

Oversvømmelse af byer er potentielt en dyr affære, da mange mennesker og mange værdier berøres. Derfor er der i Danmark i de senere år kommet fokus på at forny afløbssystemerne og samtidig gentænke den måde hvorpå vi håndterer regnvand i byer.

Afløbsledninger har en meget lang levetid og er dyre at udskifte. Derfor udnyttes de så længe som muligt. Men kapaciteten i afløbssystemet for det tilkoblede opland falder over tid, når byerne udbygges. Med byernes vækst etableres bebyggelse, veje og andre impermeable overflader. Konsekvensen er, at mere regnvand strømmer af på overfladen og ledes væk via afløbssystemet, og mindre regnvand siver ned i jorden, hvorfra det fordamper eller fortsætter ned til grundvandet.

Vi kan altså forvente flere oversvømmelser i fremtiden fordi byudviklingen indebærer flere befæstede arealer og dermed større mængder af regnvand, der strømmer af til afløbssystemerne. Desuden forventes det, at den globale opvarmning vil forårsage ændringer i nedbørsmønstret, således at ekstreme regnhændelser vil forekomme oftere i fremtiden. Regn har en naturlig variabilitet, og det er umuligt at undgå, at der af og til falder mere regn, end hvad der er plads til i afløbssystemet. Men på grund af byudviklingen og klimaforandringerne kan vi forvente flere oversvømmelser i fremtiden.

## HVAD ER OVERSVØMMELSE?

Vand strømmer nedad, og normalt er byens overflader designet så vandet ledes til byens underjordiske afløbssystem via rendestensbrønde. Når afløbssystemet er fyldt med vand strømmer vandet forbi brøndene og videre nedad på overfladen indtil det samler sig i en lokal fordybning. Oversvømmelser er derfor værst i de lavest liggende områder i byerne.

**Regnhændelser** grupperes i tre hovedgrupper, **domæner**, der defineres ud fra deres hyppighed. Man taler om **gentagelsesperioder**, hvor tallet T angiver hvor tit en regnhændelse teoretisk maksimalt forventes at forekomme. T=20 betyder at regnhændelsen statistisk set kun vil finde sted én gang hvert 20. år.

De fleste afløbssystemer i Danmark er dimensioneret til at kunne håndtere en regn, der er så stor, at den statistisk set kun vil forekomme hver 5. eller 10. år. Derfor kaldes en regn med en gentagelsesperiode på 5-10 år for en **designregn**. Mindre regnhændelser, med gentagelsesperiode på f.eks. 0,2 år, benævnes **hverdagsregn**, mens store og sjældne regnhændelser, med en gentagelsesperiode på f.eks. 100 år (T=100), betegnes som **ekstremregn**.

Videnskabeligt set er grundlaget for studier af oversvømmelser en systematisk indsamling af nedbørsdata med det mål at kunne beskrive, beregne og forklare regnen og afstrømningen. I Danmark har vi en lang tradition for at måle nedbøren, og både Danmarks Meteorologiske Institut og IDA Spildevandskomiteen har udbredte regnmålnetværk. De indsamlede kvantitative data bearbejdes statistisk, der opstilles modeller og resultaterne af beregningerne anvendes til samfundets forvaltning af nedbøren. Når afløbssystemer i Danmark dimensioneres til at kunne håndtere en regn med en gentagelsesperiode på 5-10 år, sker det ud fra en analyse der viser, at det ikke er rentabelt at anlægge meget større systemer, da de vil træde i kraft alt for sjældent i forhold til investeringsprisen.

Beregningsværktøjet for oversvømmelser er baseret på en statistisk bearbejdning af alle relevante tilgængelige nedbørsdata. Selvom Danmark er et lille land, er der store forskelle på hvor meget det regner. Visse steder på Sjælland falder der omkring 500 mm nedbør om året i gennemsnit mens der omkring den Jyske højderyg falder op mod 900 mm om året i gennemsnit. Denne variation kommer også delvist til udtryk, når vi ser på de ekstreme nedbørshændelser, og det er derfor vigtigt at se på hvor i landet et givet kloaksystem er bygget.

Regn fra hverdags- og designdomænet står tilsammen for ca. 99% af det årlige regnvolumen. Afløbssystemet afleder altså stort set al det vand, der falder på byens befæstede overflader. Men regn fra ekstremdomænet kan systemet ikke håndtere, da de høje regnintensiteter resulterer i at vand strømmer til afløbssystemet hurtigere end det kan strømme bort i ledningerne. Når det er tilfældet begynder vandet at stuve op i vejbrønde og ved lavtliggende tilslutninger til afløbssystemet som f.eks. gulv afløb i kældre.

Minimering af skader i forbindelse med oversvømmelser handler om at designe byens overflader så vandmasserne ledes hen mod arealer, hvor det gør mindst mulig skade. Ofte kan en simpel ændring såsom en kant rundt om en metronedgang være nok til at forhindre vandet i at strømme ned i stationen. Andre gange kan det være nødvendigt med en radikal gentænkning af arealudnyttelsen, såsom at nedrive huse, der blev bygget i en naturlig fordybning og bruge fordybningen til et regnvandsbassin i stedet.

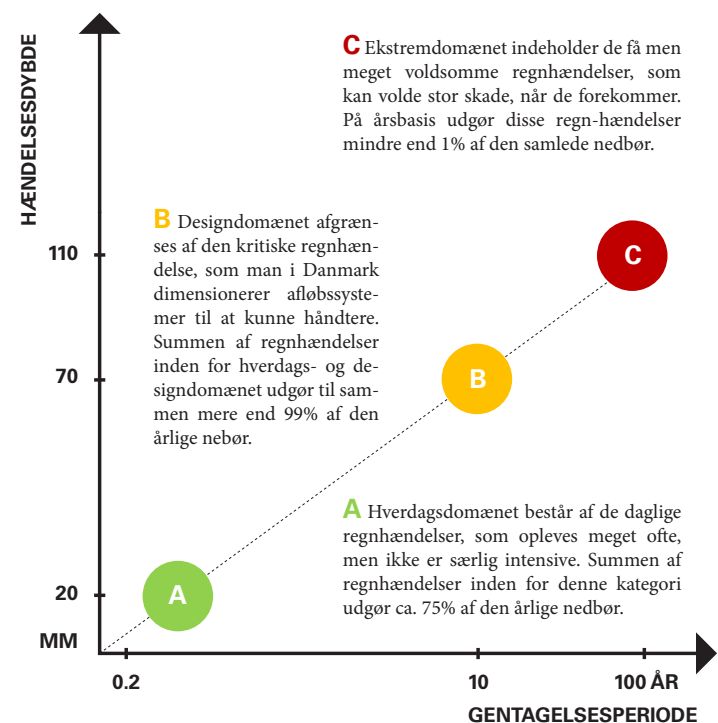
## PROFESSIONELLE BEREGNINGER

Oversvømmelser bliver ikke målt direkte, da de forekommer sjældent og på uforudsigelige tidspunkter. Man kan bruge indirekte data så som fotos og videoer til at estimere omfanget af

en oversvømmelse, der er hændt. Men hvis man vil forudsige omfanget af fremtidige oversvømmelser, bruger man **modeller**.

Modeller af oversvømmelser kan laves i flere forskellige niveauer af kompleksitet. I den simple ende af skalaen bruger man en digital terrænmodel, også kaldet en digital højdemodel (DHM), som input. GIS-algoritmer identificerer lavninger i terrænet samt oplande, der bidrager hertil og via hvilke strømningsveje. Kvaliteten af outputtet er stærkt afhængig af kvaliteten af højdemodellen, og man skal være særlig opmærksom på indbyggede fejl såsom broer: I terrænmodellen vil de fremstå som barrierer for vandet, men i realiteten vil der være passage under dem. En anden vigtig begrænsning er, at en model baseret udelukkende på terræn ikke tager højde for den transport af vand, der sker via afløbssystemet.

I den komplekse ende af skalaen bruger man koblede 1D-2D modeller, hvor regnvandets vej gennem byen simuleres i en kæde af modeller: Først afgøres det om den overflade regnen lander på er permeabel eller impermeabel, hvilket afgør hvor meget vand, der strømmer af på overfladen og hvor hurtigt (en nedbør-afstrømningsmodel). Dernæst føres vandet ned til kloaksystemet, hvor avancerede algoritmer løser de ligninger, der styrer vandets bevægelse igennem kloakledninger (1D-model).





Kortet viser omfanget af en forventet 100-års oversvømmelse baseret på en koblet 1D-2D simulering af Storkøbenhavns afløbssystem og tilsvarende højdemodel.  
Kilde: Københavns Kommune

Når rørmodellen finder frem til de steder og tidspunkter hvor ledningssystemet er så stærkt belastet, at vandet vil blive presset gennem brønde og op på terræn, bliver det overskydende vand overført til en overflademodel, der flytter vandet virtuelt fra modelcelle til modelcelle alt efter terrænets hældning og ruhed (2D-model).

Sådan modeller er meget ressourcerkrævende at opstille og de indeholder stadig en del usikkerhed, men de giver det bedste mulige billede af den forventede oversvømmelse ved ekstreme regnhændelser. Modellerne kan også bruges til at vurdere konsekvenserne af ændringer i kloaksystemet eller terrænet, og dermed anvendes til at udvikle planer for at begrænse omfanget af oversvømmelser og styre vandmasserne hen mod områder i byen, hvor de gør mindre skade.

## OVERSVØMMELSESVURDERING PÅ FELTFOD

Omfanget af en lokal oversvømmelse kan groft estimeres ved at opmåle det bidragende opland og beregne en massebalance. En

lokal fordybning identificeres via lokalkendskab eller via et kort. Fra fordybningen bevæger man sig op ad i terrænet indtil man finder de lokale højderygge. Hvor det er svært at vurdere terrænets hældning med det blotte øje kan man bruge udstyr til at måle den med f.eks. en teodolit. Omridset af højdepunkter kan tegnes ind i et digitalt kort, f.eks. Google Maps, hvor oplandets areal kan beregnes. Massebalancen kan opstilles således:

$$V_{\text{oversvømmelse}} = A_{\text{opland}} \times (h_{\text{regnhændelse}} - h_{\text{kloak}})$$

Hvor  $V_{\text{oversvømmelse}}$  er det samlede volumen af regnvand, der vil akkumulere i dybdepunktet,  $A_{\text{opland}}$  er oplandets areal (opmålt),  $h_{\text{regnhændelse}}$  er den forventede nedbørsdybde, antag f.eks. 110 mm ved en 100 års regn, og  $h_{\text{kloak}}$  er den forventede nedbørsdybde, som bliver ledt væk via kloaksystemet inden dets kapacitet overskrides, antag f.eks. 30 mm. Hvor stort et areal det samlede volumen vil oversvømme afhænger igen af terrænets hældning, dvs. hvor dybt vandet vil stå i den lokale fordybning. Kendskab til volumenet kan også bruges til at vurdere, hvor der ellers kunne være plads til vandet, hvis små ændringer i terrænet kan tvinge strømmingen hen til fx en parkeringsplads, fodboldbane eller lignende.

## DATA OG LITTERATUR

IDA Spildevandkomiteen (SVK) har en række målere rundt i landet der registrerer nedbør hvert minut. Målingerne danner grundlaget for de statistiske analyser som kobler regndybde og regntintensitet med gentagelsesperioder.

Spildevandskomiteen har gennem årene udgivet en lang række skrifter som kan findes på [ida.dk/svk](http://ida.dk/svk). Skrift 30 fra 2014 indeholder blandt andet et opdateret regneark til at bestemme hvor kraftig regn et kloaksystem skal kunne håndtere, når borgerne højst må opleve vand på terræn hvert 5. til 10. år.

Geodatastyrelsen opdaterer den national højdemodel i 2014-2015. Den nye model har en meget større opløsning (0,4 m x 0,4 m) end den sidste model fra 2007 (1,6 m x 1,6 m). Højdemodellen kan downloades gratis på [kortforsyningen.dk](http://kortforsyningen.dk). En god indføring i brug af digitale højdemodeller kan downloades hos Geoforum <http://geoforum.dk/H%C3%B8jdemodelvejledning-10307.aspx>.

Kort over forventet udbredelse af oversvømmelser under fremtidens klima kan ses på [klimatilpasning.dk](http://klimatilpasning.dk). En vejledning i udførelse af oversvømmelsesanalyser er udgivet af DANVA <http://www.danva.dk/Medlemmer/Klima/Klimakogebog.aspx>.

**DTU** Faglig bidragsyder: Sara Maria Lerer og Hjalte Jomo Danielsen Sørup. DTU Miljø - Institut for Vand og Miljøteknologi, Danmarks Tekniske Universitet - juni 2015

**dansk byplan** Redaktør: Pernille Ehlers, Rødovre Gymnasium  
laboratorium Layout: Rena Gonatos, Dansk Byplanlaboratorium



Tilskud fra undervisningsministeriets udlodningsmidler



# OVERSVØMMELSER BYENS EKSTREMREGN