

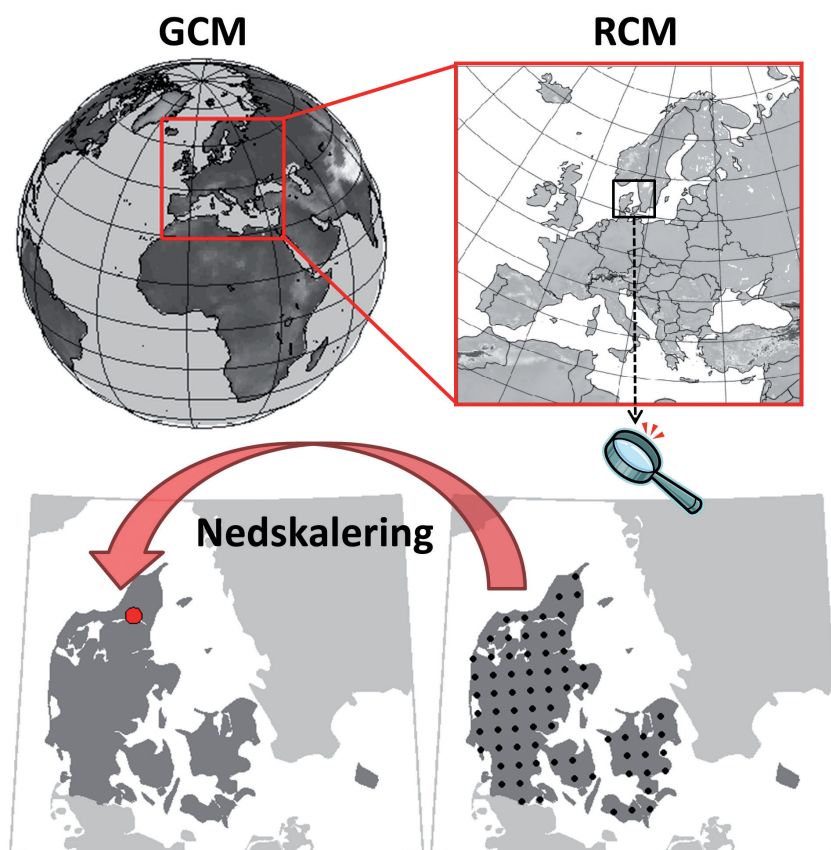
# Klimamodeller og fremtidens ekstremnedbør

Klimamodeller er et uundværligt værktøj når effekten af den menneskelige udledning af drivhusgasser skal vurderes. Før modellernes simuleringer kan anvendes i konsekvensstudier er skalering til høj opløsning i tid og sted nødvendigt. Ved at benytte en række metoder på flere klimamodeller opnås en god forståelse for usikkerheden på fremtidens klima.

IDA BÜLOW GREGERSEN, HENRIK MADSEN & KARSTEN ARNBJERG-NIELSEN

Klimændringer og deres effekt på det danske vejr er et emne, der interesserer mange både privat og på et professionelt plan. Den seneste rapport fra FN's klimapanel, IPCC, konkluderer entydigt, at klimaet vil ændre sig som konsekvens af de menneskelige udledninger af drivhusgasser /1/. I flere ingeniørmæssige sammenhænge er der derfor behov for at inddrage klimændringerne i beregningerne, f.eks. når der udarbejdes langsigtede planer for udvikling af by- og landområder, på vandressourceområdet og ved store anlægsprojekter. På afløbsområdet skal alle kommuner udforme en klimatilpasningsplan. Både Naturstyrelsen /2/ og Spildevandskomiteen /3/ har offentliggjort vurderinger af hvor meget de dimensionsgivende nedbørsintensiteter forventes at ændre sig som konsekvens af den menneskelige udledning af drivhusgasser.

Projektioner af fremtidens klima stammer fra globale og regionale klimamodeller, som har udviklet sig meget hurtigt over det sidste årti. Det Europæiske ENSEMBLES projekt har koordineret og samlet klimamodellørslser fra førende europæiske meteorologiske forskningsorganisationer for at vurdere usikkerheden på klimamodellernes projektioner. Klimamodellerne fra ENSEMBLES simulerer nedbør over en flade på 25 x 25 km. Dette er ret forskelligt fra de dimensionsgivende nedbørsintensiteter til afløbsdesign, der estimate-



**Figur 1:** Fra global klimamodel til ændringer i dimensionsgivende nedbørsintensiteter et vilkårligt sted i Danmark. Den globale klimamodel driver den regionale klimamodel, som har en langt finere rumlig opløsning. Fra den regionale klimamodel udtrækkes relevante klima variable for Danmark, der benyttes til nedskalering. Herved opnås information om ændring i ekstremnedbør i et givet punkt. Figuren er produceret med hjælp fra Ole Bøssing Christensen.

res fra Spildevandskomiteens netværk af regnmålere. Derudover er det en kendt problemstilling, at klimamodellerne er behæftet med fejl, der betyder, at de statistiske

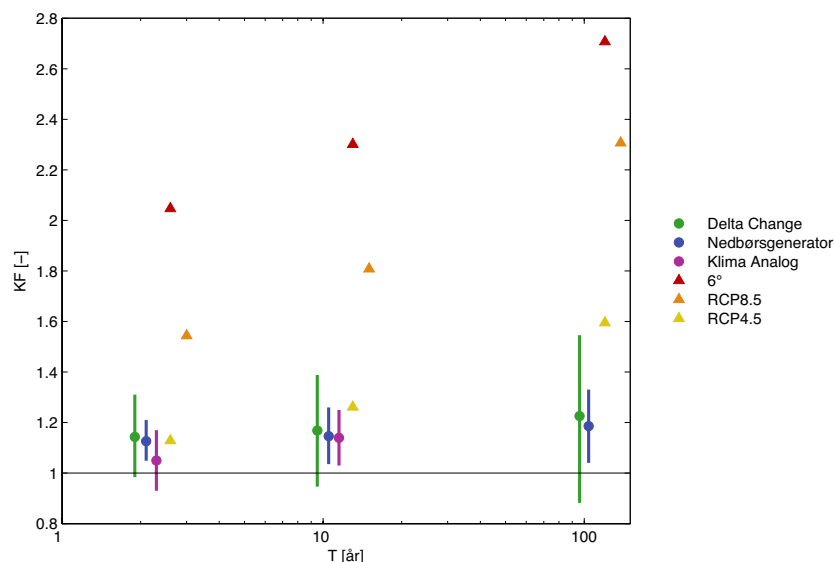
egenskaber for den simulerede nedbør adskiller sig fra observeret nedbør over en tilsvarende flade. Blandt andet er antallet af dage med tørvejr ofte alt for lavt og nogle mo-

deller simulerer urealistiske høje nedbørsintensiteter. Derfor må man ud over nedskalering fra flade- til punktnedbør også fejlkorrigere klimamodellernes simulerede nedbør. Figur 1 viser den samlede procedure.

Der findes en lang række statistiske værktøjer til nedskalering og fejlkorrigering. I danske studier /4/ har især tre forskellige metoder fundet anvendelse (se Boks 1). Styrken ved at benytte alle tre metoder og efterfølgende sammenligne resultaterne er, at de bygger på meget forskellige antagelser og forskellige variable fra klimamodellernes simuleringer. Når de tre metoder anvendes på alle klimasimuleringer fra ENSEMBLES projektet, med hele Danmark som studieområde, opnår man derfor en robust vurdering af ændringen i ekstremnedbør og tilhørende usikkerhed (Figur 2).

Det ses, at alle metoder peger imod en stigning i de dimensionsgivende intensiteter, og at middelværdien for de analyserede klimamodeller for hver metode ligger forholdsvis tæt, hvilket indikerer, at resultatet er rimeligt robust. Ved brug af klima analoger er der identificeret et analogt klimaområde i det nordlige Frankrig ud mod kysten, se Figur 3. Herfra var det muligt at skaffe dimensionsgivende intensiteter fra fem nedbørstationer, men ikke viden om målemetode, måleperiode eller selve målingerne. Usikkerheden på klimafaktorens størrelse er estimeret ud fra dette datasæt og bør derfor betragtes med forbehold. Detaljerede undersøgelser af usikkerheden på de to andre metoder viser, at denne både stammer fra variationen mellem klimamodellerne samt variationen over Danmark (se Figur 4).

Nogle klimamodeller giver ret forskellige resultater for et fremtidigt klima, f.eks. giver model nr. 1 et generelt fald i de dimensionsgivende intensiteter, imens model nr. 2 projekterer en stor stigning (se Figur 4). Når det er sagt peger flertallet af modellerne dog mod en stigning. Nogle klimamodeller viser en tydelig forskel over Danmark, f.eks. model nr. 13, der angiver højere klimafaktorer i det nordlige og østlige Danmark. Dette mønster genfindes dog ikke i nogen af de andre simuleringer, hvilket antyder, at der ikke er baggrund for at benytte varierende klimafaktorer for Danmark. Med den samme klimamodel som udgangspunkt opnår de to forskellige



**Figur 2:** Klimafaktorer (KF) for en 2, 10 og 100-års hændelse, for ekstremnedbør af 1 times varighed. Resultaterne for de tre metoder er angivet med grøn, blå og magenta, hvor de vertikale linjer angiver et 68 % konfidensinterval og midtpunktet den mest sandsynlige værdi. Det var ikke muligt at få resultater for en gentagelsesperiode på 100 år fra det analoge klimaområde. Alle er baseret på A1B scenariet. De tre trekanter repræsenterer forskellige enkeltstående simuleringer med alternative scenarier for udviklingen af koncentrationen af drivhusgasser i atmosfæren, og spændet mellem dem indikerer usikkerheden omkring valg af scenarie /5/. Klimafaktorerne repræsenterer en fremskrivningshorisont på 100 år.

nedskaleringsmetoder ofte et lignende resultat over Danmark, hvilket dog ikke er tilfældet for model nr. 8, 9, og til dels 4.

Klimasimuleringer fra ENSEMBLES projektet er alle drevet af det samme scenarie (A1B) for udviklingen af koncentrationen af drivhusgasser i atmosfæren. Usikkerheden omkring valg af scenarie bør dog også evalueres. IPCC arbejder med flere forskellige scenarier der alle er lige sandsynlige. Figur 2 viser de beregnede klimafaktorer baseret på DMI's klimamodel med tre andre scenarier: et middel scenarie (RCP4.5), et højere udledningsscenarie (RCP8.5) og et scenarie svarende til en global temperaturstigning på 6 grader (6°C). Af dette ses, at scenariesusikkerheden er stor og dermed vigtigt at tage i betragtning sammen med forskellen mellem klimamodeller og nedskaleringsmetoder samt variationen over Danmark. Alle fire elementer er på bedst mulig vis inkluderet i de nyeste anbefalinger fra Spildevandskomiteen /3/. Heri angives udover standard klimafaktorer, som angiver den mest sandsynlige effekt af klimaændringerne for tre forskellige gentagelsesperioder, også et sæt høje klimafaktorer, som repræsenterer det bedste

bud på 84 % kvartilen, se Tabel 1. Sidstnævnte kan anvendes ved planlægning af klimatilpasningsstrategier som et 'worst-case'-scenarie, og derigennem give en øget forståelse for effekten af usikkerheden omkring klimaændringerne.

#### Tak til

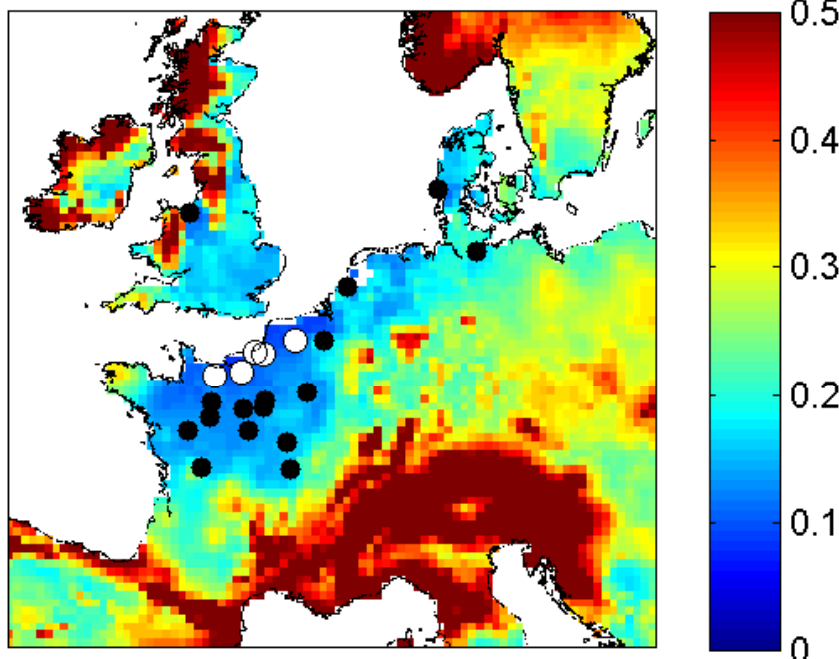
Forfatterne takker Simon Funder og Jakob Luchner fra DHI samt Maria Sunyer fra DTU Miljø, for deres bidrag til resultaterne. Forskningsprojekterne bag de præsenterede resultater er realiseret med støtte fra Det Strategiske Forskningsråd og Vandsektorens Teknologiuudviklingsfond.

#### Referencer

- /1/ IPCC 2013. (Eds.) Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex og P.M. Midgley. IPCC: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- /2/ Naturstyrelsen 2013. Klimatilpasningsplaner og klimalokalplaner – vejledning. Rapport 2013:02, Naturstyrelsen, Miljøministeriet, København, Danmark. Tilgængelig online August 2014 [http://klimatilpasning.dk/media/670126/klimatilpasningsvejledning\\_webv2.pdf](http://klimatilpasning.dk/media/670126/klimatilpasningsvejledning_webv2.pdf)
- /3/ SVK 2014. Skrift nr.30 – Opdaterede klimafaktorer og dimensionsgivende regnintensiteter. IDA Spildvands-

**Tabel 1:** Anbefalede klimafaktorer til dimensionering af afløbssystemer /3/.

|                   | Standard | Høj  |
|-------------------|----------|------|
| 2-års hændelse    | 1,2      | 1,45 |
| 10- års hændelse  | 1,3      | 1,7  |
| 100- års hændelse | 1,4      | 2,0  |



**Figur 3:** På basis af alle klimamodelle i ENSEMBLES projektet er der udregnet et mål for hvilke områder i Europa fremtidens Danmark kan sammenlignes med. Den lave ende af skalaen repræsenterer den største lighed. Ændringer i månedlig temperatur og nedbør, samt daglige nedbørsextremer er taget i regning. De fem udvalgte stationer i det nordlige Frankrig er markeret med rødt. Figuren er reproduceret fra /4/.

komiteen. Tilgængelig online August 2014 [http://ida.dk/sites/prod.ida.dk/files/svk\\_skrift30\\_0.pdf](http://ida.dk/sites/prod.ida.dk/files/svk_skrift30_0.pdf)

/4/ Sunyer, M.A., Gregersen, I.B., Madsen, H., Luchner, J., Rosbjerg, D. og Arnbjerg-Nielsen, K. 2014. Comparison of different statistical downscaling methods to estimate changes in hourly extreme precipitation using RCM projections from ENSEMBLES. International Journal of Climatology. Accepteret og publiceres med DOI: 10.1002/joc.4138.

/5/ Gregersen, I.B., Sunyer, M.A., Madsen, H., Funder, S., Luchner, J., Rosbjerg, D. og Arnbjerg-Nielsen, K.

## Boks 1

### Delta Change metoden for ekstremnedbør

Der udvælges to 30 år lange perioder, 'kontrol' og 'scenarie' med simuleret nedbør fra klimamodellen. Dette er en periode, hvor det simulerede klima ikke er kraftigt påvirket af den menneskelige udledning af drivhusgasser. I scenarieperioden drives klimamodellen af et givet scenarie for udviklingen af koncentrationen af drivhusgasser i atmosfæren. Ekstremnedbøren analyseres med statistiske metoder og på baggrund heraf kan nedbørshændelser svarende til forskellige gentagelsesperioder estimeres for begge perioder (T-års hændelser). Efterfølgende defineres klimafaktoren som forholdet mellem T-års hændelsen for scenariet og T-års hændelsen for kontrolperioden. En klimafaktor over én svarer til en stigning i ekstremnedbør.

I Delta Change metoden antages det, at klimamodellens simuleringsfejl er ens i de to perioder samt, at den relative ændring i ekstremnedbør over en flade svarer til den relative ændring i det punkt som en regnmåler repræsenterer.

### Nedskalering med nedbørsgenerator

En nedbørsgenerator kan efter kalibrering generere syntetiske nedbørsserier med statistiske karakteristika, der svarer til observeret nedbør fra et udvalgt datasæt. Et eksempel på en sådan generator er programmet RainSim /6/, der er anvendt i andre sammenhænge med succes. Brugeren kan vælge at kalibrere efter en lang række forskellige nedbørskaraktistika, men ofte benyttes middelværdien, variansen og skævheden af daglig nedbør samt sandsynligheden for en tørvejrdsdag /4/. Den relative ændring i alle disse parametre estimeres ud fra klimamodellernes simuleringer på samme måde som for T-års hændelsen i Delta Change metoden. Herved kan der estimeres

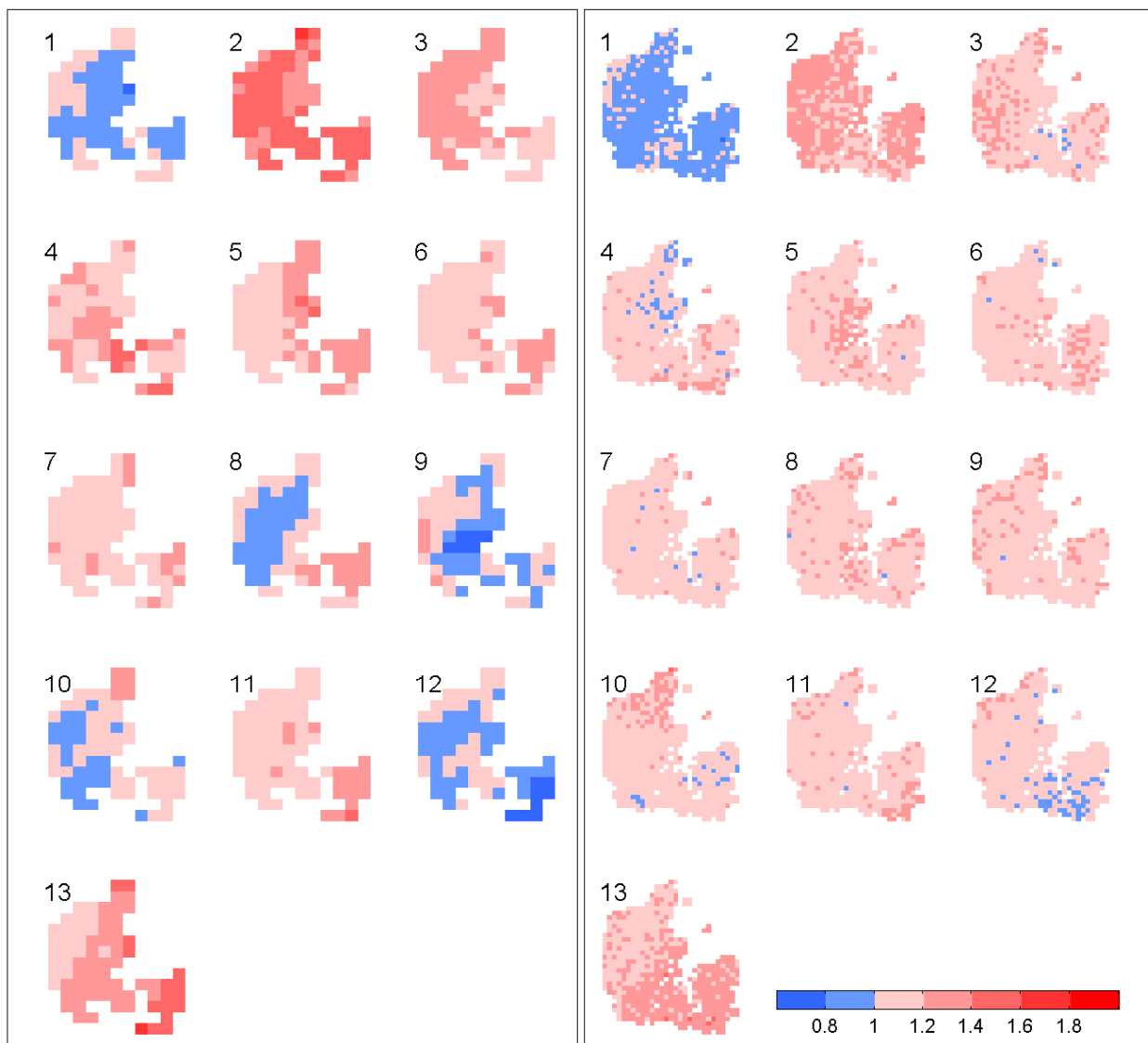
nedbørskaraktistika for 'fremtidens nedbør' og vha. RainSim genereres syntetiske nedbørsserier for denne. Serien bliver efterfølgende nedskaleres i tid til en opløsning på 1 time. De dimensionsgivende T-års hændelser estimeres til sidst ud fra de syntetiske serier. Om serierne er punkt eller fladen nedbør over et givent areal afhænger af hvilket datasæt man har benyttet til kalibrering.

Antagelserne bag nedbørsgeneratoren svarer meget til antagelserne bag Delta Change metoden med den forskel, at der ikke laves analyser direkte på klimamodellens ekstremnedbør. Dette anses af mange som en fordel, da der i litteraturen ofte sættes spørgsmålstejn ved klimamodellernes evne til at simulere ekstremnedbør /7/.

### Analoge klimaområder

I denne metode benyttes udvalgte klimatiske indikatorer til at finde et område i Europa, som i dag har det klima, Danmark forventes at få i fremtiden. Observerede nedbørsserier eller dimensionsgivende intensiteter fra det udvalgte område kan herefter benyttes som fremtidens nedbør. Det er igen klimamodellernes simuleringer, der benyttes til at vælge det analoge klimaområde. Det er subjektivt hvilke klimatiske indikatorer fra modellen, der skal ligge til grund for valget, i /4/ lægges der størst vægt på månedlig variation af temperatur og nedbør.

Styrken ved denne metode er, at klimamodellens simuleringer bruges på en temporal skala (månedlig), hvor der i litteraturen er enighed om, at modellens resultater er forholdsvist realistiske. En svaghed er dog, at de analoge klimaområder måske slet ikke findes eller, at de valgte klimatiske indikatorer ikke er tilstrækkeligt beskrivende for variationen i de dimensionsgivende nedbørintensiteter.



**Figur 4:** Variationen af klimafaktoren over Danmark for en 2-års hændelse med en times varighed. Resultater er vist for de 13 klimamodelsimuleringer (nr. 1-13) med de to nedskaleringsmetoder; Delta Change metoden (venstre), og nedbørsgeneratoren (højre) kalibreret til at simulere nedbør over en flade på 10x10 km<sup>2</sup>. Figuren er reproduceret fra /4/, som også angiver hvilken klimamodelsimulering fra ENSEMBLES projektet de forskellige numre svarer til.

2014. Past, present, and future variations of extreme precipitation in Denmark. Teknisk Rapport, DTU Miljø, Lyngby, Danmark.  
/6/ Burton, A., Kilsby, C.G., Fowler, H.J., Cowpertwait, P.S.P. og O'Connell, P.E. 2008. RainSim: A spatial-temporal stochastic rainfall modelling system. Envi-

ronmental Modelling & Software. 23(12), 1356-1369.  
/7/ Lenderink G. og Meijgaard E.v. 2008. Increase in hourly precipitation extremes beyond expectations from temperature changes. Nature Geoscience, 1(8), 511-514.

IDA BÜLOW GREGERSEN (idbg@env.dtu.dk), Ph.d. studerende ved Institut for vand og miljøteknologi, Danmarks Tekniske Universitet, KARSTEN ARNBERG-NIELSEN, professor på samme institut og HENRIK MADSEN er Innovationschef på DHI.

# Restaurering af vandløb og søer. Er du klar til handling?

**Handleplanerne for vandløb og søer skal realiseres, og Grontmij står klar med nyeste viden og hjælp i alle faser – fra forundersøgelser, monitoring og valg af restaureringstiltag til detailprojekter, udbud og tilsyn.**

**Læs mere på [grontmij.dk](http://grontmij.dk)**

Grontmij er en af de største europæiske rådgivende ingeniørvirksomheder med stærke ekspertiser inden for miljø. I 2013 har Environment Analyst for tredje gang gennemført en analyse af de førende rådgivere i verden inden for miljøområdet. Analysen omfatter 22 af de største virksomheder i branchen, og målt på omsætning er Grontmij førende på området i Europa. Grontmij står også stærkt inden for energi, bæredygtigt byggeri, veje, letbaner.

# Ændringer og variationer i ekstremregn fra 1874 til 2100

Ændringer i ekstremregn over de sidste 20-30 år har været meget kraftig sammenholdt med klimamodellernes scenarier for fremtiden. Mange ingeniørmæssige discipliner er afhængige af viden omkring nutidens og fremtidens dimensionsgivende nedbørsintensiteter. Det er derfor essentielt at vurdere hvad stigningen kan skyldes. Analyser af historiske nedbørmålinger giver ny viden på området.

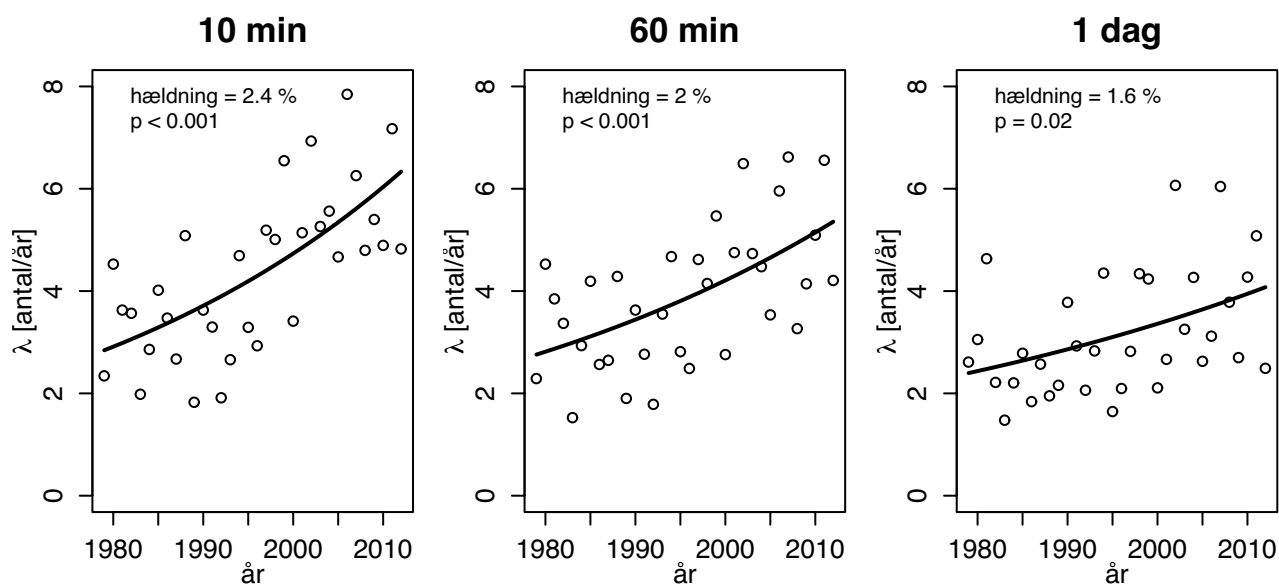
IDA BÜLOW GREGERSEN, HENRIK MADSEN & KARSTEN ARNBJERG-NIELSEN

Inden for de seneste år har flere danske og europæiske storbyer oplevet omfattende oversvømmelser med store økonomiske konsekvenser til følge. Samtidig er vores viden om klimaændringernes effekt på ekstremregn vokset sammen med det tilgængelige datamateriale på området. Det er essentielt at vurdere hvor store potentielle ændringer

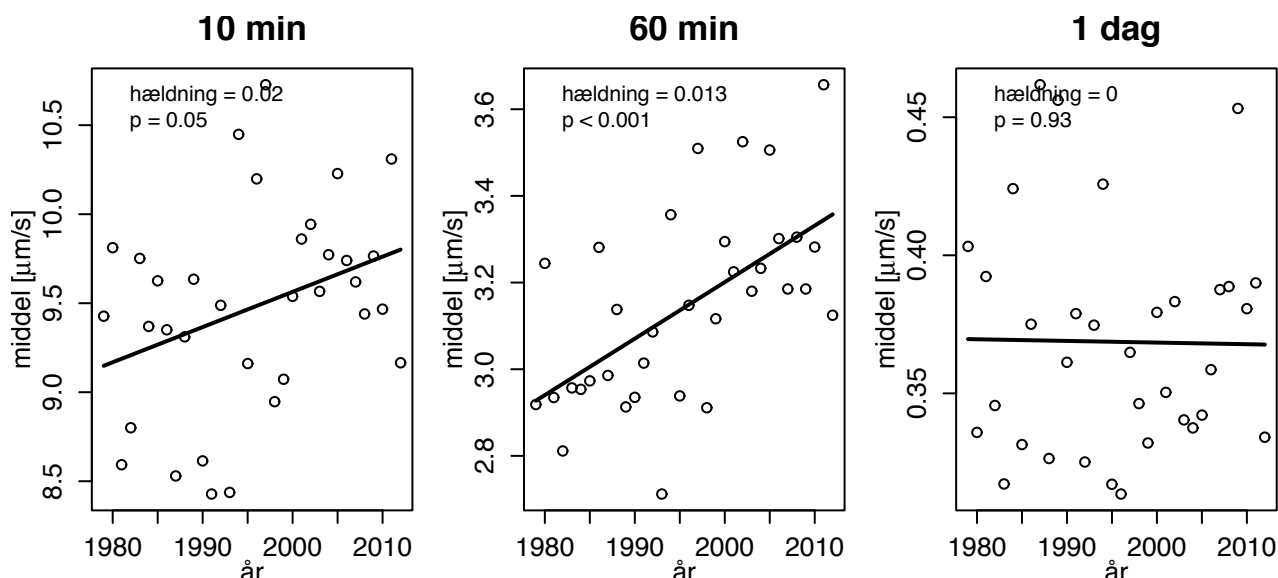
i ekstremregn, vi kan forvente som konsekvens af den menneskelige udledning af drivhusgasser, da der i mange ingeniørmæssige sammenhænge er behov for at tage klimaændringerne i regning. I 2013 besluttede Regeringen at alle kommuner skal udforme en klimatilpasningsplan for håndtering af skybrud. De færreste er i tvivl om, at det er en svær opgave at vurdere hvordan fremtidens klima bliver, og projektioner fra klimamodeller er underlagt stor usikkerhed. Derfor er det af stor vigtighed at sammenholde projektionerne med fortidens ændringer og variationer i ekstremregn.

## Data

I Danmark findes et unikt netværk af regnmålere (SVK-netværket) som administreres af Spildvandskomiteen og vedligeholdes af Danmarks Meteorologiske Institut (DMI). Netværket er opsat for at kunne dimensionere afløbssystemer og har en tidsmæssig opløsning på et minut. Ved udgangen af 2012 var der 83 stationer med måleserier på mere end 10 år, der samlet har målt 1881 observationsår. Data fra netværket blev allerede i 1999 anvendt til at analysere og beskrive variationen af ekstremregn over Danmark [1]. Denne analyse er efterfølgende blevet opdateret to gange,



**Figur 1:** Udviklingen i det årlige antal af ekstreme hændelser i gennemsnit over alle stationer i SVK netværket. Den benyttede model er angivet i Boks 1,  $p$  angiver den statistiske signifikans af hældningen på regressionslinjen.



**Figur 2:** Udviklingen i hændelsernes middelintensitet som gennemsnit over alle stationer i SVK netværket. Den benyttede model er angivet i Boks 1,  $p$  angiver den statistiske signifikans af hældningen på regressionslinjen.

og nye undersøgelser af data viser en tydelig udvikling i ekstremregnen over de 34 år, som netværket har eksisteret <sup>2/</sup>.

Der findes kun få danske serier med målinger af regn, der rækker langt tilbage i tiden. DMI ejer dog fem manuelle regnmålere, der blev sat op i midten af 1870'erne. Disse målere har en tidsmæssig opløsning på 1 dag. Den tidlige opløsning er for lav til at kunne anvendes til dimensionering af afløbssystemer, men en undersøgelse har vist, at variation i forekomsten af ekstreme nedbørshændelser i høj tidsopløsning har en meget høj korrelation til samme statistik for døgnnedbør <sup>3/</sup>. Dermed kan en undersøgelse af variationer i de lange måleserier bruges til at sætte den observerede stigning i ekstremregn i høj opløsning i perspektiv.

En anden vinkel på ændringer i ekstremregn fås ved sammenligning med projektioner for fremtidens klima. Der er teoretisk belæg for at forvente en stigning i de ekstreme nedbørsintensiteter i et varmere klima <sup>4/</sup>, og klimamodellsimuleringer benyttes til at evaluere både den forventede ændring i ekstremregn og usikkerhed på denne. Metoderne til dette er gennemgået i <sup>5/</sup> og anvendt på simuleringer af dansk nedbør under klimaændringer påviser stigninger i ekstremregn på 20-40 % for en tidshorisont på 100 år <sup>2/</sup>.

### Ændringer og variation i ekstremnedbør fra SVK netværk

Analysen af observeret ekstremnedbør over Danmark viser tydeligt, at der er sket en ændring over de sidste 34 år, se Figur 1 og 2 for resultater samt Boks 1 for definitioner. Antallet af ekstreme hændelser er steget med

omkring 2 % om året. Hændelsernes middelintensitet er også steget for små varigheder. Samlet set er der observeret ændringer over en måleperiode på 34 år, der er omtrent ligeså store, som de ændringer der er forudsagt på grund af udledning af drivhusgasser over de næste 100 år. For at kunne vurdere om udviklingen kommer til at fortsætte skal de observerede ændringer knyttes til en fysisk forståelse, f.eks. i form af påvist samvariation med andre klimatiske forhold.

### Fysiske drivkræfter

Der er adskillige mekanismer i klimasystemet, som set over flere årtier kan påvirke temperaturen og regnmønstret i forskellige egne af verden. De mest velkendte er havtemperaturer og vedholdende lufttryksforskelle over større geografiske områder som f.eks. Europa. I kontrast til den stigende globale middeltemperatur, anses både havtemperaturen og faser af lufttryksforskelle for at udvise en naturlig variation. Sådanne variationer kan

#### Boks 1

De ekstreme nedbørshændelser er defineret ud fra en statistisk model, hvor alle uafhængige nedbørshændelser, der har en intensitet over et prædefineret niveau medtages. Den prædefinerede tærskelværdi blev fastsat da den første regionale model blev udarbejdet i 1996 <sup>1/</sup>. Når den anvendes på SVK data fra 1979-2012 er der i gennemsnit 3-4 ekstreme hændelser om året. Til videre beskrivelse af disse hændelser kan flere forskellige statistiske egenskaber benyttes. Her fokuseres på det gennemsnitlige antal årlige ekstreme hændelser,  $\lambda$ , og hændelsernes middelintensitet,  $\mu$ .

Til at beskrive ændringen over tid,  $t$ , benyttes regression. Modellen for antallet af ekstreme hændelser bygger på Poisson-fordelingen. Endvidere skal antallet af årlige hændelser ses i forhold til hvor mange stationer der har været aktive i det pågældende år, og hvor mange perioder med nedbrud de har haft <sup>9/</sup>. Dette leder til følgende regressionsmodel

$$\lambda = \exp(a_{\lambda} + b_{\lambda}t + \varepsilon_{\lambda})$$

Modellen for hændelsernes middelintensitet bygger på Normal-fordelingen

$$\mu = a_{\mu} + b_{\mu}t + \varepsilon_{\mu}$$

I begge modeller er  $a$  og  $b$  de to regressionsparametre,  $t$  antallet af år siden måleperiodens start, og  $\varepsilon$  et fejllid der repræsenterer forskellen mellem modellen og observationerne.

være væsentlige, på den sydlige halvkugle er El Nino et eksempel på en naturlig variation, der har stor indflydelse på klimaet i både Sydamerika og Australien. På vore breddegrader er det den Nordatlantiske svingning (NAO), som karakteriserer forskellige faser af naturlig variation. Typisk er fasen af NAO afgørende for om vi har stabilt højtryksvejr eller ligger lige midt på lavtrykkenes motorvej fra Atlanten ind over det centrale og nordlige Europa.

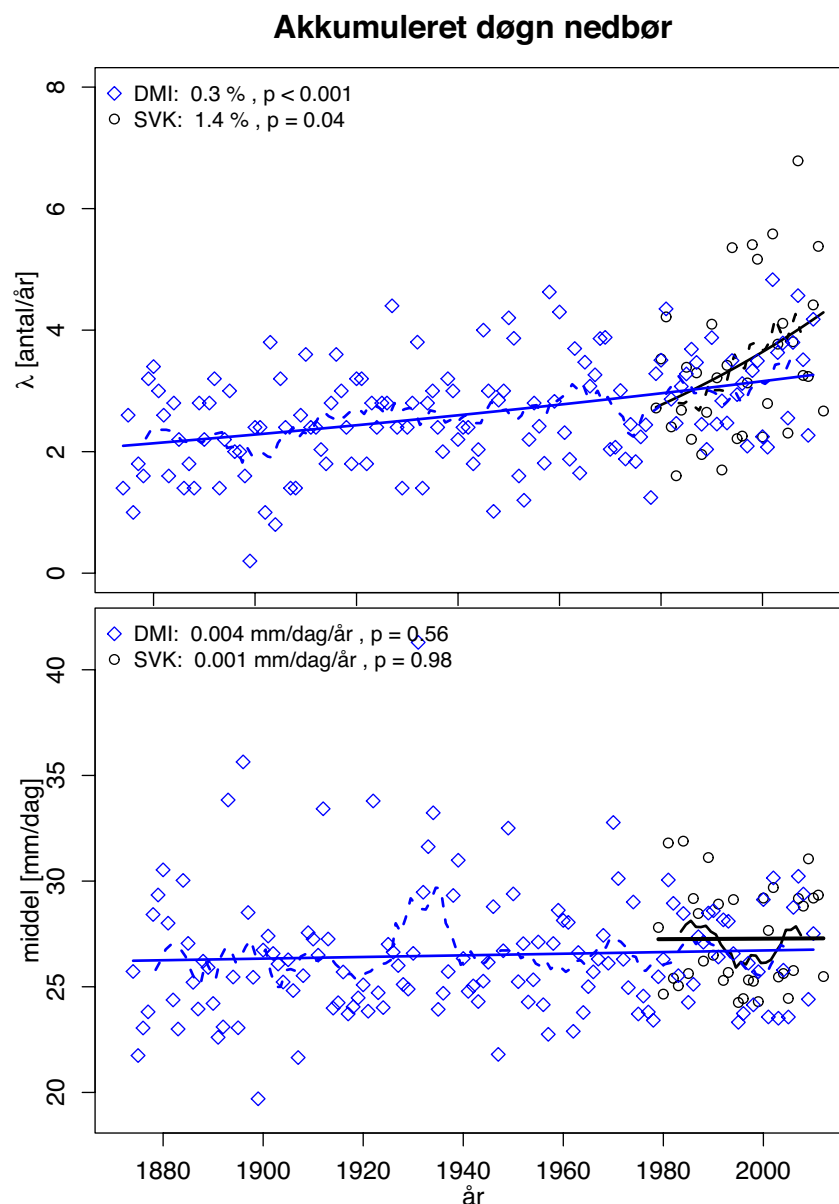
### Ændringer og variation i ekstremnedbør i et større perspektiv

Som et første skridt mod en forståelse af udviklingen i ekstremregn er ændringerne fra SVK nettet sammenlignet med ændringer i de lange DMI serier. Resultaterne fremgår af Figur 3. Antallet af ekstreme hændelser er steget signifikant siden 1874, men set over hele perioden er stigningen meget lavere end beregnet på basis af observationerne fra SVK målerne. Figur 4 sammenligner antallet af ekstreme hændelser registeret på en enkelt SVK station i Søborg med samme statistik fra den nærliggende DMI måler i den centrale København. Variationen fra år til år er stor, men samtidig ses tydeligt hvordan flere enkeltstående 30-årige perioder i fortiden har været domineret af stigninger, og at der sent i 1970'erne var en meget lav forekomst af ekstremer i denne måleserie. De fire andre lange måleserier, der stammer fra andre landsdele bekræfter ikke entydigt dette mønster. Det er for nuværende uvist om dette skyldes tilfældig variation eller om der er en fysisk begrundelse for forskellene mellem landsdele.

Figur 3 viser, at hændelsernes middelintensitet har været konstant i perioden 1874-2010, men da stigningen i SVK data også kun ses for varigheder på tre timer eller mindre, må det konkluderes, at de lange serier ikke kan benyttes til at belyse denne udvikling.

### Naturlig variation og klimaændringer

Det er tydeligt, at antallet af ekstreme hændelser udviser en væsentlig naturlig variation. En tendens til vedholdende perioder med en forekomst af forholdsvist få/mange ekstremer kan være drevet af lufttryksforskelle over Europa, der bestemmer retningen af luftstrømningerne over regionen (NAO) /6/. Danske analyser indikerer en sådan sammenhæng for København /7/ men kan ikke forklare forskellen mellem landsdele. Af lige så stor interesse er dog den generelle landsdækkende stigning. Det er endvidere ikke kun antallet af ekstreme nedbørshændelser, der er ste-

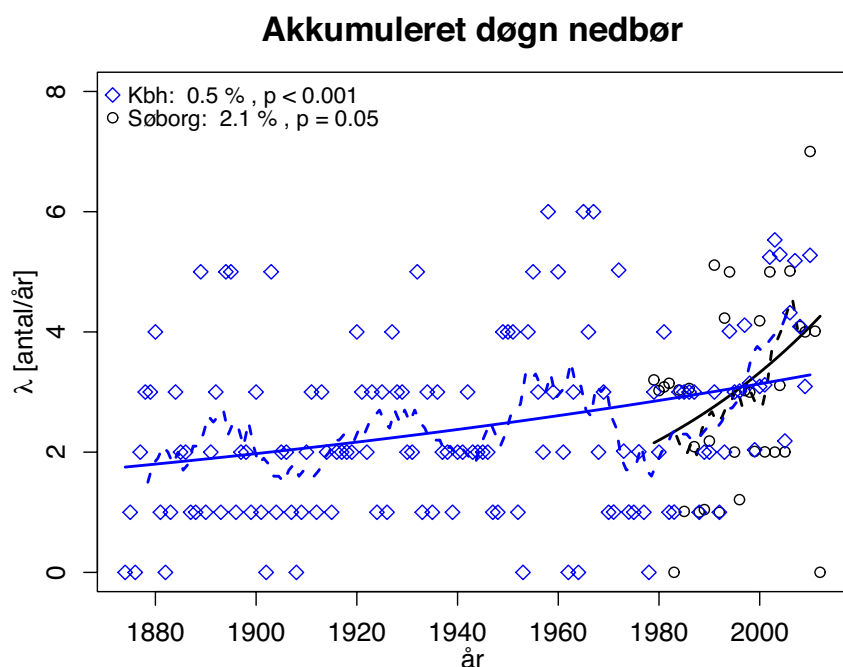


**Figur 3:** Udviklingen i det årlige antal af ekstreme hændelser (øverst) og hændelsernes middelintensitet (nederst) fra 1874-2012. Data er baseret på et gennemsnit over henholdsvis de 83 SVK stationer og de 5 DMI stationer. De fuldt optrukne linjer er fundet ved lineær regression, hvor de benyttede modeller er angivet i Boks 1.  $p$  angiver den statistiske signifikans af hældningen på regressionslinjen. De stiplede linjer angiver et 10-års glidende gennemsnit. Et døgn er defineret fra kl. 8 om morgen og 24 timer frem. Nedbør med en dags varighed som vist i Figur 1 og 2 er ikke bundet af samme definition.

get gennem denne periode, flere studier har dokumenteret, at også den gennemsnitlige årsmiddelnedbør over Danmark er opadgående /8/. Det er oplagt at overveje om denne stigning er drevet af den globale middeltemperatur. En sådan hypotese er dog ikke let at be- eller afkræfte.

Ved dimensionering af afløbssystemer har der allerede før regeringens krav om klimatilpasningsplaner, været en anbefaling fra Spildevandskomiteen omkring anvendelse af klimafaktorer, der tager hensyn til usikkerheden omkring fremtidens dimensionsgivende intensiteter. Som tidligere nævnt vurderes en stig-

ning på 20-40 % over en periode på 100 år som det bedste bud på ændringen i ekstremregn grundet den menneskelige udledning af drivhusgasser /2/. Den nye viden omkring den naturlige variation af ekstremregn sætter denne anbefaling i perspektiv. For det første har man i anbefalingen lagt sig fast på gennemsnittet over de sidste 34 år, som det bedste bud på nutidens dimensioneringsregning, hvilket er lavere end gennemsnittet over de seneste 10 år. For det andet er der i anbefalingen antaget, at man kan benytte de beregnede ændringer i ekstremregn fra klimamodeller direkte til at bestemme ændringer i fremtidens



**Figur 4:** Udviklingen i det årlige antal af ekstreme hændelser fra 1874-2012 for DMI stationen i det centrale København og SVK stationen i Søborg. De fuldt optrukne linjer er fundet ved lineær regression, hvor den benyttede model er angivet i Boks 1.  $p$  angiver den statistiske signifikans af hældningen på regressionslinjen. De stiplede linjer angiver et 10-års glidende gennemsnit. Et døgn er defineret fra kl. 8 om morgenen og 24 timer frem. Nedbør med en dags varighed som vist i Figur 1 og 2 er ikke bundet af samme definition.

dimensionsgivende nedbør. Dette har to konsekvenser i praksis: For det første er fremtidens dimensionsgivende nedbør i gennemsnit ikke være meget kraftigere end det vi har målt de seneste par år, fordi vi ligger højere end normalt allerede. For det andet vil vi, såfremt den naturlige variation fortsætter med samme mønster, jævnligt opleve, at den observerede regn over korte observationsperioder (f.eks. 10 år), vil være kraftigere end den nedbør, som urbane afløbssystemer er dimensioneret til at kunne håndtere. Der er ingen tvivl om at stigningen over de sidste 35 år har sat gang i klimatilpasningen. Betyder det,

at vi skal stoppe hvis vi i nogle år får lave forekomster af ekstremregn – nej, selvfølgelig ikke.

#### Tak til

Forskningsprojekterne bag de præsenterede resultater er realiseret med støtte fra Det Strategiske Forskningsråd og Vandsektorens Teknologiuudviklingsfond.

#### Referencer

- /1/ SVK 1999. Skrift nr. 26 - Regional variation af ekstremregn i Danmark. IDA Spildevandskomiteen. Tilgængelig online August 2014: <http://ida.dk/sites/>

[prod.ida.dk/files/26RegionalvariationafekstremregniDanmark.pdf](http://prod.ida.dk/files/26RegionalvariationafekstremregniDanmark.pdf)

- /2/ SVK 2014. Skrift nr. 30 - Opdaterede klimafaktorer og dimensionsgivende intensiteter. IDA Spildevandskomiteen. Tilgængelig online August 2014: [http://ida.dk/sites/prod.ida.dk/files/svk\\_skrift30\\_0.pdf](http://ida.dk/sites/prod.ida.dk/files/svk_skrift30_0.pdf)
- /3/ Gregersen, I.B., Madsen, H., Willems P. og Arnbjerg-Nielsen, K. 2014. Implications of long term oscillations in precipitation extremes on urban drainage design practices. Proc. of ICUD13 Kuching, Malaysia, September 2014
- /4/ Fowler, A.M. og Hennessy, K.J. 1995. Potential Impacts of Global Warming on the Frequency and Magnitude of Heavy Precipitation. Natural Hazards. 11(3), 283-303.
- /5/ Gregersen, I.B., Madsen, H. og Arnbjerg-Nielsen, K. 2014. Klimamodeller og fremtidens ekstremnedbør. Vand og Jord, denne udgave.
- /6/ Willems, P. 2013. Multidecadal oscillatory behaviour of rainfall extremes in Europe. Climatic Change. 120(4), 931-944.
- /7/ Gregersen, I. B., Madsen, H., Rosbjerg, D. og Arnbjerg-Nielsen, K. 2014. Long term variations of extreme precipitation in Denmark and Southern Sweden. Climate Dynamics. Accepteret og i publiceres med DOI: 10.1007/s00382-014-2276-4
- /8/ Cappelen J. 2014. Ekstrem nedbør i Danmark – opgørelser og analyser til og med 2013. Teknisk rapport nr. 14-12. Danmarks Meteorologiske Institut. Tilgængelig online August 2014: [http://www.dmi.dk/fileadmin/user\\_upload/Rapporter/TR/2014/tr14-12.pdf](http://www.dmi.dk/fileadmin/user_upload/Rapporter/TR/2014/tr14-12.pdf)
- /9/ Gregersen, I.B., Madsen, H., Rosbjerg, D. og Arnbjerg-Nielsen, K. 2013. A spatial and nonstationary model for the frequency of extreme rainfall events. Water Resources Research. 49(1), 127-136.

IDA BÜLOW GREGERSEN ([idbg@env.dtu.dk](mailto:idbg@env.dtu.dk)), Ph.d. studerende ved Institut for vand og miljøteknologi, Danmarks Tekniske Universitet, KARSTEN ARNBJERG-NIELSEN, professor på samme institut og HENRIK MADSEN er Innovationschef på DHI.

8. oktober

Radisson Blu H.C.Andersen Hotel,  
Claus Bergs Gade 7, Odense

### Det gode udbud

Udbud er blevet en del af hverdagen for både udbydere og leverandører, og der er mange meninger om, hvad der er et godt udbud.

På dette møde vil vi se på, hvad udbudsreglerne siger – hvilke krav kan udbyder stille, og hvad er det, leverandøren skal være opmærksom på? Hvad er der af forskellige udbudsformer, og hvornår kan de forskellige former med fordel anvendes.

Desuden vil vi komme ind på, hvordan der skabes så gode vilkår som muligt for både udbyder og leverandør – samtidigt med at udbudsprocessen for begge parter holdes så enkel og ukompliceret som muligt. Der vil være indlæg fra forskellige aktører med deres bud på, hvad det gode udbud er.

#### Faglig tilrettelæggelse:

Cand.scient., afdelingsleder Anna Marie Sørensen, GEO, ams@geo.dk  
Geolog, teamleder Mads Terkelsen, Region Hovedstaden, mads.terkelsen@regionh.dk  
Advokat (H), partner Håkun Djurhuus, Bech Bruun Advokatfirma, djur@bechbruun.com

6. november

DGI/CPH Conference, Tietgensgade 65, København

### Risikovurdering og prioritering af grundvandstruende jordforureninger

I regionernes rapport om status for jordforureningsopgaven 2012 forventes restopgaven for grundvands-truende jordforureninger at være på omkring 8.600 grunde, hvoraf ca. 7.700 kræve videregående undersø-

gelser og 2.600 oprensning. De metoder, der anvendes til risikovurdering og prioritering, er afgørende for det antal af grunde, der skal håndteres i grundvandsindsatsen, og i sidste ende mængden af grundvand, der reddes fra forurening.

På dette møde vil vi evaluere den hidtidige praksis for risikovurdering af grundvandet og se på nye tanker og metoder for risikovurdering og prioritering af grundvandstruende jordforureninger. Vi vil bl.a. høre om hvilke muligheder oplandsbaseret risikovurdering giver for prioritering af enkeltlokaliteter. Vi vil også se på hvordan man kan inddrage helhedssyn i prioriteringen, både i forhold til vandforsyninger og i forhold til andre målrettede indsatser overfor et grundvandsopland, og hvor-når det kan betale sig at bevare en ressource. Se mere på hjemmesiden

#### Faglig tilrettelæggelse:

Civilingeniør Ole Kiilerich, Miljøstyrelsen, oki@mst.dk  
Civilingeniør, ph.d. Nina Tuxen, Orbicon A/S, ntux@orbicon.dk  
Civilingeniør Arne Rokkjær, Region Hovedstaden, arne.rokkjaer@regionh.dk

26. november

Schæffergården, Jægersborg Allé 166, Gentofte

### Forurening i vores kalkmagasiner – hvad er problemet, og hvordan handler vi?

Hvad gør vi, når forureningen er nået ned i kalken?

De seneste år har der været arbejdet fokuseret med undersøgelse og afværge af terrænnære forureningsskilder i kvartære aflejringer. Indsatsen har været god og effektiv – men er i flere tilfælde kommet for sent,

og forureningen har nået at sprede sig til de underliggende aflejringer, der udgør de primære drikkevandsmagasiner. Magasinerne findes ofte i dybtliggende kalkaflejringer.

Gennem erfaringer med terrænnær kildeundersøgelse og -fjernelse, især i moræner, har vi efterhånden erkendt, at viden og ekspertise er nummer ét i forhold til cost-effektiv undersøgelse og afværge. Det samme forventes selvfølgelig at gælde for undersøgelser og oprensning i kalk.

Med det udgangspunkt vil mødet handle om følgende fire hovedspørgsmål:

- Hvad er de vigtige fysiske og kemiske processer i kalken?
- Hvad er de praktiske udfordringer?
- Hvordan undersøger vi i kalken?
- Hvilke undersøgelsesmetoder virker/virker ikke, og kan vi genbruge metoder fra de terrænnære undersøgelser?
- Hvordan løser vi problemet?
- Hvordan gennemfører vi afværge, og hvordan spiller de fysisk-kemiske processer ind?

Spørgsmålene vil i løbet af mødet blive vendt fra både forsker-, rådgiver- og entreprenørsynsvinkel. Se mere på hjemmesiden

#### Faglig tilrettelæggelse:

Geolog, teamleder Mads Terkelsen, Region Hovedstaden, mads.terkelsen@regionh.dk  
Professor Philip J. Binning, DTU Miljø, pjbi@env.dtu.dk  
Lektor Mette Broholm, DTU Miljø, mmbro@env.dtu.dk

For generel information om aktiviteterne i ATV Jord og Grundvand og tilmelding til møderne – se [www.atv-jord-grundvand](http://www.atv-jord-grundvand)

#### Fondens formål:

ATV Fonden for Jord og Grundvand arbejder aktivt for at fremme formidling og udveksling af viden om fagområdet jord- og grundvandsforurening. Der arbejdes med at stimulere og initiere undervisning, forskning, udvikling samt styrke den faglige debat. Konkret udmøntes Fondens arbejde i, at der årligt afholdes i størrelsesordenen 10 konferencer, møder, kurser og ekskursioner. Der udgives publikationer samt videregives anbefalinger til nye initiativer indenfor området jord- og grundvandsforurening m.m.

Bestyrelsen samt arbejdsgrupper under denne arbejder frivilligt med at opfylde Fondens formål. Det daglige ansigt udadtil er Fondens sekretariat, som varetager den løbende kontakt til Fondens brugere og bidragsydere.

ATV Jord og Grundvand er en almennyttig, erhvervsdrivende og non-profit fond.