

# Ændringer og variationer i ekstremregn fra 1874 til 2100

Ændringer i ekstremregn over de sidste 20-30 år har været meget kraftigt 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.

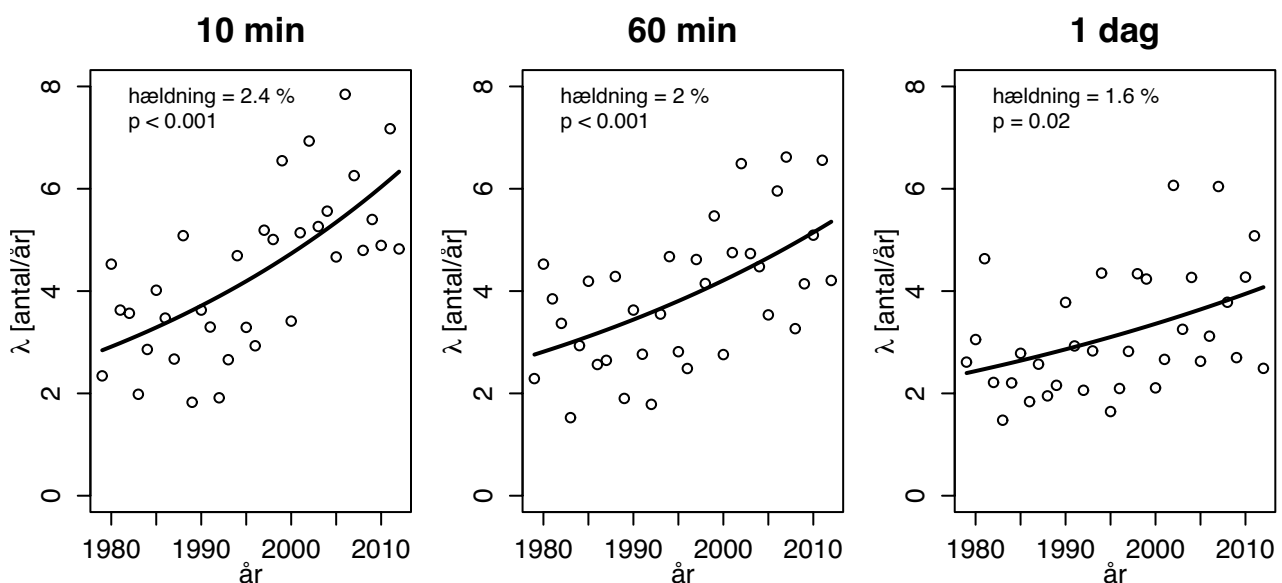
IDA BÜLOW GREGERSEN, HENRIK MADSEN & KARSTEN ARNBJERG-NIELSEN

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

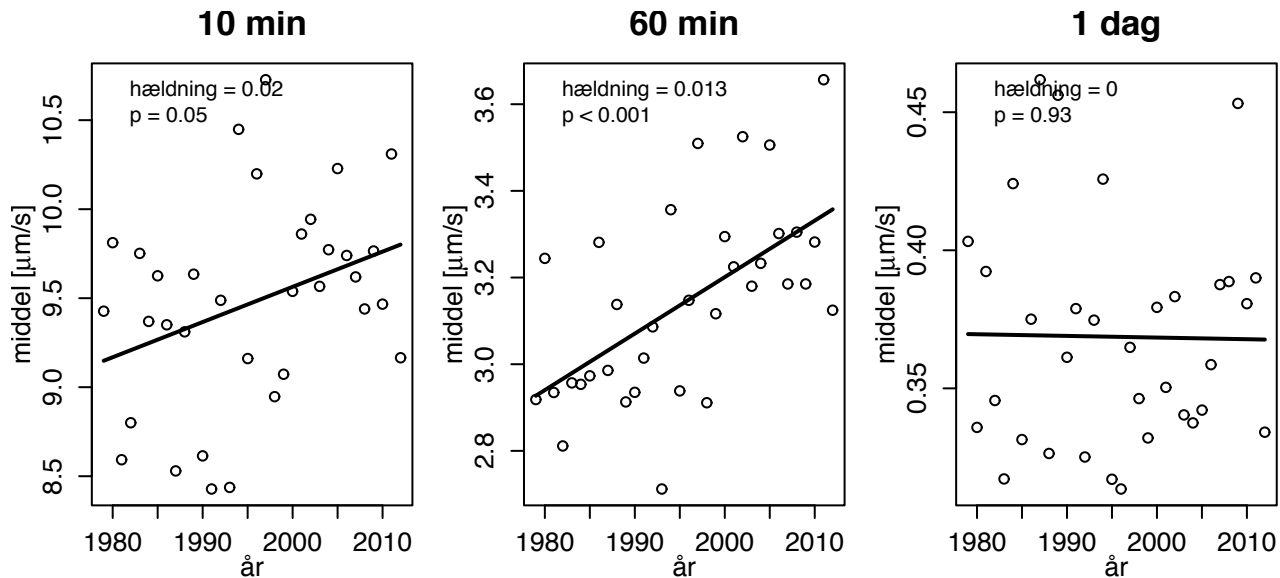
i ekstremregn, vi kan forvente som konsekvens af den menneskelige udledning af drivhusgasser, da der i mange ingeniørmæssige sammenhænge er behov for at tage klimaændringerne i regning. I 2013 besluttede Regeringen at alle kommuner skal udforme en klimatilpasningsplan for håndtering af skybrud. De færreste 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 Spildevandskomiteen 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 /2/.

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 /3/. 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 /4/, og klimamodellsimuleringer benyttes til at evaluere både den forventede ændring i ekstremregn og usikkerhed på denne. Metoderne til dette er gennemgået i /5/ og anvendt på simuleringer af dansk nedbør under klimaændringer påvises stigninger i ekstremregn på 20-40 % for en tidshorisont på 100 år /2/.

### Ændringer og variation i ekstremnedbør fra SVK netværk

Analyser 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 regnmønsteret 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 udvide 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 /1/. 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 nedbør de har haft /9/. 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 fejledder 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 lavtrykkes motorvej fra Atlanten ind over det centrale og nordlige Europa.

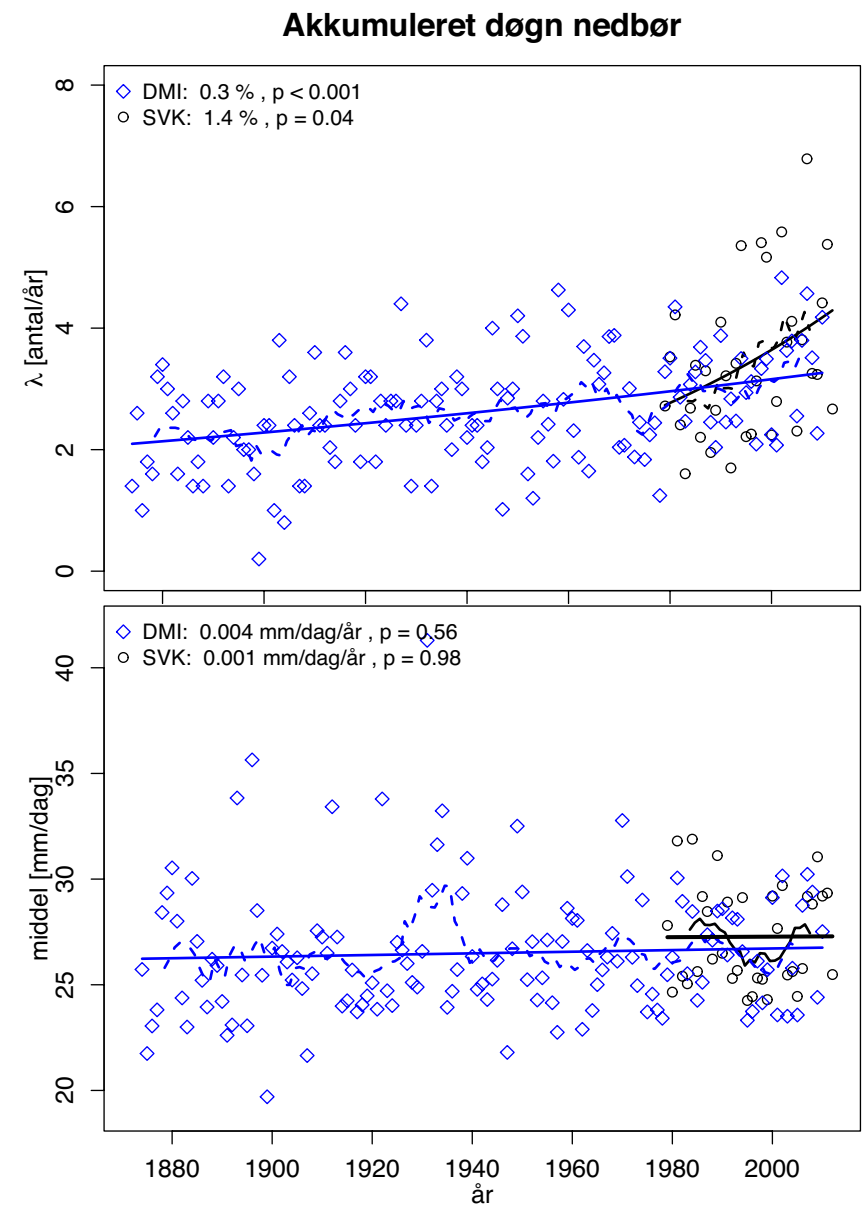
### Ændringer og variation i ekstremnedbør i et større perspektiv

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 registreret 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 middelinintensitet 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 klimænderinger

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-



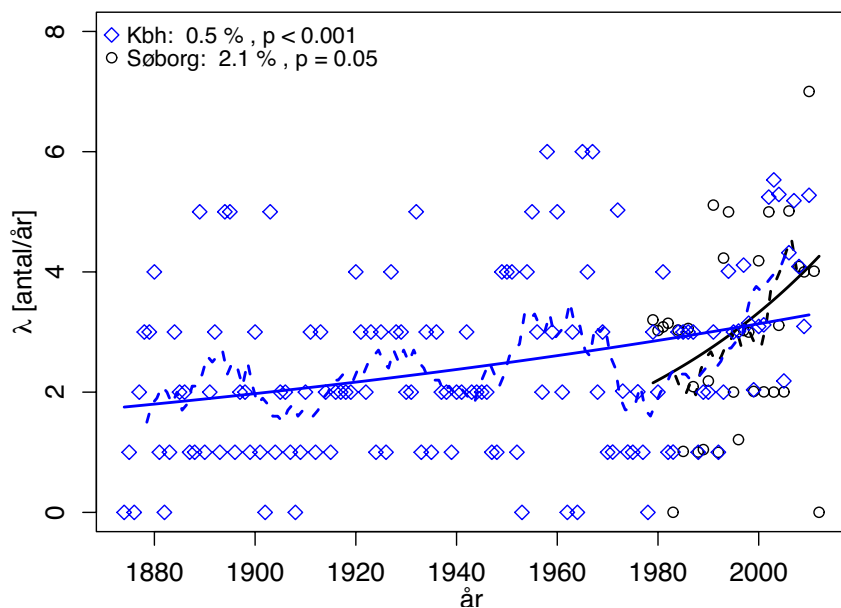
**Figur 3:** Udviklingen i det årlige antal af ekstreme hændelser (øverst) og hændelsernes middelinintensitet (nederst) fra 1874-2012. Data er baseret på et gennemsnit over henholdsvis de 83 SVK stationer og de 5 DMI stationer. De fuldt optrukne linjer er fundet ved lineær regression, hvor de benyttede 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 morgenen 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 dimensiongivende 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 dimensioneringsregn, 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

## Akkumuleret døgn nedbør



**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, jævnlige 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/ Cappelén 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), 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.