



**Nr. 3**

26. årgang  
August 2013

SPILDEVANDSKOMITEEN

# Indhold

<b>Leder</b>	<b>3</b>
<b>Indbydelse til Temadag</b>	<b>4</b>
<b>Kalender</b>	<b>7</b>
<b>Klimatilpasning i Holstebro</b> Leif Theilgaard	<b>8</b>
<b>Stokastiske prognoser for afløb og real tids styring</b> Roland Löwe, Luca Vezzaro, Peter Steen Mikkelsen, Morten Grum, Henrik Madsen	<b>11</b>
<b>Hvor tit må der ske oversvømmelser? Serviceniveau for vand på terræn</b> Birgit Paludan	<b>17</b>



**Udgiver**  
Ingeniørforeningen i Danmark – Spildevandskomiteen  
Erfaringsudveksling i Vandmiljøteknikken

**Hjemmeside adresse**  
[www.evanet.dk](http://www.evanet.dk)

**e-mail adresse**  
[eva@evanet.dk](mailto:eva@evanet.dk)

**Dette blads redaktør**  
Jan Scheel, [jns@niras.dk](mailto:jns@niras.dk)

**Næste blad forventes udgivet**  
Januar 2014

**Næste blads redaktør**  
Jan Nielsen, [jxn@ramboll](mailto:jxn@ramboll)

**Deadline for indlæg**  
1. november 2013

**Redaktion**  
COWI A/S  
Jens Chr. Skous Vej 9  
8000 Aarhus C  
Tlf. 56 40 66 00  
Fax 56 40 66 60

Att.: Margrethe Nedergaard  
e-mail: [mao@cowi.dk](mailto:mao@cowi.dk)

# Leder

## Man skal ikke gå ned på udstyr...

Sådan er der mange, der tænker, så når ny teknologi gøres tilgængelig, findes tegnepungen frem og der købes smartphones, fladskærme, iPads og hvad der nu ellers er af absolut nødvendige "must have" –gadgets på markedet.

Ny teknologi kræver dog tilvænning og tilvænning tager tid. Det er normalt ikke et problem at bruge tid derhjemme i sin sofa på at rode med sin nye iPad – mange vil sikkert synes at det lyde ganske hyggeligt – men hvis vi snakker arbejdstid, der skal bruges på at lære nye værktøjer, så er der nok en del chefer, der synes, at antal arbejdstimer til dette skal holdes på et minimum.

Et teknologiskifte og ændring af fremgangsmåder sker ikke nødvendigvis med det samme. Vanens magt kan desuden også være så stor, at det bliver "træls", at omstille sig fra en praksis til en anden. Der er dog nok ikke mange i afløbsbranchen, der i dag vil undvære Mike Urban, DanDas, MicroStation og diverse GIS værktøjer, som er nogle af de daglige værktøjer, vi ikke altid har haft.

3D-projekteringsværktøjer er en teknologi, som har været på markedet et stykke tid. Teknologien er anvendt i andre dele af ingeniørbranchen, men er først nu så småt ved at vinde indpas i afløbsbranchen. Måske skal grunden til den pt. manglende/lille udbredelse ses i lyset af vanens magt? Er der overhovedet en grund til at skifte, og er 2D ikke fint nok? Måske ligger en af forklaringerne i, at der ofte ikke er tilstrækkelig data til rådighed eller kendskab til eksisterende ledningers nøjagtige placering, når der skal etableres nye afløb i eksisterende bebyggede områder? Så længe dette er tilfældet, så kan en væsentlig del af fordelene ved 3D projektering gå tabt.

Men står det alligevel så sløjt til med vores muligheder for at anvende 3D som et kraftfuld element i vores afløbs-værktøjskasse?

På EVA temamødet den 26. september 2013 vil vi bruge dagen på at se nærmere på 3D værktøjerne og de nye muligheder de giver for samspil mellem projekterings- og anlægsfasen, og hvorledes de kan skabe bedre rammer for udvikling af afløbsprojekter.

Vel mødt  
EVA-udvalget





# Afløbsteknik – nu også i 3D

Torsdag den 26. september 2013 på Hotel Nyborg Strand

Der snakkes så meget om 3D – 3D film, 3D fjernsyn, 3D printere og 3D afløb... 3D afløb er nok samtale emne for en mere begrænset gruppe, men ikke desto mindre et vigtigt emne.

3D værktøjer er vidt brugt i byggesektoren og vinder større og større indpas i anlægssektoren. Inden for afløbssektoren er det ikke så udbredt at benytte 3D værktøjer, hvilket skyldes flere faktorer. En af de primære årsager skyldes manglende kendskab til placering af eksisterende ledninger.

Men man hører jo så meget om, hvor smart disse 3D værktøjer er, og om hvordan man har undgået fejl og om hvordan brugen af dem har resulteret i bedre projekter i andre brancher. Så hvad kan vi afløbsingeniører bruge 3D til!?

Fokus for temadagen vil være brug af 3D værktøjer i projektering- og anlægsfasen. Der vil blive sat fokus på hvilke drivkræfter der står bag den omstilling, der sker i øjeblikket, hvor vi går fra 2D til 3D dokumentation og hvad fremtidsperspektivet er. Der vil endvidere blive givet en præsentation af de forskellige 3D værktøjer, der kan benyttes i projekterings- og anlægsfasen, og hvordan disse værktøjer kan snakke sammen. Eksempler på projekter hvor 3D værktøjer er blevet benyttet vil blive givet.

EVA udvalget byder jer velkommen til en spændende dag, hvor der er mulighed for at blive inspireret og pleje sit netværk.

Vel mødt – og husk nu jeres 3D briller!

# Program

9:30 Kaffe/te og rundstykker

10:00 Velkomst og indledning

*Sanne Lund, EVA-udvalget*

10:10 Introduktion til det digitale anlæg

Mulighederne i det digital anlæg er store, men indeholder samtidig en masse udfordringer. Mængden af data stiger og der er i større grad behov for dataudveksling mellem projektets parter. Til gengæld opstår der helt nye muligheder for analyse og planlægning under både projektering, udførsel og drift.

Indlægget giver en introduktion til hvordan 3d-data anvendes i Vejdirektoratet, samt hvorfor vi i fremtiden vil inddrage flere fagområder. Desuden gives et overblik til organiseringen af branchesamarbejde omkring det digitale anlæg, samt hvilke tiltag der er i gang.

*Rasmus Fuglsang Jensen, Vejdirektoratet*

10:30 3D i projekteringsfasen

- Mulighederne med 3D projektering
- Renovering og nye anlæg
- Fra 2D til 3D
- 3D det store billede (Import/eksport, BIM, bygherrekrav, Maskinstyrring oa.)

*Peter Larsson, NTI CADcenter A/S*

11:00 Pause

11:20 Anvendelse af projektdata direkte i gravemaskiner

Indlæg om de udfordringer og muligheder der ligger i anvendelse af projektdata fra projekttegninger direkte som arbejdsgrundlag i gravemaskiner, dozere og andre anlægsmaskiner.

Indlægget gennemgår og viser mulighederne ved brug maskinstyrring/GPS-styrring, både ved ny-anlæg og renoveringssager.

*Rie Rohde fra Spotland A/S & Poul-Erik Olsen, Barslund A/S*

11:50 Frokost

## 13:00 Digital 3D projektering giver overblik

Afløbssektoren er i lighed med andre brancher i rivende udvikling inden for digital projektering, herunder 3D modeller. Udviklingen går mod fuldstændig digital projektering, 3D modellering af hele projektet og udførelse i marken direkte efter 3D terrænmodellen.

Oplægget giver eksempler fra to projekter med digital projektering, hhv. Tankefuld LAR byggemodning i Svendborg samt 3D projektering ifm. dispositionsforslaget til byudviklingsprojektet Thomas B. Thrigesgade i Odense ([www.fragadetilby.dk](http://www.fragadetilby.dk)).

Fokus vil være på håndtering af afvandingsystemerne, fordele/ulemper samt diverse erfaringer ved anvendelse af digital projektering i 3D.

**Uffe Linneberg Gangelhof, Markedschef for klimatilpasning i Grontmij.**

## 13:40 Brug af 3D i projektering af store anlægsprojekter

- Omstilling fra 2D til 3D, udfordringer, muligheder
- Brug af Civil-3D i projektering af afløb
- Brug af 3D til koordinering mellem forskellige faggrupper
- Kobling fra projekt til udførelse, Maskinstyring

**N N, MOE A/S**

## 14:20 Pause

## 14:40 Anvendelse af 3D projektering af ledningsanlæg

Præsentationen tager afsæt i anvendelse af 3D projektering af ledningsanlæg i projektet for Nordhavnsvej i København samt den nye jernbane København – Ringsted.

Det er præsentationens formål at fremhæve de fordele og ulemper der er forbundet ved at arbejde i en samlet 3D model – hvor ledningsanlægget blot er en lille brik i de store multidisciplinære anlægskonstruktioner.

**Brian Guldmann Hansen, Rambøll A/S**

## 15:20 Afsluttende bemærkninger

**Sanne Lund, EVA-udvalget**

## 15:30 Farvel og kom godt hjem



---

Deltagergebyr:	Medlem af EVA:	1300 kr.
	Øvrige:	1450 kr.
	Ingeniører, ikke medlem af IDA:	3450 kr.
	Studerende gratis	

Tilmelding: Tilmeld dig på IDAs hjemmeside <http://ida.dk/arrangementer> på arr. nr.: **997138**.

Du kan også sende en mail til: [moede@ida.dk](mailto:moede@ida.dk), hvor du opgiver: arr. nr., navn, adresse, tlf. nr., e-mail, helst fødselsdato og oplysning om du er ingeniør eller ej. (Arrangementet er åbent for alle)

# Kalender

## Faglige arrangementer for sensommer og efterår 2013

*Der henvises i øvrigt til de respektive kursusudbyderes hjemmesider for ajourføring af kursusdatoer, yderligere information samt tilmelding.*



### **EVA arrangementer**

26. sep. EVA-temadag

### **Danva arrangementer**

29. aug. Arbejdsmiljø – supplerende kursus  
12. sep. Arbejdsmiljø – Nye regler og viden  
8. - 10. okt. Nordiske Spildevandskonference, Malmø  
19.-20. nov. Dansk Vand konference, Aarhus

### **Ferskvandscentret (udvalgte)**

26.-27. aug. Grundkursus i spildevandsrensning intro  
28.-30. aug. Grundkursus i spildevandsrensning  
16.-17. sep. Praktisk drift af pumpestationer  
2.-3. okt. Afløbsjura – hvad er praksis?  
21. okt. Rensning af regnvand  
5. nov. Svovlbrinteproblemer  
25.-26. nov. Administration af spildevandssystemer

### **DHI**

10.-12. sep. Vandressourcer og klimaforandringer – Grundvand, overfladevand og det lokale arbejde med globale klimaforandringer, afholdes hos DHI, Hørsholm  
17.-18. sep. MIKE URBAN CS – Introduktion til modellering af afløbssystemer, afholdes hos DHI, Hørsholm  
19.-20. sep. Urban Radar Tool – Introduktion til anvendelse af radardata i MIKE URBAN, afholdes hos DHI, Hørsholm  
25.-26. sep. Vandplaner og vandkvalitet  
30. sep.-2. nov. Klimaforandringer i byer – ekstrem regn og oversvømmelse  
8.-10. okt. Integreret håndtering af vand i oplandsområder  
11. okt. Remote sensing

### **Andre arrangementer**

25.-26. sep. Workshops om bedre håndtering af ekstremregn

# Klimatilpasning i Holstebro

Af Leif Theilgaard, Holstebro Kommune

Dette indlæg præsenterer de erfaringer og synspunkter, der blev fremlagt på EVA-temadag den 30. maj 2013 på Hotel Nyborg Strand under overskriften "Klimatilpasning – fra politik til praksis". Indlægget præsenterer mere praksis end politik, idet det først og fremmest blev en gennemgang af hvad vi har gjort for at klimatilpasse Holstebro Kommune efter erfaringer med store oversvømmelser i Holstebro by i 2007 og 2011, - mindre om den procesmæssige del af realiseringen.

Holstebro Kommune er beliggende som en centralt "ryghvirvel" i den jyske rygrad. Mod vest har kommunen ca. 13 km kyststrækning til Vesterhavet og i den nordlige ende en kyststrækning på 10 km til Limfjorden. Storå løber gennem kommunen fra øst til vest, og er en betydelig del af geografien omkring Holstebro by.

Klimatilpasningsplanen bliver i første generationsudgaven at samle "brikkerne" over igangværende og tænkte tanker, om hvad der kan gøres for at forebygge oversvømmelser i Holstebro by samt i de kloakoplande hvor oversvømmelseskortene fra forsyningsselskabet viser, at der er risiko for oversvømmelse. Desuden vil der selektivt blive udvalgt nogle områder udenfor regnvandskloakerede oplande, hvor vi af erfaring ved, at der er fare for oversvømmelser.







*I 2007 og 2011 oplevede Holstebro by oversvømmelser i den centrale del af byen omkring Storå. Foranlediget af disse oversvømmelser fik Holstebro Kommune lavet en folder om hvordan man som husejer kan forbygge skader som følge af oversvømmelser. Denne folder kan betragtes som klimatilpasning i multe generationsudgaven.*

Holstebro Kommunes Klimaplan blev offentliggjort i 2012. Her introduceres begrebet klimatilpasning, som et af mange tema, der skal arbejdes med. Klimaplanen beskriver kun overordnet de virkemidler som kan tages i anvendelse. Et af virkemidlerne er lokal nedsivning af regnvand. Dette er en udfordring når man bor i et OSD område (Område med særlige drikkevandsinteresser).

I kølvandet på oversvømmelserne i 2011 blev der igangsat projekter med at udtænke forskellige tiltag i byen. Disse projekter tager udgangspunkt i hvordan risikoen for oversvømmelser i byen kan mindskes. Løsningsforslagene går i to retninger: At få bedre gennemstrømning i Storåen gennem byen og mindre vandstandsstigninger i byen ved tilbageholdelse af vand opstrøms byen.

Bedre gennemstrømning handler mest om en strækning omkring Storebro i den centrale bydel. Under Storebro strømmer den vandmængde, som falder som nedbør i Storå-oplandet øst for Holstebro og som ikke fordamper eller bliver til grundvand undervejs. Normalt 10 – 15.000 liter vand pr. sekund. Problemer med oversvømmelse er situationer hvor vandgennemstrømningen under broen nærmer sig 50.000 liter pr. sekund. Sker dette i længere tid løber åen over sine bredder og midtbyen står under vand.

Gennemstrømningen under Storebro er gennem tiden blevet indsnævret af byens udvikling. De yderste brofag ved begge bredder er inddraget til cykelsti og et hotel bygget hen over broen har yderligere lagt beslag på lidt af det

oprindelige tværsnitsareal under broen. Et af projekterne er således beregninger og overvejelser om at ændre cykelstierne til ”hylder” af tynde bro-plader, der ikke ligger beslag på tværsnitsarealet under broen.

Et andet projekt går ud på overvejelser om at ændre et autoværn lags en å-nær vej til en afskærmende mur, der kunne dæmme op for stigende vandstand på en strækning med lavtliggende boliger.

I den mere radikale ende er der regnet på hvordan der kan etableres dæmninger og stemmeværker i Storå-systemet.

Der er på tankeniveau regnet på to alternative løsningsmuligheder for at ”gemme vand” i oplandet.

- En lokal løsning, hvor der arbejdes med stemmeanlæg placeret indenfor Holstebro Kommune.
- En regional løsning, hvor der principielt arbejdes med placering af stemmeværker i hele oplandet. I forhold til den optimale placering og effekt, vil der dog være tale om placeringer i den nedre del af vandløbssystemet (opstrøms Holstebro), da en indsats på en side-grenene kun kan have en meget lille marginal effekt på den samlede afstrømning.

Der foretaget hydrauliske beregninger med MIKE 11 for at vurdere muligheder og konsekvenser ved opmagasinering af vand i ådalen.



Vandet i Storå deler vi med nabokommunen mod øst, Herning Kommune og Ikast-Brande kommune, hvor Storå har sit udspring. Storåens opland øst for Holstebro udgør 830 kvadratkilometer, hvoraf Holstebro Kommune kun udgør 25%. Resten kommer fra oplandsarealer, der ligger uden for Holstebro Kommune. 60% af arealet ligger i Herning Kommune, mens de resterende ca. 15% ligger i Ikast-Brande Kommune. Denne sammenhæng har været den naturlige invitation til samarbejde på tværs af kommunegrænser. De tre kommuner omkring Storå har derfor defineret samarbejdet i et kommissorium for ”Storå samarbejdsforum for klimatilpasning”. Hver af kommunerne deltager sammen med deres forsyningsselskaber. Forummets opgave er at sikre, at de tre kommuners klimatilpasningsplaner er indbyrdes afstemte. Det betyder koordinerede initiativer og mulighed for fælles ideudvikling. Det er desuden en målsætning, at arbejdet skal munde ud i en fælles formidlet ”klimatilpasningsplan” for Storå, som bygger på helhedsløsninger og understøtter de 3 kommuners egne klimatilpasningsplaner.

Ved store vandføringer går Storå over sine bredder, ikke bare i Holstebro by, men også i andre byområder og i lavtliggende vandløbsnære enge. Derfor er der også store perspektiver i at diskutere muligheder for landbrugets roller i forbindelse med tilbageholdelse af vand og administration af drænvand i oplandende omkring Storå-systemet. Storå-kommunerne er bl.a. gennem projektet ”Landmanden som vandforvalter” i dialog om dette.

Alle forslagene samles i et idekatalog, som vil blive udgangspunkt for forslag til handlingsplan i klimatilpasningsarbejdet.

# Stokastiske prognoser for afløb og real tids styring

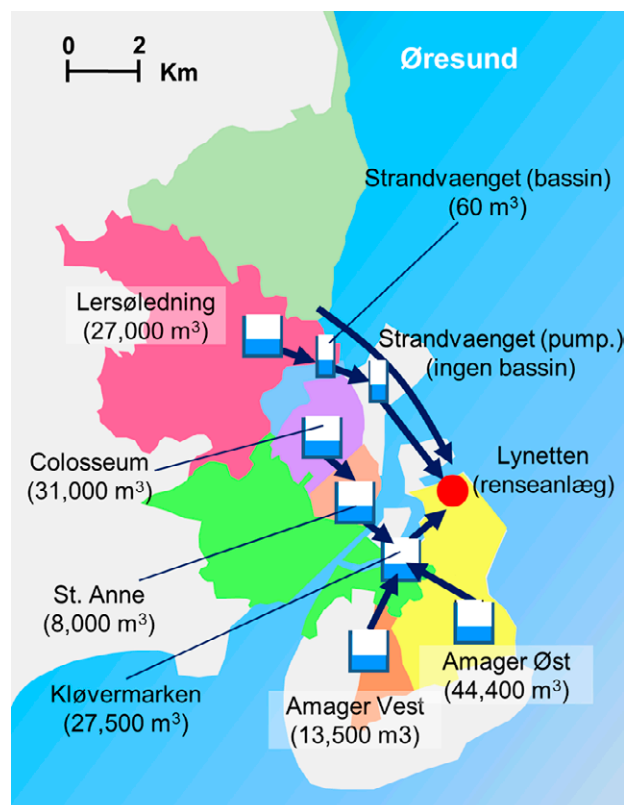
Roland Löwe (DTU Compute), Luca Vezzaro (DTU Miljø, Krüger A/S), Peter Steen Mikkelsen (DTU Miljø), Morten Grum (Krüger A/S), Henrik Madsen (DTU Compute)

Som spin-off af SWI forskningsprojektet er nye real tids styrings systemer blevet udviklet i dele af de største kloakoplande i Danmark, nemlig i oplandet til Renseanlæg Lynetten, til Spildevandscenter Avedøre og til rensaanlæg Marselisborg (DORA, Vezzaro og Grum, 2012). Disse systemer optimerer ydelsen af pumpestationer og udløb af bassiner dynamisk på sådan en måde, at overløb af spildevand bliver minimeret. Dette byder på muligheden for at overholde miljøkrav med ringere investeringsomkostninger og at gøre kloaksystemet fleksibelt i forhold til fremtidige udfordringer.

De nye danske styringssystemer bygger på radar regn prognoser over en horisont af 2 timer. Disse prognoser genereres f.eks. fra DMI's C-bånds radarer (Gill et al., 2006; Thorndahl og Rasmussen, 2013a). Regn prognoserne bruges som input til afløbsmodeller for at lave prognoser af flow 2 timer frem i tiden. I dag bruges simple kaskade-modeller, som tilpasses hver andet minut til flow data målt over de sidste 6 timer (Thorndahl et al., 2011, Thorndahl et al., 2013b).

Simple modeller til flow prognoser anvendes, fordi de kan køre hurtigt i en online styring, og fordi de kan tilpasses automatisk til at minimere prognose fejlen. Hvis regn prognoserne ikke er perfekte (og det er de sjældent), så er det ikke den fysisk perfekte model som leverer de bedste flow prognoser, men den som er 'tuned' til at lave prognoser. Denne type prognoser til online styring blev allerede foreslået af Carstensen et al. (1996, 1998).

Flow prognoserne som bruges i dag er deterministiske, og de kalibreres automatisk på en måde, som opdaterer modellens parametre hvert andet minut. De er netop taget i brug i Lynettens opland til varsling af tilstrømningen til rensaanlægget for at igangsætte regnstyringen af rensaanlægget på det rigtige tidspunkt. Men fordi der er fejl i regn



Figur 1. Skema Lynettens opland.

målinger og –prognoser, og fordi modellerne ikke er perfekte, så er flow prognoser altid behæftet med fejl. Disse fejl har en effekt på styringen, og i algoritmen skal derfor tages højde for usikkerheden i flow prognoser.

Som annonceret i sidste EVA blad har vi tilpasset stokastiske grey-box prognose modeller til 6 deloplande i Lynettens opland. Vi undersøger i denne artikel prognose kvaliteten og effekten af usikkerhed i styringen.

## Lynetten rensaanlægs opland

Lynettens opland omfatter den centrale del af København. Oplandets størrelse er ca. 76 km<sup>2</sup>. Styringen i oplandet har minimering af overløb som formål og inkluderer 8 overløbs steder (Figur 1). Den samlede bassin kapacitet er

ca. 150.000 m<sup>3</sup>. Vi betragter 6 deloplande af Lynettens opland hvor data var tilgængelig i 2012 (Tabel 1).

### Regndata

Real tids styringen i Lynettens opland bygger på radar regn prognoser, som er baseret på observationer fra DMI's C-bånds radar i Stevns. Radaren ligger ca. 50 km syd for oplandet. Aalborg Universitet leverer regndata som spatialt gennemsnit for hvert delopland (Thorndahl et al., 2010). Vi betragter 8 regnhændelser i denne undersøgelse (Tabel 2). Alle hændelser resulterer i kraftig afstrømning i oplandet men er ikke ekstreme (gentagelsesperioden for overløbs hændelser i oplandet er mellem 0,03 og 0,84 år). De byder potentiale for realtids styring, idet ikke alle bassiner bliver fyldt fuldstændigt. Hændelserne 1 til 4 bliver brugt til kalibrering og validering af grey-box modellerne, hvorimod hændelserne 5 til 8 kun bliver anvendt til model validering.

Historiske regn prognoser var ikke tilgængelige i 2012. Vi antager derfor den fremtidige regn som kendt i alle betragtninger. Thorndahl et al. (2013a) viser i et 80 ha opland at regn prognoser fra C-bånds radaren giver gode flow prognoser op til 60 min prognose horisont.

### Stokastiske Afløbsprognoser

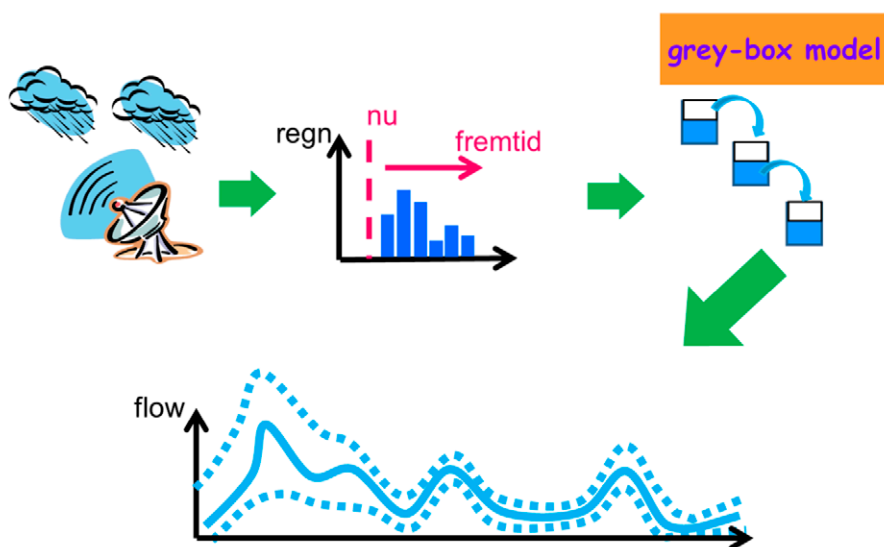
Vi bruger stokastiske grey-box modeller til at generere stokastiske prognoser af afstrømning. Model strukturen for hvert delopland er en kaskade af 3 reservoirer. Den samme model struktur bruges i dag i praksis til at generere deterministiske prognoser af afstrømning. Figur 2 illustrerer, hvordan radar regn prognoser omsættes til flow prognoser.

Delopland	Reduceret oplands areal [ha]	Bassin volumen [m <sup>3</sup> ]
Amager Øst (EAm)	228 4	4.400
Colosseum (Col)	211	31.000
Kløvermarken (Klo)	777 2	7.500
Lersøledning (Ler)	733	27.000
Strandvænget (Str) 9	2	60
Amager Vest (WAm)	97	13.500
I alt	2138 1	43.460

Tabel 1. Deloplande til Lynetten renseanlæg, som indgår i undersøgelsen.

1	2	3	4	5	6	7	8	
Total regn dybde [mm]	19.7	20.1	9.6	9.0	14.2	4.8	31.3	3.3
Maksimal regn intensitet 10min interval [µm/s]	1.5	1.5	2.6	0.8	3.0	2.0	1.4	0.4
Maksimal regn intensitet 30min interval [µm/s]	1.2	1.0	1.9	0.7	2.7	1.2	1.1	0.4
Varighed [t]	43 5	0	23 2	0	23 1	5	85 2	0

Tabel 2. Regn hændelser betragtet i undersøgelsen. Regndybder er udledt fra radar regn målinger over hele Kløvermarkens opland.



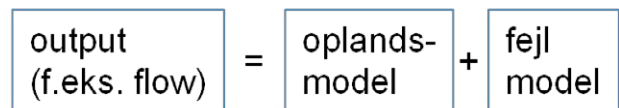
Figur 2. Fra radar regn til flow prognoser med stokastiske greybox kaskade-modeller

Anderledes end klassiske deterministiske afløbsmodeller, inkluderer grey-box modeller også en fejl model (Figur 3). Denne del beskriver usikkerheden på prognosen lavet af oplandsmodellen. Usikkerheden modelleres dynamisk og den kan f.eks. vokse med flow prognosen (Breinholt et al., 2011, 2012; Thordarsson et al., 2012). En anden vigtig forskel mellem stokastiske grey-box modeller og de deterministiske modeller er at grey-box modellerne inkluderer en tilstands opdatering. Dette betyder at modellen tilpasser sig nye målinger i hvert tidsskridt og at prognoserne altid bliver lavet ud fra en estimeret tilstand som svarer til observationer.

Stokastiske grey-box modeller er simplificerede modeller. Det betyder at de ikke kan bruges til f.eks. design eller detaljeret analyse af afløbssystemer. Derimod er de rigtig gode til online formål. De kører hurtigt og kan bruges f.eks. i en optimeringsalgoritme. Ligesom alle simplificerede modeller, kan grey-box modellerne kalibreres automatisk til afløbsmålinger, så at prognosefejlen løbende bliver minimeret. Endelig byder grey-box modeller på muligheden for tilstands opdatering som beskrevet ovenfor.

Figur 4 (side 14) viser flow prognoser for valideringshændelse 8 i oplandet til Kløvermarkens pumpestation. I del a) viser vi regn intensiteten for hændelsen. Del b) sammenligner det målte flow med 2 timers flow prognoser fra grey-box modeller og fra autokalibrerede deterministiske modeller som er genereret ud fra 3 forskellige start tidspunkter. Med prognoserne fra grey-box modeller vises også et 90% usikkerheds interval. Del c) viser 120 min prognoser af afløbsvolumen og sammenligner dem med det observerede volumen. Hver punkt i denne figur svarer til en opsummering af en 2 timers flow prognose som vist i del b). Denne type volumen prognose er relevant til styringen, fordi den viser hvor meget vand der forventes i bassinerne indenfor de næste 2 timer. Prognoserne fra de stokastiske grey-box modeller er i del c vist som usikkerhedsinterval fra 1 til 99%.

Grey-box modellerne undervurderer det sande flow ved starten af hændelsen som kan ses i Figur 4b (side 14). Denne type fejl er typisk i flow prognoser og har to årsager. Dels er modellen for simpelt til et stort opland og skal have lidt flere detaljer for at tage højde f.eks. for den spatiale fordeling af regn. Dels varierer sammenhængen mellem regn og afløb pga. f.eks. fejl i radar dataene. Model parametrene bliver estimeret sådan, at den gennemsnitlige fejl bliver minimal. Den hurtige reaktion, som i Figur 4b



Figur 3.  
Skema stokastisk greybox model

(side 14) ikke bliver beskrevet af modellen i denne hændelse, bliver til gengæld overvurderet i andre hændelser.

Ligesom i Figur 4b (side 14), kan vi se i Figur 4c (side 14) at de største prognose usikkerheder opstår i starten af hændelsen og at modellering af usikkerheden skal forbedres for at beskrive denne effekt.

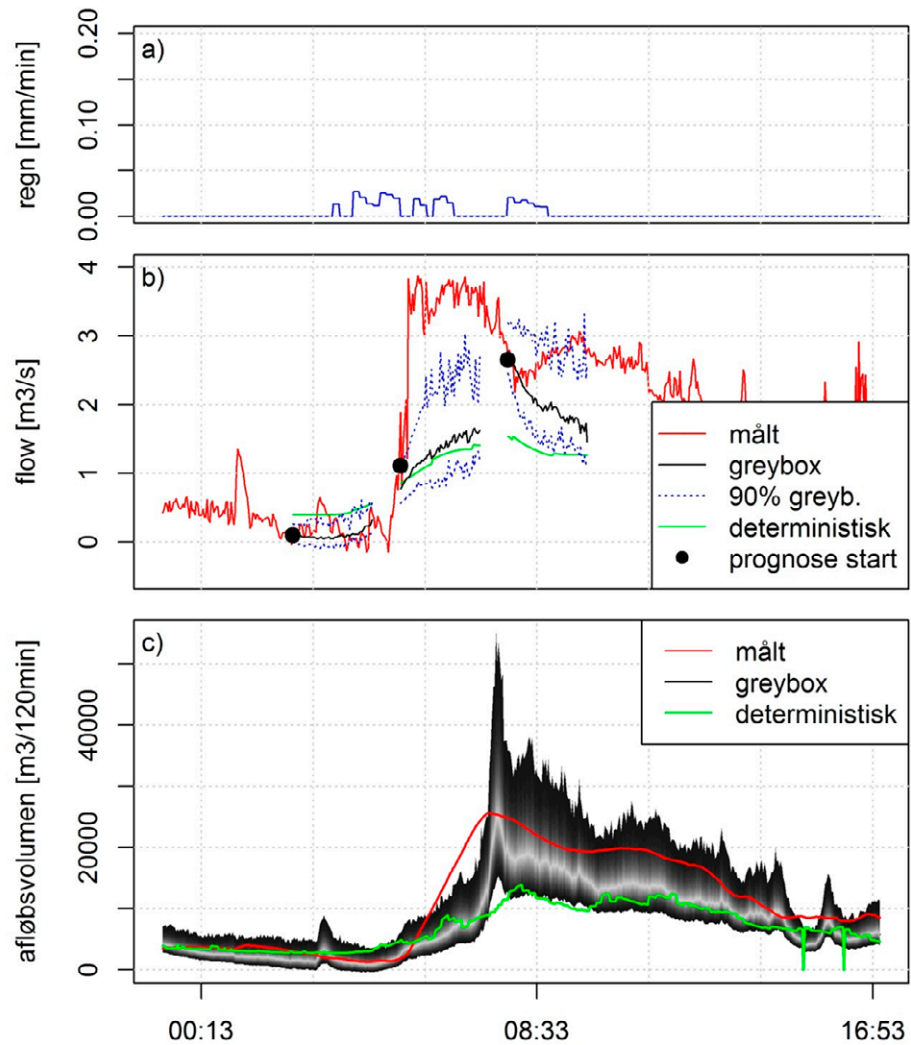
Figur 4b og Figur 4c (side 14) inkluderer også flow og volumen prognoser fra de autokalibrerede deterministiske modeller, som bruges i dag. Prognosefejlen for greybox modeller er for denne hændelse klart mindre end for de deterministiske autokalibrerede modeller. Årsagen ligger mest i tilstands opdateringen af grey-box modellerne, som giver et bedre start værdi for prognoserne, og at greybox modellernes parametre ikke varierer lige så meget i tid som for de deterministiske modeller.

Tabel 3 (side 14) viser prognose fejlen for 120 min prognoser af afløbsvolumen fra greybox modeller i forhold til observationen. Værdierne er kun evalueret under regn perioder hvor enten prædiktionen eller observationen ligger mindst 20% over tørvejs spidsen. Grey-box modeller kan i næsten alle tilfælde opnå gode prognoser.

Store fejl i model prognosen kan observeres især under hændelser 6 og 7 i oplandet af Lersøledningen. Årsagen til disse fejl er at model beskrivelsen af Lersøledningens opland (et rørbassin som inkluderer flere spjæld som er påvirket af en lokal styring) ikke er detaljeret nok. Derudover kan flow observationerne i udløbet fra Lersøledningen være meget lave. Dette fører til meget store % afvigelse, hvis modellen overvurderer flowet.

Figur 4.

Regn hændelse i Klo opland –  
 a) radar regn intensitet målt,  
 b) flow målinger med 120min  
 flow prognoser fra greybox  
 (inkl. 90% prognose interval)  
 og deterministiske modeller  
 (starttidspunkter:  
 4:30,7:10,9:50),  
 c) 120 min flow prognoser  
 integreret til forventet  
 afløbsvolumen på tidspunkt  
 $t+120min$ , grey-box  
 prognoser er vist som  
 usikkerhedsinterval  
 fra 1 til 99%

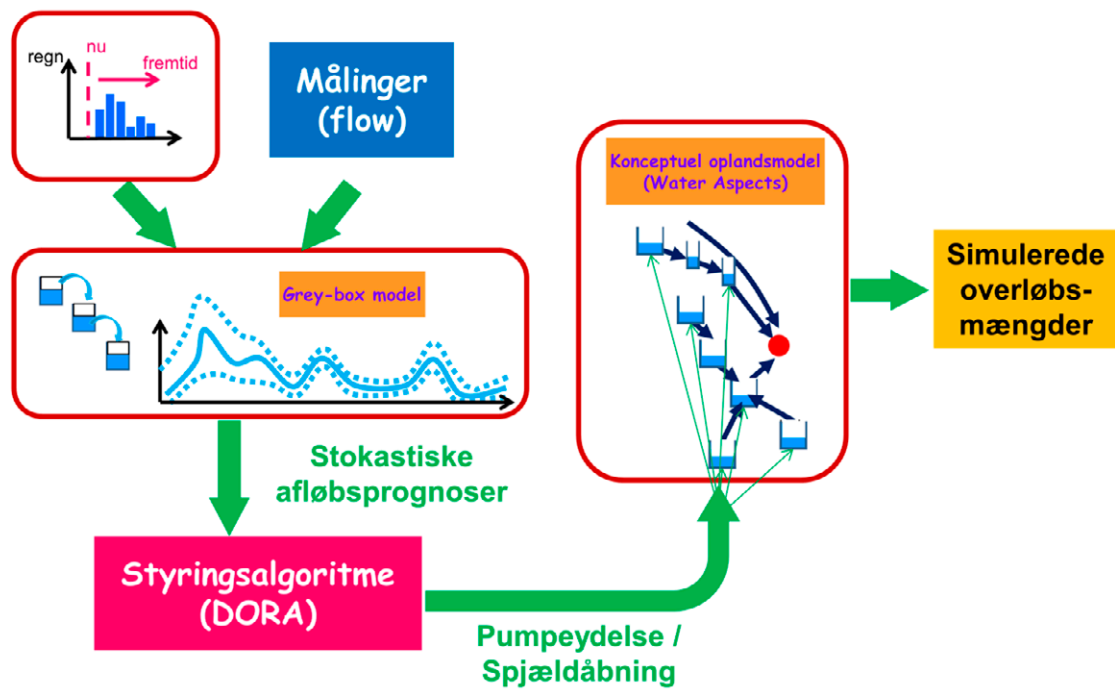


Tabel 3.

Grey-box 120 min  
 volumen prognose fejl i  
 forhold til observationen  
 for 8 regn hændelser.  
 Kun perioder hvor enten  
 prædiktionen eller  
 observationen ligger  
 mindst 20% over tørvejr's  
 spidsen er evalueret.

Delopland	1	2	3	4	5	6	7	8	Gennemsnit
EAm	26%	34%	27%	29%	19%	27%	31%	34%	28%
Col	34%	28%	63%	32%	34%	122%	31%	38%	48%
Klo	46%	30%	33%	23%	27%	21%	27%	27%	29%
Ler	80%	86%	37%	53%	3%	1417%	233%	42%	244%
Str	9%	17%	21%	14%	13%	89%	14%	14%	24%
Wam	22%	24%	24%	29%	21%	24%	26%	36%	26%

Figur 5.  
Modellering af  
effekten af  
stokastiske  
afløbsprognoser  
på  
overløbsmængder i  
Lynettens opland



### Realtids Styring med stokastiske Prognoser

Realtids styrings algoritmen DORA (Dynamic Overflow Risk Assessment, Vezzaro og Grum, 2012) tager højde for usikkerheden i prognoser af afløbsvolumen ved at beregne en risiko for overløb fra et bassin ud fra sandsynligheden for at en bestemt mængde spildevand løber ind i bassinen indenfor de næste 2 timer frem i tiden.

Grey-box modellerne byder muligheden for at simulere prognose usikkerheden dynamisk i tid. Vi har testet effekten af usikkerheden på afløbsstyring i et første simulations studie med 18 hændelser. Simulationerne sker som vist i Figur 5. Afløbsprognoserne bruges i styringsalgoritmen til at beregne en risiko for overløb for hver bassin. Algoritmen bestemmer spjældåbningen i bassinerne og de ønskede pumpeydelse ved at minimere risikoen for hele oplandet. I en konceptuel model af hele oplandet evalueres så, hvor store overløbsmængderne er for forskellige prognoser som input til styrings algoritmen.

De første simulations resultater baseret på 18 regn hændelser viser, at overløbsmængden i hele oplandet reduceres med ca. 20 % i forhold til den nuværende, avancerede regelbaserede styring, hvis vi bruger afløbsprognoser fra greybox modeller uden usikkerhed som input til styrings algoritmen. Hvis vi også giver prognose usikkerhed som input til algoritmen, reduceres overløbsmængden med ca. 40 %. Bruger man deterministisk autokalibrerede modeller til afløbsprognoser, kan overløbsmængden kun reduceres med knap 14 %.

### Opsummering

Som del af SWI (Storm- and Wastewater Informatics) projektet udvikler vi modeller til prognoser af afstrømning i afløbssystemer. Vi bruger stokastiske grey-box modeller for dette formål. I et studie med 6 deloplande af Lynettens opland kan vi for 8 hændelser vise, at modellerne giver gode afløbsprognoser. Alligevel viser det sig også, at en kaskade model som kun består af 3 reservoirer er for simpel til nogle deloplande. Vigtige elementer som overløbspunkter eller spjæld skal der tages højde for også i de simple konceptuelle prognose modeller. Prognosefejl opstår isært i starten af hændelserne.

En stor fordel ved grey-box modellerne er tilstands opdatering, som sikrer at modellen altid har en god start værdi til prognoserne. Prognose usikkerheden simuleres dynamisk i grey-box modeller, og den skal fremover beskrives afhængigt af regn prognoserne.

I en første simulation studie med 18 hændelser, viser det sig at overløbsmængden i Lynettens opland kan reduceres med ca. 40 %, hvis vi tager højde for prognose usikkerheden i styring. Derimod er reduktionen lavere (ca. 20 %) hvis styringen er baseret på prognoser uden usikkerheds beskrivelse. Vi forventer at prognose usikkerheden vil have en endnu større effekt, hvis styringen fokuserer mere på at forhindre overløbshændelser i stedet for at reducere overløbsmængder.

## Literatur

- Bechmann, H., Madsen, H., Poulsen, N.K., Nielsen, M.K., 2000.  
Grey box modeling of first flush and incoming wastewater at a wastewater treatment plant.  
*Environmetrics* 11, 1-12.
- Breinholt, A., Thordarson, F.O., Møller, J.K., Grum, M., Mikkelsen, P.S., Madsen, H., 2011.  
Grey-box modelling of flow in sewer systems with state-dependent diffusion.  
*Environmetrics* 22, 946-961.
- Breinholt, A., Møller, J.K., Madsen, H., Mikkelsen, P.S. (2012):  
A formal statistical approach to representing uncertainty in rainfall-runoff modelling with focus on residual analysis and probabilistic output evaluation - distinguishing simulation and prediction.  
*J Hydrol*, 472-473, 36-52.
- Carstensen, J., Nielsen, M.K., Harremoës, P., 1996.  
Predictive Control of Sewer Systems by Means of Grey-box Models, *Water Sci Technol* 34 (3-4), 189-194.
- Carstensen, J., Nielsen, M.K., Strandbæk, H., 1998.  
Prediction of hydraulic load for urban storm control of a municipal WWT plant.  
*Water Sci Technol* 37 (12), 363-370.
- Gill, R. S., Overgaard, S., Bøvith, T., 2006.  
The Danish weather radar network, 4th European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology.  
18-22 september, 2006, Barcelona, Spain.
- Thordarsson, F.Ö., Breinholt, A., Møller, J.A., Mikkelsen, P.S., Grum, M., Madsen, H. (2011).  
Evaluation of probabilistic flow predictions in sewer systems using grey box models and a skill score criterion.  
*Stoch Env Res Risk Ass*, 26(8), 1151-1162.
- Thorndahl, S., Rasmussen, M., Neve, S., Poulsen, T.S., Grum, M., 2010.  
Vejrradarbaseret styring af spildevandsanlæg.  
DCE Technical Report No. 95, Aalborg Universitet, ISSN 1901-726X
- Thorndahl, S., Grum, M., Rasmussen, M.R., Schaarup-Jensen, K., 2011.  
Flow forecasting in drainage systems with extrapolated radar rainfall data and auto calibration on flow observations.  
Proceedings of 12th International Conference on Urban Drainage, 10-15 september, Porto Alegre, Brazil.
- Thorndahl, S., Rasmussen, M.R., 2013a.  
Short-term forecasting of urban storm water runoff in real-time using extrapolated radar rainfall data.  
*J Hydroinf*, In Press.
- Thorndahl, S., Poulsen, T.S., Bøvith, T., Borup, M., Ahm, M., Nielsen, J.E., Grum, M., Rasmussen, M.R., Gill, R., Mikkelsen, P.S., 2013b.  
Comparison of short term rainfall forecasts for model based flow prediction in urban drainage systems.  
*Water Sci Technol* 68, 472-478.
- Vezzaro, L., Grum, M., 2012.  
A generalized Dynamic Overflow Risk Assessment (DORA) for urban drainage RTC.  
9th International Conference on Urban Drainage Modelling, 3-7 september, 2012, Belgrade, Serbien.



# Hvor tit må der ske oversvømmelser?

## Serviceniveau for vand på terræn

Af Spildevandskomitéens Regnudvalg  
v. formand Birgit Paludan

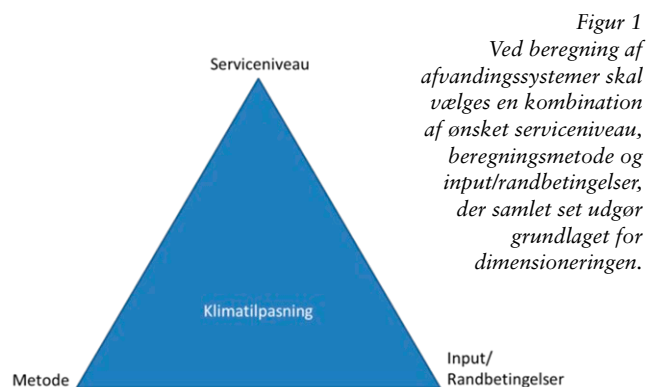
Alle kommuner skal have en klimatilpasningsplan klar november 2013. Denne klimatilpasningsplan vil i langt de fleste kommuner være på screeningsniveau. De vil være baseret på relativt grove antagelser og randbetingelser, og skal alene danne grundlag for kommunerne for at prioritere deres indsatser. Disse klimatilpasningsplaner vil i høj grad fokusere på håndteringen af ekstreme regnhændelser i byområder.

Når klimatilpasningsplanerne foreligger, kommer næste spørgsmål:  
Hvordan skal vi dimensionere afstrømningen i byen?  
Hvor tit må der ske skadesvoldende oversvømmelser?

Regnudvalget under Spildevandskomiteen i Ingeniørforeningen IDA har de sidste 3 årtier stået for udarbejdelsen af de skrifter som sætter standarden for dimensionering af afstrømningssystemerne i Danmark. Det gælder især Skrift 27, som er udarbejdet i samarbejde med DANVA. Skrift 27 er den centrale anbefaling af dimensionering af afløbssystemer under regn, Skrift 26 / 28, anbefaler dimensionsgivende regndata, og Skrift 29, beskriver forventede fremtidige klimaændringer.

Uanset at anbefalinger i Skrift 27, Skrift 28 og Skrift 29 udgør anbefalinger og ikke udgør bindende retsfor skrifter, er skrifterne de facto blevet til de normer, der følges ved dimensionering af spildevandsanlæg og dermed udtryk for sædvanlig praksis i Danmark. Derved er overholdelse af skrifterne reelt blevet til en afgørende faktor ved bedømmelsen af, om et spildevandsanlæg er korrekt dimensioneret og rækker ud over betydningen som vejledning ved dimensionering af spildevandsanlæg.

Regnudvalget vurderer, at det faglige grundlag for at lave klimatilpasning som en integreret del af spildevandsplanlægningen er tilvejebragt gennem forskning, udredninger



Figur 1  
Ved beregning af afvandingsystemer skal vælges en kombination af ønsket serviceniveau, beregningsmetode og input/randbetingelser, der samlet set udgør grundlaget for dimensioneringen.

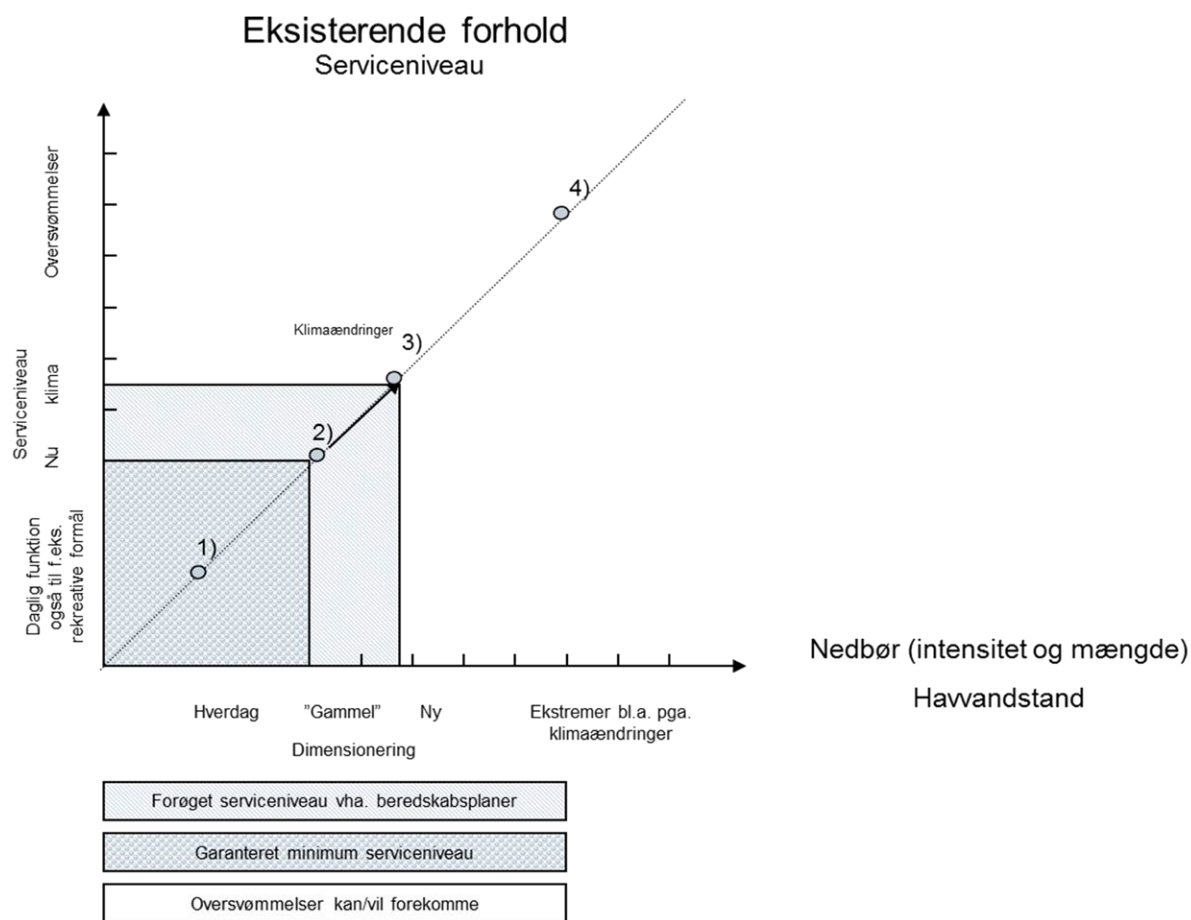
og case studier. På den baggrund ønsker Regnudvalget at udfærdige et skrift, der giver anbefalinger til støtte for klimatilpasningen i Danmark.

Skriftet forventes udarbejdet i tæt samarbejde med alle de centrale aktører herunder KL og DANVA, så der sikres en bred forankring af den nye metode og så erfaringer fra kommuner og forsyninger inddrages i arbejdet.

Skriftet vil principielt ikke ændre ved principperne der er beskrevet i Skrift 27, men vil blive udformet som en udvidelse af dette skrift, så man i mange oplande vil kunne lave beregninger som hidtil. Skrift 27 beskriver tre sammenhængende beregningsniveauer i stigende kompleksitet. Et beregningsniveau består af et kriterium for dimensioneringen, dimensionsgivende input af nedbør og andre ekstremer, samt beregningsmetode, se figur 1.

Overordnet vil det nye skrift beskrive et nyt beregningsniveau, som er mere komplekst end de tre niveauer beskrevet i Skrift 27. Dette analyseniveau skal anvendes, hvor en screening har vist at der er risiko for oversvømmelse eller hvor klimatilpasning af afløbssystemerne er ønsket.

## Serviceniveau



Figur 2 Illustration af eksisterende niveauer for defineret serviceniveau

### Nuværende definition af serviceniveau

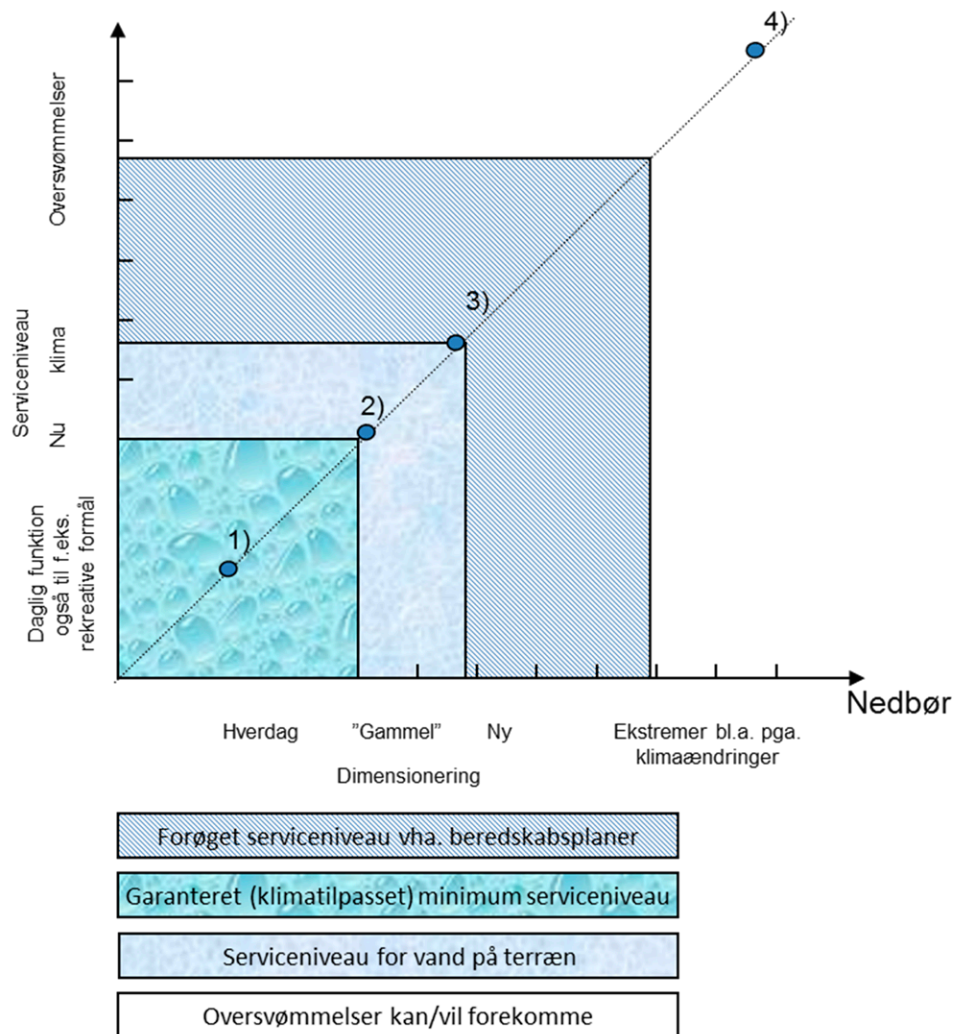
Figur 2 illustrerer serviceniveauet med en fast grænse for maksimal opstuvning til et vist niveau (som krævet i skrift 27).

Med de tekniske værktøjer der nu findes, er det muligt at gennemføre beregninger, ikke alene af maksimal opstuvning til terræn eller en anden kote under terræn, men også at gennemføre beregninger af hvordan strømninger i regnvandsbetingede systemer interagerer med overfladeafstrømninger og således bestemme en maksimal opstuvning

på terræn. Den acceptable, maksimale opstuvning på terræn vil variere i oplandet afhængigt af konsekvensen af opstuvningen. Når man anvender det nye beregningsniveau vil punkt 3 i figur 3 (side 19) ikke længere være en fast værdi (som i Skrift 27), men derimod variere efter de lokale forhold. Punktet skal fastlægges ud fra en samfundsøkonomisk analyse af fordele og ulemper ved at lægge niveauet højt eller lavt.

Det betyder, at der i fremtiden kan dimensioneres for flere niveauer end hidtil som vist i figur 3 (side 19).

Figur 3  
Illustration af serviceniveau inklusive "serviceniveau for vand på terræn".



På figur 3 er vist et forslag til hvordan der i fremtiden kan tilføjes et ekstra niveau (punkt 3 herunder):

- 1) Hverdag hvor alle systemer skal fungere optimal i forhold til omgivelserne (herunder synergi med miljø osv.)
- 2) Design af systemer til maksimal opstuvning til terræn (eller andet kriterium) for en besluttet gentagelsesperiode (skrift 27)
- 3) Design af byen i interaktion med afstrømningssystemerne, så der sikres en maksimal opstuvning på terræn for en given gentagelsesperiode. Muligvis skal der sættes et minimum serviceniveau for vand på terræn, men som udgangspunkt forventes det, at der lægges op til at der etableres et beslutningsgrundlag som er baseret på en samfundsøkonomisk optimal situation.
- 4) Beredskab – forstået som de foranstaltninger som iværksættes når nedbøren overskrider serviceniveauet i 3) og det dermed er accepteret, at der vil ske skader på omgivelserne. Beredskabet skal i den forbindelse sørge for, at disse skader mindskes til et acceptabelt niveau. På denne måde lægges der op til, at beredskabet indgår eksplicit i dimensioneringen af afløbssystemerne.

## Ønsket ændring af definition af serviceniveau for vand på terræn

I dag definerer Skrift 27 at afløbssystemerne skal dimensioneres for 5 og 10 års gentagelsesperioder, så der ikke kommer vand på terræn. Når der er vand på terræn siger Skrift 27 at der skal foretages en vurdering – citat

”Kommunen bør:

Vurdere omfang af skader ved overskridelse af de opsatte funktionskrav. Ved enhver dimensionering er kloakforsyningen nød til at forholde sig til konsekvensen af en overskridelse af kriterierne:

Hvor skabes der oversvømmelse?

Hvor stort er omfanget?

Hvordan kommer vandet videre?

Kan der være alternativer?

Kan skadernes omfang begrænses eller kontrolleres?”

Ikke mange kommuner følger Skrift 27 på punktet nævnt ovenfor.

Et service niveau for vand på terræn bør defineres i forhold til de skader som vand på terræn fører til. Udfordringen ligger i at få beskrevet klare definitioner af hvornår vand på terræn er skadevoldende og hvornår det ikke er. Yderligere så kan der tales om et passivt serviceniveau (uden aktive handlinger under regn) og et beredskab, som kræver aktive handlinger under regn for at oversvømmelseskader undgås.

Vand på terræn er ikke nødvendigvis skadevoldende. OM vand på terræn er skadevoldende afhænger af hvilke ting som vandet er i kontakt med og hvordan.

Typisk bliver vand på terræn skadevoldende når:

1. Det løber ind i bygninger, installationer,
2. River ting med sig (dvs. hurtigt løbende vand med en vis dybde),
3. Stopper trafik (dvs. når en vis dybde – ca. 35-50 cm).

Vand på terræn er typisk ikke skadevoldende, når

1. Vanddybden på en vej/parkeringsplads ikke overstiger højden på kantstenen/fortovet og vandet ikke løber meget hurtigt,
2. Vandet står i grønne områder, som ikke er vigtige for offentlig/privat færdsel.

Hvorvidt det samfundsøkonomisk kan betale sig at sikre imod skader for et vist maksimalt vandstands niveau på terræn kan opgøres ved at omkostninger til skader sammenlignes med omkostninger til løsninger. F.eks. kan der gennemføres beregninger der viser hvad det vil koste at indrette veje så de afleder vand i forhold til hvad det vil koste hvis vandet løber ned i husene. De undersøgelser der er foretaget indtil nu tyder på, at der er en samfundsøkonomisk gevinst ved at vælge gentagelsesperioder på over 100 år for skader på bygninger i terrænniveau. Såfremt der accepteres oversvømmelser af bygninger på under 100-300 år må det forventes at det bliver afspejlet i bygningens handelsværdi.

Ved analyse af konkrete tiltag skal såvel risikoen ved oversvømmelse som andre elementer inddrages. De økonomiske analyser kan f.eks. opsummeres i en tabel. Den økonomiske analyse (eventuelt opgjort for en række delområder i byen) giver såvel et overblik over hvad der er hovedproblemet og hvem der kan have interesse i at være med til at løse det.

Det forventes at der i september afholdes en workshop om de nye skrifter på DTU hvor alle aktører vil blive inviteret.

Vi glæder os til samarbejdet!

## Adresseliste for udvalgsmedlemmer

### Jan Nielsen (formand)

Rambøll  
Hannemanns Allé 53, 2300 København S  
e-mail: jxn@ramboll.dk  
Tlf. 5161 8928

### Sanne Lund (kasserer)

MOE A/S  
Buddingevej 272, 2860 Søborg  
e-mail: sal@moe.dk  
Tlf. 2540 0246

### Lene Bassø

Aarhus Vand A/S  
Bautavej 1, 8210 Århus V  
e-mail: lba@aarhusvand.dk  
Tlf. 8947 1142

### Niels Overgaard

Vandcenter Syd  
Vandværksvej 7, 5000 Odense C  
e-mail: nio@vandcenter.dk  
Tlf. 6313 2326

### Mads Uggerby

Envidan  
Vejlssøvej 23, 8600 Silkeborg  
e-mail: mau@envidan.dk  
Tlf. 8722 8587

### Jan Scheel

Niras  
Vestre Havnepromenade 9, 9100 Aalborg  
e-mail: jns@niras.dk  
Tlf. 3078 7560

### Kristian Vestergaard

Ingeniørhøjskolen Aarhus Universitet  
Energi- og miljødesign  
Dalgas Avenue 2, 8000 Aarhus C  
e-mail: kv@iha.dk  
Tlf. 4189 3341

