og blå indikerer mere nedbør. Der er større regional afvigelser, op til 12 % (Figur E - midt).

GEUS og DCE har gennemført en tilsvarende undersøgelse baseret på afstrømningsmålinger for målte oplande hvor de finder et gennemsnitsligt nedbørsunderskud på ca. 8% (Figur E – højre).

En sammenligning af de regionale mønstre fra disse undersøgelser (Figur E) viser en del større afvigelser i områder, hvor stationsnetværket af nedbørsmålere er tyndt, men sammenhængen er ikke entydig.



Figur E: DMI's reducerede stationsnet (2012) [venstre], DMI's sammenligning med ERA5 (griddet, korrigeret nedbør fratrukket ERA5, 2011-2018 – 1989-2010, procentvis afvigelse) (midten) og GEUS' sammenligning mellem målt afstrømning for de bedst opmålte oplande og beregning på baggrund af DMI's griddet, korrigeret nedbørsdata (% , 2011-2019).

Efter dialog med NOVANA-partnerne er det besluttet at holde fokus på at finde årsager til diskontinuiteten, frem for at udarbejde et matematisk korrektionslag der kan rette fejl uden at beskrive årsager hertil. Denne beslutning bunder bl.a. i at der for centrale videre beregninger laves en bias-korrektion senere i produktionskæden. Til at belyse de mulige årsager til diskontinuiteten har DMI gennemgået hele produktkæden fra måling til modtager.

Ved kvalitetssikring af data er der fundet mindre fejl og mangler, der nu er tilrettet. DMI har undersøgt kvaliteten af de enkelte målertyper. Geonor-stationer er blevet dobbelttjekket og målinger som vurderes at være fejlbehæftede er fjernet. Korrektionskonstanter for Pluvio nedbørsmålere er ændret. På landsplan er effekten af en genberegning af griddede, korrigerede nedbørsdata en forøgelse af den samlede nedbørsmængde med ca. 1,9 %. Lokalt har det større effekt, med både positiv og negativ ændring i nedbørsmængde.

DMI har færdiggjort en genberegning, der inddrager alle disse rettelser, og har leveret den til NOVANA-partnerne.

Kvalitetssikringen af data og processer har primært haft fokus på de data og processer, der har indgået i den aktuelle leverance, nemlig for perioden 2011 og frem. Undersøgelserne peger på at det også er relevant at kvalitetssikre data fra perioden før 2011. Der er f.eks. fundet tegn på at vindkorrektionen for sne for de manuelle Hellmann-målere anvendt op til 2010 kan være for høj. De nuværende korrektioner er bestemt på baggrund af finske data (let, tør sne) som ikke nødvendigvis er tilstrækkeligt repræsentative for dansk snenedbør. Det kan være en af flere faktorer, der kan forklare den tilbageværende diskontinuitet.

Tilsvarende er der andre parametre i korrektionsmodellen, der kan genovervejes samt data før 2011, der med fordel kan kvalitetssikres igen således at der kan skabes yderligere klarhed over hvordan diskontinuiteten i korrigeret nedbør før/efter 2010 kan reduceres.

Det kan ikke påvises at udtynding alene på landsplan giver en afvigelse af betydning. Derimod fører udtynding til sammenhængende lokale og regionale områder med systematisk under- og overestimering. Mønstret i disse afvigelser viser delvise sammenfald med mønstret i afvigelser mellem DMI's griddet, korrigeret nedbør og ERA5, såvel som med den geografiske variation DCE og GEUS ser mht. afvigelser mellem målt og forventet afstrømning. På landsplan viser DMI's sammenligning med ERA5-data en diskontinuitet, som er af næsten samme størrelsesorden som den DCE og GEUS finder i forhold til

afstrømningsmålinger. Det bør dog bemærkes at DCE og GEUS målinger dækker ca. 50 % af Danmark, hvor DMI's analyse dækker hele Danmark.

4.2 Konklusioner fra DMI-undersøgelserne

DMI har foretaget en genberegning af både griddet, observeret nedbør og griddet, korrigeret nedbør, som anvendes i NOVANA sammenhæng. Genberegningen for griddet, observeret nedbør forøger DMI's nedbørsestimat med ca. 0,5% på landsplan efter 2010 og for griddet, korrigeret nedbør forøger DMI's nedbørsestimat med knap 2% på landsplan efter 2010, begge i forhold til DMI's tidligere estimat.

DMI kan fremhæve følgende konklusioner og status på undersøgelserne:

- Sammenligningen med ERA5 viser en afvigelse på -6 % på landsplan i griddet, korrigeret nedbør for perioden efter 2010 i forhold til perioden før 2010, hvor DCE og GEUS mangler 8 % nedbør for at kunne forklare afstrømningen i de oplande de måler på (ca. 50 % af Danmark).
- Det geografiske mønster i de fundne afvigelser i DMI's nedbørsdata i forhold til ERA5 viser et delvist sammenfald med de områder, hvor DMI har reduceret stationsnetværket af nedbørmålere hvilket også delvist påvises af DCE's og GEUS' afstrømningsanalyse.
- En overordnet IT-teknisk gennemgang af dataproduktionen, fra DMI modtager vejr- og nedbørsobservationer til det færdige griddede produkt leveres til DCE og GEUS, har vist, at der ikke er dataprocesmæssige eller programmeringsmæssige betydende fejl til stede.
- Der er udført ekstraordinær klimatologisk kvalitetskontrol på samtlige nedbørstationer, der indgår i grid-produkterne i perioden 2011-2019. Undersøgelsen identificerede et lille antal stationer med afvigelser (primært for lave værdier), der betød at de blev ekskluderet fra dataproduktionen.
- Ved beregning af griddet, korrigeret nedbør er der indført krav til at stationsværdier maksimalt må have to timeværdier i døgnet, der er beregnet på basis af omkringliggende stationer. Dette sikrer en mere korrekt beregning af den korrigerede nedbør.
- Korrektionskonstanter for Pluvio-nedbørmålerne er justeret på baggrund af en detaljeret analyse af samtidige målinger foretaget med Hellmann og Pluvio-målere i 2010. I 2015 udgjorde Pluvio målerne ca. 35 % (92 målere) af stationsnettet for nedbørmålere, men da dette net er geografisk inhomogent, er arealdækningen med Pluvio væsentlig større.
- Stationsudtyndingen har betydning for nedbørsværdierne lokalt og regionalt, og det synes åbenlyst at det nuværende stationsnet er for inhomogent og i visse områder for tyndt besat til i tilstrækkelig grad at kunne understøtte den ønskede nøjagtighed i griddet, korrigeret nedbør. På landsdækkende niveau kan udtyndingen ikke påvises at have betydning.
- Efter genberegningen ses stadig en diskontinuitet i DMI's griddet, korrigeret nedbør for perioden før 2010 og perioden efter 2010. Det tyder på at korrektionen i griddet, korrigeret nedbør for perioden før 2010 kan være utilstrækkelig. En af flere mulige årsager kan være den anvendte snekorrektion. Den er baseret på finske målinger som måske ikke er tilstrækkeligt repræsentative for sneforholdene i Danmark.

Samlet set konkluderer DMI, at der ikke er fundet betydende fejl i selve observationerne af nedbør, men at interpolationen af nedbør er påvirket af den ændring i stationsnettet, der skete omkring 2010. Ændringerne i griddet, korrigeret nedbør har i vid udstrækning et sammenfald med reduktionen i antallet af nedbørmålere, så de største ændringer generelt sker i områder, hvor nedbørnettet nu er tyndest. Samtidig er der identificeret et spring i den korrigerede nedbør, så den korrigerede nedbør har haft et lavere niveau i årene efter 2010 end før 2010. Dette spring hænger formentlig delvist sammen med ændring i instrument-type og er kun delvist rettet med genberegningen (gennemsnitlig forøgelse på 1,9% i griddet, korrigeret nedbør).

Det synes åbenlyst at det nuværende stationsnet for nedbørmålere er for inhomogent og i visse områder for tyndt besat til i tilstrækkelig grad at kunne understøtte den ønskede nøjagtighed i griddet, korrigeret nedbør.

Hvis udfordringerne med stationsnetværket skal løses, anbefales det derfor at udvide antallet af nedbørmålere i det nuværende stationsnet. På sigt bør nedbørsestimater baseres på en kombination af radardata og data fra nedbørmålere for at styrke registreringen af især bygevejr. Sideløbende med disse aktiviteter anbefales det ligeledes at fortsætte med kvalitetssikringen af data og processer – også for perioden før 2011.

Der vil med en evt. indførelse af nye observationsteknologier og beregningsmetoder være en åbenlys risiko for et nyt skift i og dermed tilføjelse af en ny diskontinuitet i de griddede nedbørsprodukter. Til gengæld vil nye observationsmetoder og beregningsmetoder give et mere præcist niveau fremadrettet af griddet, korrigeret nedbør.

For at undgå evt. nye diskontinuitetsproblemer bør aktiviteterne om at forbedre både det historiske og fremtidige datagrundlag samt udvikling af et nyt og forbedret nedbørsgrid til NOVANA ske i et tæt samarbejde mellem DCE, GEUS og DMI. Andre danske, hydrologiske interessenter som anvender eller bør anvende korrigeret nedbør kan med fordel indgå heri.

5 Forslag til den videre proces

Kommissoriets andet formål er at sikre en mere langsigtet løsning for samarbejde omkring DMI's leverance til NOVANA, herunder udarbejdelse af idékatalog for pilotprojekter. Arbejdsgruppen mellem DMI, DCE og GEUS har undervejs i projektet opbygget en fælles forståelse af vigtigheden og nødvendigheden for et fremadrettet tæt samarbejde om den videre drift og udvikling af DMI's leverance til NOVANA.

Som beskrevet i afsnit 1.1 har DCE og GEUS valgt at anvende DMI's genberegnete griddet, korrigeret nedbør til modellering for NOVANA-rapport 2019 (til udarbejdelse og publicering forår 2021) under forudsætning af, at den giver et bedre resultat end den tidligere beregnede griddet, korrigeret nedbør.

Arbejdsgruppen har primo 2021 igangsat et udredningsarbejde med henblik på at etablere en aktivitetsplan for det videre fælles arbejde på både kort sigt (leverancer til NOVANA-rapport "Vandløb 2020") og på længere sigt. En del af denne aktivitetsplan er også at sikre den fornødne organisering og finansiering af de valgte aktiviteter.

I dette afsnit beskrives forslag til den videre proces frem mod sommeren 2021 (afsnit 5.1) og på den længere bane (afsnit 5.2).

5.1 Forslag til proces for input til NOVANA-rapport 2020

På kort sigt skal DCE og GEUS udarbejde opgørelser af vand- og stofafstrømninger til NOVANA-rapport 2020 hvor input-data være klar til brug seneste juni 2021. Derfor skal DMI, DCE og GEUS vurdere, hvilke aktiviteter der med fordel kan og skal igangsættes for at understøtte en kortsigtet forbedring af nedbørsproduktet til primo juni 2021.

I den forbindelse er det tvivlsomt om der, inden næste leverance primo juni 2021, kan opnås signifikante forbedringer af tilstrækkelig betydning til kunne berettiggende et nyt genberegning af nedbørsgrid for perioden fra 2011 og frem. Det vil forventeligt skabe større værdi at fortsætte med den nuværende proces for beregning af nedbørsgrid samt en kvalitetssikring af data, der svarer til den netop gennemførte kvalitetssikring som input til afstrømningsmodellering til NOVANA-rapport 2020.

Det vil dog være relevant at fortsætte med afklaringen af årsager, der har forårsaget diskontinuiteten før og efter 2010. Som en del af aktiviteterne under arbejdsgruppen mellem DMI, DCE og GEUS er det drøftet

følgende kortsigtede aktiviteter:

- Detailundersøgelser for at skabe en bedre forståelse på lokalt og regionalt niveau med fokus på udvalgte oplande
- Fortsat analyse af korrektionsmodeller for nedbørsmålerne – herunder inddragelse af udenlandske testfelter og erfaringer, evaluering af snekorrektioner samt evaluering af nedbørsmåletyperne Rimco og Geonor.
- Igangsættelse af evaluering af nuværende stationsnetværk
- Udarbejdelse af opdateret kravspecifikation for griddet, korrigeret nedbør til NOVANA

Som nævnt i afsnit 1 er det generelt ikke produktivt og heller ikke attraktivt for DCE og GEUS med kortsigtede matematiske tilretninger for at imødekomme diskontinuiteten. Såfremt de ovennævnte aktiviteter giver anledning til betydende ændringer er det væsentligt at de bliver procesmæssigt inkorporeret i griddet, korrigeret nedbør til NOVANA i tæt samarbejde mellem DMI, DCE og GEUS for bedst muligt at støtte op om DCE's og GEUS' behov.

5.2 Oplæg til samarbejde om nyt 'autoritativt' nedbørsgrid

5.2.1 Baggrund

Krav og ønsker til nedbørsestimater til hydrologiske formål øges forsat – med behov for finere rumlig opløsning til at modellere vandkredsløb på oplandsniveau og længere tidsserier for at muliggøre vurdering af hydrologiske ændringer.

Antallet af Miljøstyrelsens målestationer i vandløb er øget fra cirka 300 til 500 siden 2016. De mange nye stationer har gjort det muligt at dække en større del af Danmarks areal med målinger end tidligere. Tilsvarende vil flere nedbørsmålestationer gøre det muligt at dække en større del af Danmark med retvisende nedbørsobservationer og give et forbedret datagrundlag til modellering af relationen mellem målt nedbør og målt afstrømning. Det er en nødvendig forudsætning for lokal klimatilpasning.

Ifølge Kommissoret skal arbejdsgruppen afdække potentialer for forbedring af nedbørsdata og anvendelsen af disse. I den forbindelse vil det være relevant at DMI, DCE og GEUS i fællesskab udvikler et fælles koncept for et nyt 'autoritativt' griddet nedbørsprodukt til generel brug for hydrologisk modellering af både DCE, GEUS og andre. En forudsætning for et robust og pålideligt produkt er tilstrækkeligt med nedbørsdata til gridberegningen både mht. kvalitet og geografisk udbredelse. Nedbørsdata kan både være i form af de traditionelle observationer fra nedbørsmålere og fra nye teknologier, der kan være med til at forbedre produktet. Her kan DMI især pege på anvendelse af radardata, som har en langt højere rumlig opløsning (ned til ca. 500 x 500 m²), end DMI's stationsnetværk af nedbørsmålere og yderligere undersøgelser af korrektionsmetoderne for forskellige typer nedbørsmålere vil være relevante.

5.2.2 Forslag

Arbejdsgruppen er i gang med at udarbejde et prioriteret idékatalog over relevante aktiviteter, der vil styrke produktet 'griddet, korrigeret nedbør' til NOVANA samt anvendelsen af produktet til hydrologisk modellering generelt.

Aktiviteterne er rettet mod to fokusområder. Det ene fokusområde i idékataloget er at fortsætte den videre afklaringen af diskontinuitetsproblematikken med det formål at tilvejebringe en endelig løsning. Aktiviteterne under afsnit 5.1 er en forudsætning herfor og det er væsentligt at skabe yderligere afklaring om både data, korrektionsmodeller og interpolationsrutiner mm. Det er vigtigt at forstå sammenhæng og effekt ikke kun på nationalt niveau men også på lokalt niveau gennem detailundersøgelser af udvalgte oplande. Løsning på kontinuitetsproblematikken kan i sidste ende komme til at bero på en robust matematisk datatilpasning baseret på viden om den historiske nedbørsfordeling observeret i perioden 1987-2020 når der er opnået

tilstrækkelig viden om data og processer.

Det andet fokusområde i idékataloget er udvikling af et nyt 'autoritativt' nedbørsgrid. Det baseres både på forbedring af beregningsmetode og i høj grad af flere og nye observationskilder. Det er nødvendigt med flere traditionelle nedbørsmålere med en mere homogenfordeling i landskabet og anvendelsen af radarobservationer til nedbørsestimering.

Forbedring af beregningsmetode

Forbedring af beregningsmetode vil fokusere på at generere mere præcise værdier af de parametre, der indgår i beregning af korrigeret gridnedbør. Grundlæggende er det nødvendigt at optimere nøjagtigheden af de meteorologiske parametre, der indgår i korrektion af nedbør, og at etablere nye empiriske konstanter i korrektionsmodellen til brug for denne korrektion. Gridværdier af vindhastighed, temperatur, nedbørstype og regnintensitet skal i højere grad end med den nuværende NOVANA-metode afspejle de aktuelle meteorologiske forhold ved nedbørstationerne, så usikkerheden på korrigeret nedbør bliver mindre. Det kan betyde introduktion af nye datatyper, der på basis af optimerede beregningsmetoder giver en mere realistisk simulering af den rumlige variation af vind, temperatur og nedbørstype, ikke mindst mht. gradienterne i kystzoner. Arbejdet med forbedring af beregningsmetoder mm. vil bl.a. hente inspiration fra internationale samarbejdspartnere og på basis af den nyeste internationale viden.

Udvidelse af eksisterende nedbørmålnet

Det anbefales kraftigt at der etableres flere nedbørsmålestationer til at imødekomme det stigende behov for mere detaljeret nedbørsdata på tværs af Danmark. Uddynding af stationsnetværket af nedbørmålere har åbenlyst haft negative konsekvenser for usikkerheden i både griddet, observeret og korrigeret nedbør. Der er områder, hvor afstanden mellem nedbørsmålere er betragtelig, og der er enkelte vandløbsoplande helt uden nedbørmålere. Det er nødvendigt at evaluere det eksisterende stationsnetværk af nedbørsmålere med henblik på at udbygge det, hvor det syntes mangelfuldt som kilde til griddet nedbør. Det er vigtigt, at udarbejdelsen af en ny placeringsstrategi for nedbørsmålere understøttes af en tæt dialog med de væsentligste aftagere af nedbørsdata således, at fremtidige behov i størst muligt omfang kan understøttes.

Radar til nedbørsestimering

Kombineret analyse af målinger fra nedbørsmålere og vejrradarer (såkaldt raingauge-justeret radarnedbør) kan give en bedre bestemmelse af fordelingen af nedbør. Nedbørsmålere kan meget præcist bestemme nedbørmængden i et punkt, men da nedbør kan udvise stor variation i tid og rum, er målingen kun repræsentativ i en begrænset afstand fra målingen. Hvor langt afhænger af nedbørens karakter, fx om det er udbredt nedbør eller byger. En vejrradar derimod kortlægger nedbørens rumlige fordeling i det meste af dens dækningsområde i stor detaljerighed (for DMI's radarer i en opløsning på ned til 500 m). Dog måler radaren ikke direkte den nedbør, som rammer jorden, men derimod reflektiviteten af nedbøren i en vis højde over jordoverfladen, og den højde øges med afstanden fra radaren. Der er forskellige fejlkilder på radarmåling af nedbør, men der kan i de fleste tilfælde korrigeres for disse med tilfredsstillende resultater. Radaren giver i sig selv ikke en nedbørmængde, der svarer til den, der er målt med nedbørmålere. Det er derfor nødvendigt at anvende observerede nedbørsdata fra nedbørsmålere til justering af den estimerede radarnedbør. Et sådant produkt, kaldet "Surface Quantitative Precipitation Estimate" (SQPE), er over de seneste år blevet udviklet ved DMI og er efter flere års præ-operationel evaluering ved at være klar til egentlig operationel anvendelse.

Det er oplagt at forsøge at kombinere observationer fra nedbørsmålere med radarobservationer, hvorved man opnår et produkt med langt større rumlig og tidlig opløsning end det griddede produkt, der anvendes i dag. Måske kan dette endda kombineres yderligere med andre teknologier/metoder som fx re-analyse, hvor

vejret kan estimeres flere årtier tilbage i tiden kalibreret efter bl.a. observeret nedbør. Forudsætningen for at kunne integrere radardata er et tilpas tæt stationsnetværk af nedbørsmålere for at sikre den nødvendige løbende justering af den estimerede radarnedbør. Flere nedbørsmålere vil derfor forbedre også radarproduktet.

Uanset hvilken ny vej der vælges kræver det en særlig indsats at sikre den rette udvikling og integration af de forskellige teknologier, og det vil være et flerårigt projekt. Det vil være en særlig udfordring at binde et sådant produkt sammen med den griddede tidsserie som DCE og GEUS har anvendt indtil nu.

En overordnet projektplan kan tage udgangspunkt i følgende aktiviteter:

- Fælles dialog om behov og anvendelse.
- Fortsat afklaring om nedbørsdata og processer for at finde årsager til diskontinuitetsproblematikken
- Udvidelse af DMI's netværk af nedbørsmålere i dialog med udvalgte kernebrugere (DCE, GEUS).
- Udvikling og integration af data fra vejrradarer.
- Beregning af usikkerheden i griddet nedbør.
- Forsøge på bygge bro til tidligere års nedbørsprodukter ved anvendelse af historiske radardata og re-analyse.

Med gennemførelse af aktiviteter forventer DMI fremover at ville kunne levere et repræsentativt og robust griddet nedbørsprodukt af høj kvalitet, der forventeligt ville kunne tilfredsstille behovene til hydrologisk modellering mange år fremover.

6 Referencer

Christensen, OB., Schmith, T., Christiansen, B., Scharling, M., Vedel, H., Ribergaard, MH. 2021, Sammenligning af nedbørsdata fra ERA5 reanalyse med korrigeret og observerede Klimagrid Danmark. Danmarks Meteorologiske Institut, -- DMI-rapport 21-37.

Christiansen, B., Vejen, F., Schmith, T., Scharling, M., Sarup, K., 2021. The sensitivity of gridded precipitation to the number of stations. Danmarks Meteorologiske Institut, -- DMI-report 21-34.

Giusti, M et al., 2021. Dokumentation om ERA5 reanalyse

<https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation>

Data er tilgængelige gennem Copernicus Climate Change Service (C3S): ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS). <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>

Jensen, K. H., Illangasekare, T.H. (2011): HOBE – a hydrological observatory in Denmark. *Vadose Zone Journal*. 10:1-7, doi:10.2136/vzj2011.0006.

Olesen, M & Scharling, M 2021. Analyse af DMI's nedbørsmålere af typen Geonor. Danmarks Meteorologiske Institut, -- DMI-rapport 21-36.

Svendsen, LM. & Jung-Madsen, S (red) 2020. Homogenitetsbrud og potentielle fejl i nedbørsdata. Eksempler på konsekvenser for myndighedsbetjeningen. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 28 s, -- Fagligt notat nr. 2020/51.

Thodsen, H., Tarnbjerg, H., Blicher-Mathisen, G., Højberg, AL., Stiesen, S. Troldborg, L. 2020. Betydning af sandsynligvis underestimeret nedbør på den beregnede tilførsel af vand, kvælstof og fosfor til havet. Aarhus Universitet, Institut for Bioscience & De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) 2020. -- Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 185

Vejen, F., Vedel, H., Scharling, M., 2021a. Betydning af instrumentskiftet fra manuel nedbørmåler netværk til automatisk nedbørmåler netværk? Danmarks Meteorologiske Institut, -- DMI-rapport 21-38.

Vejen, F., Vedel, H., Scharling, M., 2021b. Korrektion af observeret nedbørsdata for Danmark. Danmarks Meteorologiske Institut, -- DMI-rapport 21-39.

7 Terminologi

Diskontinuitet I denne sammenhæng et tidligt spring i en nedbørsdataserie eller i en beregnet å-afstrømnings-dataserie baseret på en nedbørsdataserie.

Inhomogenitet I denne sammenhæng en rumlig ændring i det målte nedbørsmønster over Danmark, fx forårsaget af en reduktion i målerantal og ændringer i målernes geografiske position.

NOVANA-metoden for korrigeret nedbør

Modellen til korrektion af nedbørobservationer kræver lokale målinger af vindhastighed, temperatur under nedbør samt nedbørstype og regnintensitet for at fungere optimalt, men dette er ikke muligt for stationer, der kun måler nedbør. I NOVANA-metoden benyttes der i stedet 20×20 km² gridværdier af vindhastighed og temperatur på døgnbasis, nedbørstype bestemt ud fra gridværdier af temperatur og der benyttes klimatologiske værdier for regnintensitet.

Lokalt I et mindre område omkring en enkelt nedbørmåler

Regionalt I et større område med flere nedbørmålere. Ikke identisk med et å-opland, man sammenligneligt i geografisk udstrækning.

Wetting-tab Betegnelsen for fordampning af nedbør, der hænger fast på målerens indre overflade, i modsætning til fordampning fra en fri vandoverflade.

Lævinkler Værdier, der beskriver hvor eksponeret en nedbørmåler står ift. vind. Det har betydning for beregningen af korrigeret nedbør.

Re-analyse Data fra en vejrmodel kørt for en flere årtier lang periode. Vejrmodeller anvender mange, mange forskellige typer observationer, og er dermed ret robuste over for ændringer i enkelte observationssystemer. Specifikt i sammenhæng med denne rapport anvender ERA5 derudover ikke de danske nedbørsdata. Fordelen ved en re-analyse i stedet for samling af gamle data fra vejrmodeller, er at ved en re-analyse benyttes samme model gennem hele forløbet, dvs. ændringer som skyldes modelændringer ses ikke i re-analyse data, mens vejrmodellerne løbende bliver forbedret. Desuden vil der ofte indgå flere og bedre kvalitetskontrollerede observationer i en re-analyse end i en vejrmodel.

Klimatologi DMI's myndighedsopgave vedr. tilvejebringelse af data og formidling af det gennemsnitlige vejr og det gennemsnitlige vejrs tids- og rumlige variation samt udvikling. Den klimatologiske information i denne rapport kontekst består af data baseret på observationer fortaget over hele Danmark. Klimatologiske data består som minimum af fagligt kvalitetssikrede daglige værdier, der beregnes til måneds, sæson og årsværdier samt referenceperioder som f.eks. 30 års klimanormal.

Korrektion af nedbørsmålere: se NOVANA-metoden for korrigeret nedbør