

# Katalog over tiltag til reduktion af effekten fra klimaændringer på afløbssystemer

## Tillægsrapport

Dr. Ole Mark  
DHI – Institut for Vand og Miljø

Dr. Jens Jørgen Linde  
PH-Consult

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

# Indhold

<b>FORORD</b>	<b>3</b>
<b>1 INTRODUKTION</b>	<b>5</b>
<b>2 FREMSKRIVNING AF REGN OVER DANMARK</b>	<b>7</b>
2.1 DATAGRUNDLAG	7
2.2 FREMSKRIVNING AF CDS REGN	8
2.3 KLIMASCENARIER & TIDSSERIER	9
<b>3 PROBLEMDENTIFIKATION</b>	<b>11</b>
3.1 OPSTILLING AF METODER TIL AT IDENTIFICERE OG BEREGNE LOKALE OVERSVØMMELSER	11
3.2 ANALYSE AF USIKKERHEDER	15
<b>4 RISIKOHÅNDTERING</b>	<b>17</b>
<b>5 MULIGHEDER FOR TILPASNING AF AFLØBSSYSTEMER</b>	<b>23</b>
5.1 FYSISKE TILTAG PÅ AFLØBSSYSTEMET	23
5.1.1 <i>Nedsivning af regnvand</i>	24
5.1.2 <i>Separering af fællessystemer</i>	24
5.1.3 <i>Udskiftning til større rør</i>	25
5.1.4 <i>Overløbsbygværker</i>	25
5.1.5 <i>Bassiner</i>	26
5.1.6 <i>Lokal magasinering</i>	26
5.1.7 <i>Styring og regulering af afløbssystemet</i>	27
5.1.8 <i>Anvendelse af vejssystemet</i>	27
5.2 TILTAG PÅ PRIVAT EJENDOM	27
5.2.1 <i>Fysiske tiltag</i>	27
5.2.2 <i>Administrative tiltag overfor privat ejendom</i>	29
5.2.3 <i>Afvanding af vejarealer</i>	29
5.3 PLANLÆGNINGSMÆSSIGE TILTAG PÅ AFLØBSSYSTEMET	29
<b>6 REFERENCER</b>	<b>31</b>

# Forord

Nærværende rapport omhandler, hvilke muligheder der er for at forebygge gener og skader fra de forøgede regnmængder, der forventes som effekt af klimaændringer. Der beskrives en lang række mulige tiltag lige fra afskæring ved kilden, i form af nedsivning på den enkelte parcel, til udbygning af rørsystemerne med tilstrækkeligt store rør. Desuden beskrives hvordan kommuner kan beregne hvor oversvømmelser vil finde sted, hvor tit det vil ske, og hvilken udbredelse de vil få.

Formålet med rapporten er at give anvisninger for arbejdet i kommuner / kloak-forsyninger med at tage højde for klimaeffekter i forbindelse med etablering, drift og vedligeholdelse af kloakker og renselanlæg,

Rapporten er tænkt at skulle indgå i et efterfølgende arbejde med at lave en egentlig vejledning til de danske kommuner.

Rapporten er udarbejdet sammen med rapporten ”Afløbssystemer under påvirkning af klimaændringer”. Dette dokument skal også indgå som vejledning til kommuner.

Rapporten er udarbejdet af DHI - Institut for Vand og Miljø og PH-Consult med input fra Peter Steen Mikkelsen, DTU.

Projektet er udført i perioden september - november 2005.

Der har været nedsat en følgegruppe bestående af:

Povl Frich, Miljøstyrelsen  
Ditte Holse, Miljøstyrelsen  
Mogens Kaasgaard, Miljøstyrelsen  
Kristian Friis, DANVA  
Niels Bent Johansen, Københavns Energi  
Niels Aagaard Jensen, NIRAS

Der har været afholdt to møder med følgegruppen, hvor rapportens indhold er diskuteret.

Rapporten er finansieret af Miljøstyrelsen



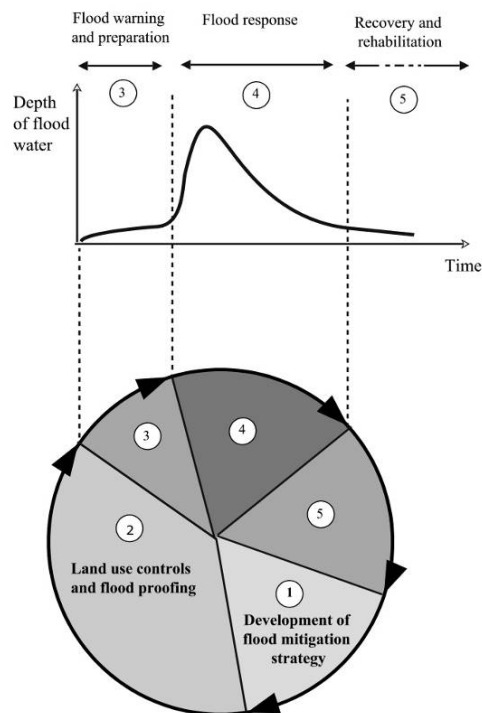
# 1 Introduktion

Det forventes at vore afløbssystemer vil blive udsat for øget belastning i fremtiden pga. mere ekstreme regn. Derfor skal systemerne udbygges og tilpasses de nye forhold, så opstillede funktionskrav til systemet overholdes. Selvom udbygninger foretages korrekt vil der altid forekomme så kraftige regnhændelser at oversvømmelser ikke kan undgås. Forebyggelse af disse situationer samt håndteringen af situationerne vil blive behandlet i det følgende.

Skader fra oversvømmelser som følge af klimaændringer kan reduceres ved at reducere skadens omfang eller hyppighed. Reduktionen kan bestå af en eller flere elementer, f.eks.:

- Reduktion af oversvømmelsens omfang.
- Reduktion af interaktion med oversvømmelsen.
- Kontrol over hvilke områder som oversvømmes, f.eks. ved brug af planlægningsværktøjer.
- Varsling af oversvømmelser.
- Beredskab til håndtering af oversvømmelser.

I udlandet anvendes en metode til at reducere skader på grund af kraftige regnhændelser, som indeholder disse elementer og kaldes ”The flood mitigation cycle” (Håndtering af oversvømmelser). Principperne i ”The flood mitigation cycle”, er vist i figur 1 og principperne er kort beskrevet nedenfor:



Figur 1. ”The flood mitigation cycle”. Beskrivelse af det løbende arbejde med at forebygge og reducere oversvømmelser.

Metoden består af fem hovedprincipper til at reducere oversvømmelser og følgeskader:

- Udvikling af en strategi til at reducere skader i forbindelse, med oversvømmelser, herunder indsamling og analyse af tidligere erfaringer med oversvømmelser.
- By- og landskabsplanlægning, bygning af infrastruktur og beskyttelse af særligt udsatte områder.
- Varsling af oversvømmelser og alarmering af beredskab.
- Iværksættelse af beredskabsplan.
- Oprydning og genopbygning, herunder refleksion og læring.

”The flood mitigation cycle” eller dele af den kan også udmærket anvendes under danske forhold, som et af flere værktøjer til at håndtere regnhændelser, der overskrider design/funktionskrav, men der er den forskel at vi her beskæftiger os med ændrede fremtidige forhold. For eksempel kan 1) ”Indsamling og analyse af tidligere erfaringer med oversvømmelser.” ikke anvendes direkte, når man taler om skader som følge af klimaændringer. Men viden om hvad som skete under en 20 eller 50 års regn, og hvordan de situationer blev håndteret, vil være information, som man kan have stor udbytte af, når man planlægger i forhold til klimaændringer.

## 2 Fremskrivning af regn over Danmark

Grundlaget for forudsigelse af den fremtidige nedbør over Danmark er beregninger med klimamodeller. De benyttede beregninger baseres på modeldata for to 30-års perioder, en kontrolperiode 1961-1990 og en tilsvarende scenarieberegning for perioden 2071-2100, udført med klimascenarium A2. Der er ikke udført modelberegninger af nedbørsforholdene for tidsrummet mellem de to perioder.

Klimamodellerne forudsiger, at der vil komme øget årsnedbør i Danmark, ca. 10 %, og at stigningen vil komme i vinterhalvåret. Sommernedbøren vil totalt set blive en smule mindre, men alligevel vil der optræde flere og kraftigere ekstremregn om sommeren end vi hidtil har oplevet. Det er disse ekstremregn, der vil blive afgørende for, hvordan danske afløbssystemer skal dimensioneres og analyseres i fremtiden.

### 2.1 DATAGRUNDLAG

De omtalte modelberegninger er udført således at der for hele Danmark er beregnet nedbøren pr time for de to 30-års perioder. Nedbøren er beregnet som fladenedbør for kvadrater på ca. 12 x 12 km. Dvs. middelnedbør pr time over dette areal. Der er lavet en tilsvarende beregning med arealer på 25 x 25 km, men da den finere arealinddeling passer bedst til afløbssystemer, er det den der tillægges størst vægt i det følgende. Udviklingen i regnen fra kontrolperioden til scenarieperioden kan bestemmes ved at sammenligne statistikken for ekstremregn for de to perioder. Dette kan gøres for ethvert område af Danmark.

Afløbsteknik er det et problem, at den benyttede beskrivelse af regn i klimamodellerne er en fladebeskrivelse, som ikke umiddelbart kan transformeres til og dermed sammenlignes med de normalt anvendte regndata, som er punktmålinger fra regnmålere. Middelnedbør over arealer som de nævnte er kun yderst sjældent relevante under danske forhold. Der er betydelig usikkerhed om, hvordan man kan sammenligne de to datatyper, og hvordan man kan regne den modelmæssigt beregnede stigning i fladenedbøren om til stigning i punktnedbør. Modellerne fortæller heller ikke om ekstremregn i fremtiden vil have samme udbredelse og forløb, som vi kender det i dag.

Det er indtil videre valgt at benytte den nemmeste metode til fremskrivning, nemlig at de ekstreme punktregn, der benyttes til afløbsberegninger, multipliceres med samme stigningsfaktor som er fundet ved sammenligning af timenedbør over fladerne. Om det er på den sikre eller usikre side er ikke klart. Der er afgjort behov for detaljerede studier af udviklingen i ekstremregn over oplande af forskellig størrelse.

Den nævnte metode betyder at dimensionering under hensyntagen til klimaændringerne kan gennemføres ved at multiplicere de i dag anvendte dimensioneringsregn med en faktor svarende til den forventede stigning.

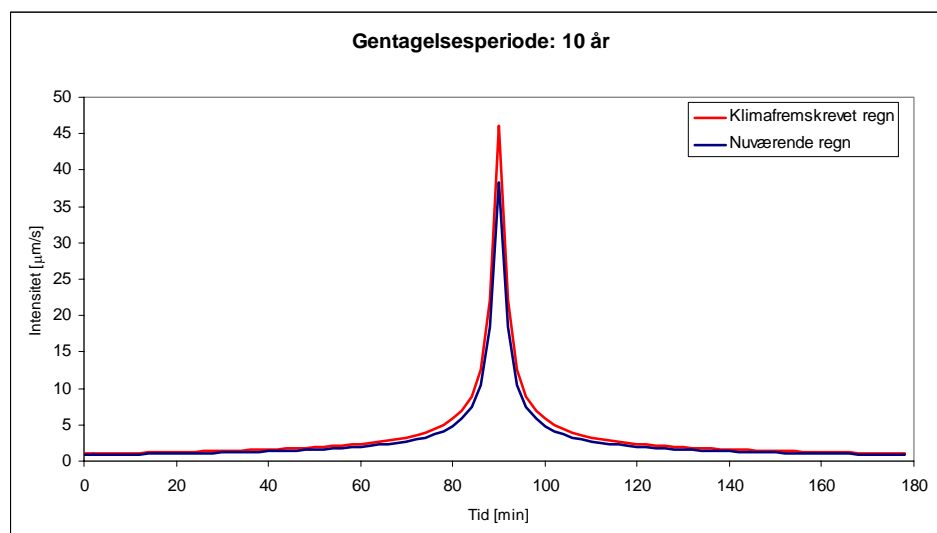


Faktoren kan benyttes både for historiske regn/regnserier og for CDS-regn. Faktoren må dog ikke regnes gældende for alle regn i en regnserie, kun for de ekstreme regn. Beregning af overløbsmængder mv. hvor også lavintense regn indgår må beregnes på anden vis.

## 2.2 FREMSKRIVNING AF CDS REGN

CDS-regn anvendes i dag i vid udstrækning til dimensionering og analyse af afløbssystemer, og det er det generelle indtryk at denne tilnærmede regnbeskrivelse er dækkende i langt de fleste tilfælde, hvor systemet ikke er hydraulisk meget kompliceret. I Spildevandskomiteens Skrift 26 og 27 anbefales CDS regn, men det anbefales desuden at afløbssystemet også kontrolleres med en regnserie (MOUSE-LTS-beregning), hvis systemet er hydraulisk kompliceret. Dette er for at kontrollere om gentagelsesperioden for f.eks. opstuvning til terræn svarer til gentagelsesperioden for den benyttede regn. De på nuværende tidspunkt benyttede regnserier har dog så kort varighed, at der er betydelig usikkerhed på regn med gentagelsesperioder på 10 år eller mere. Det kan derfor være usikkert om modificerede CDS-regn eller historiske regn statistisk set er bedst at anvende for et givet opland. Ønskes gennemført beregninger for regn med endnu længere gentagelsesperioder kan CDS-regn bestemmes ud fra skrift 26. For de fremtidige forhold eksisterer muligheden ikke for at sammenligne CDS-regn og historiske regn. Vi er her nødsaget til at anvende CDS-regnene og lade resultaterne herfra være bestemmende for hvilke udbygninger, der skal foretages.

Som nævnt ovenfor anbefales det at CDS-regn, der skal dække fremtidens forhold, beregnes ved at gange alle intensiteter i regnen, der benyttes i dag, med den faktor, som antages at svare til stigningen i nedbørsintensiteten for de ekstreme regn. Det skal understreges, at det er usikkert om formen på CDS-regn vil ændres i takt med klimaændringerne, så det anbefales at udviklingen følges løbende, da der ellers kan være risiko for fejldimensionering.



Figur 2. Nuværende dimensiongivende og klimafremskrevet 10 års CDS regn (faktor 1,2) for Odense. Tidskridt = 2 minutter. Den klimafremskrevne regn er baseret på scenariet A2.

På figur 2 ses et eksempel på ændringen i CDS-regn fra forholdene i dag til forholdene i slutningen af dette århundrede. I eksemplet er antaget at regnintensiteten øges med 20 % i perioden.

### 2.3 KLIMASCENARIER & TIDSSERIER

Der findes ikke i dag standardmetoder til at beregne tidsserier af fremtidens regn til afløbsteknisk brug ud fra klimamodellernes resultater. Da behovet er meget åbenlyst forventes det dog at der snart vil komme gang i den nødvendige forskning.

Der foregår dog allerede nu et arbejde med at vurdere om der kan ses begyndende ændringer i nedbøren både lokalt og regionalt. Visse statistisk signifikante ændringer har kunnet påvises selv om måleperioderne til dette formål er ret korte. Dette arbejde bør prioriteres højt i de kommende år, idet det er vigtigt at få klarhed over om ændringerne er startet og i givet fald hvordan det påvirker regnforløbene.

Det forventes at der løbende vil ske en opdatering af klimamodellerne og dermed at sikkerheden i forudsigelserne gradvist vil øges. For at få et første grundlag for at tage hensyn til klimaændringerne rundt i Danmark vil det være hensigtsmæssigt at få udarbejdet et kort, der ud fra de nu kendte modelresultater kan angive hvilke ændringer i nedbør, der forventes på enhver lokalitet. Dette arbejde vil relativt nemt kunne udføres ud fra de foreliggende data, men det vil kræve en nøje statistisk vurdering før konkrete talværdier kan angives. Der er i forskningsprojekter på DTU udført indledende undersøgelser af enkelte områder, men variationen på de fundne faktorer fra område til område er så stor, at det vil kræve en betydelig mere dybtgående analyse af resultaterne før detaljerede resultater kan fremlægges. På det foreliggende grundlag kan det derfor ikke præciseres nøjere, end at der kan forventes en stigning i intensiteten i de ekstreme regn på 20 – 50 % (faktor 1,2 – 1,5) frem til år 2100. Om dette skøn vil blive ændret, når datamaterialet er nøjere vurderet, og om der vil kunne angives lokale faktorer for forskellige dele af Danmark er det ikke muligt at fastslå på nuværende tidspunkt.

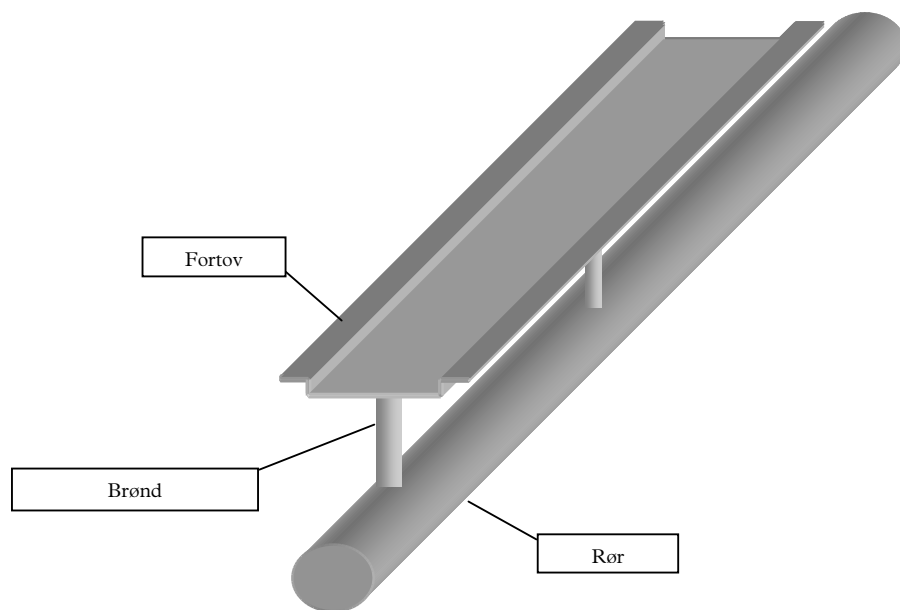


## 3 Problemidentifikation

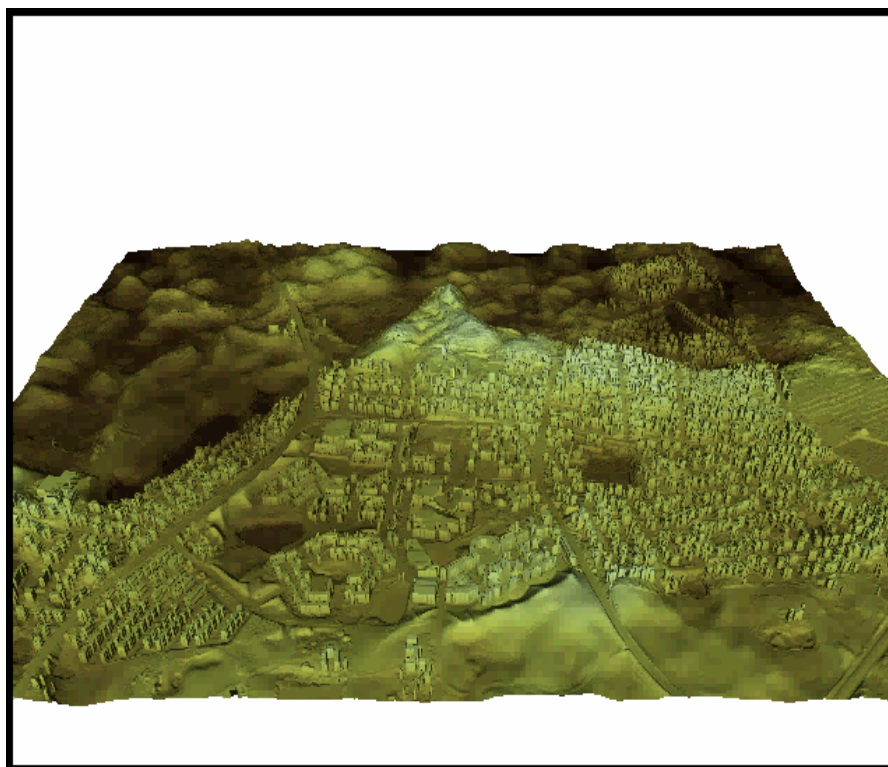
Traditionel dansk praksis inden for design og drift af kloakker betyder at afløbssystemerne mange steder har en større kapacitet end mindstekravet i dag. Dette betyder at en del afløbssystemer muligvis fortsat vil leve op til funktionskravene under fremtidige klimaændringer. Derfor vil en kommune typisk være interesseret i en analyse af om designkriterierne, – designkapaciteten og funktionskravene overskrides som følge af klimaændringer. En sådan analyse kræver ikke nødvendigvis avancerede metoder eller modeller. Metode og model kan vælges ud fra de lokale forhold og kompleksiteten af afløbssystemet. I meget simple tilfælde kan systemet måske overskues alene ved håndregning, men i de fleste tilfælde bør benyttes en MOUSE-analyse med CDS-regn. I mere sjældne tilfælde, hvor systemet er hydraulisk kompliceret, kan det være nødvendigt med mere avancerede beregninger, som MOUSE-LTS eventuelt kombineret med en model, der regner på udbredelse af oversvømmelse på overfladen. Det vil senere blive omtalt, hvordan en kommune kan vurdere om klimaændringer vil medføre overskridelse af funktionskrav eller medføre oversvømmelser.

### 3.1 OPSTILLING AF METODER TIL AT IDENTIFICERE OG BEREGNE LOKALE OVERSVØMMELSER

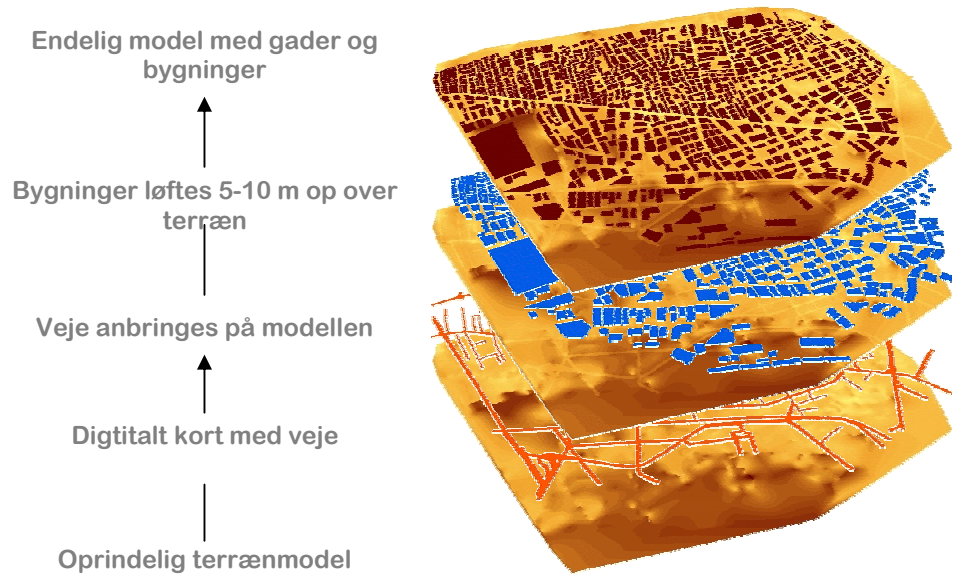
I de tilfælde hvor klimaændringer medfører vand på terræn eller oversvømmelser skal kommunen have et overblik over hvilke analysemetoder, som i dag eksisterer til analyse og beregning af konsekvenserne af oversvømmelser i byer. Traditionelt bruges computerprogrammer af mange danske kommuner og rådgivere til at designe nye kloaksystemer og til at analysere problemer med opstuvning og oversvømmelser. Modellsystemet MOUSE bliver meget ofte brugt til disse analyser. MOUSE kan også anvendes til at beskrive udbredelsen af lokale oversvømmelser f.eks. på gader og veje – dette er dog ikke så ofte gjort i Danmark – da oversvømmelserne i Danmark hidtil oftest har været af mindre omfang. At anvende MOUSE til beregning af lokale oversvømmelser kræver en metodik, som tidligere anvendt i f.eks. Sverige, Spanien, Thailand, Argentina og USA (Mark et al., 2004). Figur 3 viser principperne bag en modelformulering, som både beregner strømningsforholdene i afløbssystemet og strømningen og vandstanden på vejen simultant.



Figur 3. Principskitse af en modelformulering som simultant beregner forholdene i afløbssystemet og på vejen.



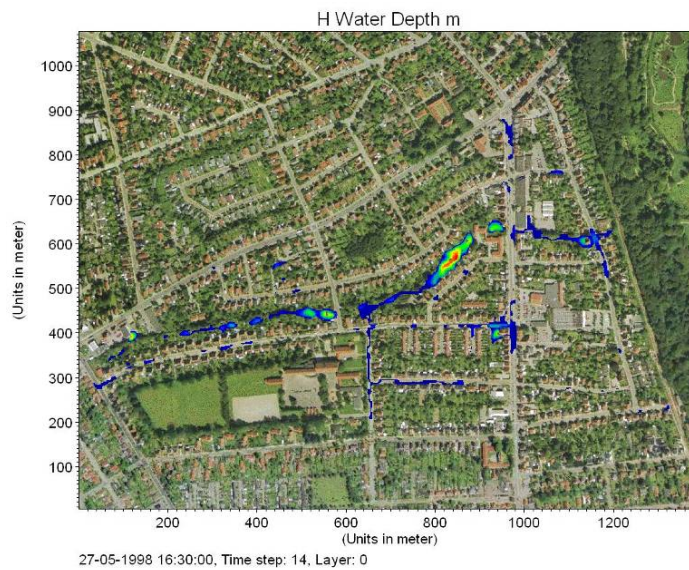
Figur 4. Et eksempel på en digital terrænmodel for oplandet Egebjerg i Ballerup. Data til terrænmodellen tilhører COWI.



Figur 5. Konstruktion af den digitale overflademodel baseret på viden om beliggenhed af huse og veje.

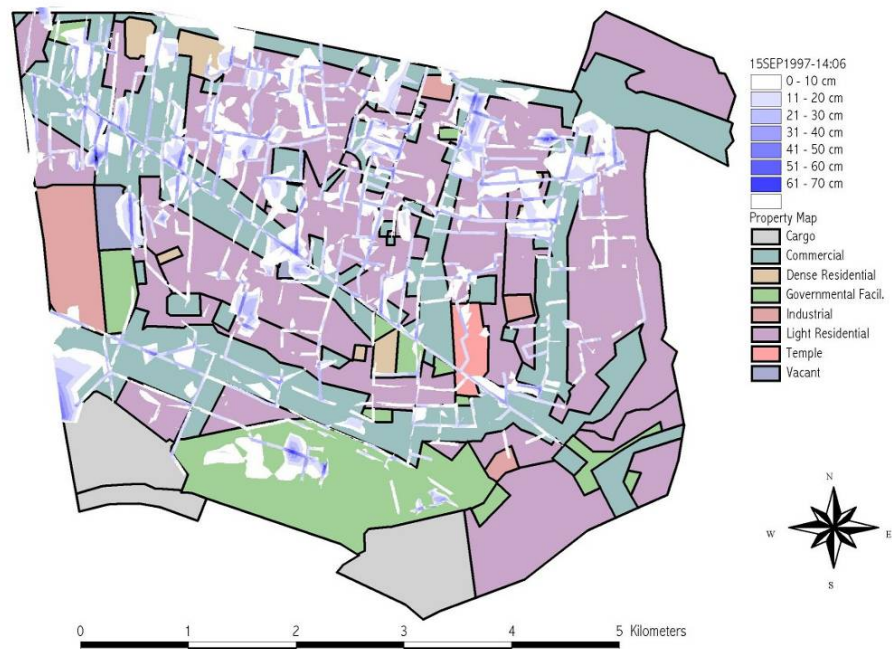
Viser en beregning at der kommer vand på terræn, så kan oversvømmelsen estimeres på flere måder afhængigt af oversvømmelsens dynamik og terrænets udformning. Er der tale om en oversvømmelse som optræder i en lokal lavning, som vandet ikke kan løbe væk fra, så kan udbredelsen af oversvømmelsen og dybden af oversvømmelsen på terræn findes ud fra en geometrisk analyse af volumen af vand på terræn samt terrænets geometri/højdekurver.

Under oversvømmelser hvor vandstanden er højere end fortovs-kanten, og vandet strømmer fra det oversvømmede område og hen i et andet område og ned i afløbssystemet igen i en bane som IKKE følger ledningsføringen, kan man med fordel anvende MOUSE i kombination med en model, som beskriver hvordan vand strømmer på jordoverflader, mellem huse, på parkeringspladser, mm. Dette er bl.a. gjort i Odense – se eksemplet i afsnit 12 i ”Afløbssystemer under påvirkning af klimaændringer” og se figur 6.



Figur 6. Et eksempel på en beregnet oversvømmelse i et opland i Odense. Beregningen er gennemført for en regn med en gentagelsesperiode på 10 år uden hensyntagen til klimaeffekter.

En beregnet oversvømmelse kan i GIS præsenteres sammen med et kort, som viser byanvendelse og huse. På den måde kan antal berørte huse estimeres og et første estimat af potentielle skader, som følge af oversvømmelsen kan findes. Et oversvømmelseskort kan også bruge i en dialog med borgerne om service-niveauer. Et eksempel på en beregnet oversvømmelse kombineret med et digitalt kort over byanvendelse er vist i figur 7.



Figur 7. Oversvømmelsesberegninger kombineret med et digitalt bykort, til et første estimat af potentielle skader fra oversvømmelserne.

### 3.2 ANALYSE AF USIKKERHEDER

Usikkerhed ved simulering af afløbssystemers funktion kan med fordel analyseres ved hjælp af den metode, som er beskrevet i Spildevandskomiteens skrift nr. 27. I skriftet er usikkerhedsanalysen koncentreret omkring statistisk usikkerhed i forbindelse med inddata og parametre, samt omkring scenariusikkerhed i forbindelse med den fremtidige klimaudvikling og udviklingen i befæstet areal.

Sensitivitetsanalyser for konventionelle rørmodeller uden detaljeret simulering af vand på terræn har vist, at den væsentligste statistiske usikkerhed relaterer sig til:

1. Regnintensiteten.
2. Den hydrologiske reduktionsfaktor for de tilsluttede arealer.
3. Manningtallet for ledningssystemet.

Usikkerheden på Manningtallet betyder mindre end de to andre bidrag. Endvidere er det vist, at en enkel men velfungerende metode til at vurdere betydningen af usikkerheder på beregningsresultater er at fastsætte en sikkerhedsfaktor, som ganges på tilstrømningen og altså tager højde for alle de betydende usikkerheder (både statistisk usikkerhed og scenariusikkerhed).

Tabel 1 viser vandniveauer for to udvalgte lokaliteter beregnet med en koblet model (MOUSE og MIKE 21) for afløbssystemet og byens overflader. Beregningerne er foretaget for et opland i Odense, som er vist i figur 6 og som er detaljeret beskrevet i dokumentet ”Afløbssystemer under klimaændring”, afsnit 12. Beregningerne er foretaget for en gentagelsesperiode på 10 år i tre situationer, hhv.:

- 1) En statussimulering, hvor der ikke er taget højde for usikkerhed.
- 2) En simulering hvor der er taget højde for statistisk usikkerhed på regnintensiteten, den hydrologiske reduktionsfaktor og Manningtallet (svarende til en sikkerhedsfaktor på tilstrømningen på 1,2).
- 3) Klimaforandringer/scenariusikkerhed svarede til, at regnintensiteten forøges med 20% (den samlede sikkerhedsfaktor bliver da  $1,2 \times 1,2 = 1,44$ ).

Tabel 1. Vurdering af betydningen af statistisk usikkerhed og klimaforandringer (scenariusikkerhed) samt sammenligning af betydningen af statistisk usikkerhed på Manningtallet i rør- og overflademodel.

Manningtal for rør ( $m^{1/3}/s$ )	Manningtal for overflader ( $m^{1/3}/s$ )	Sikkerhedsfaktor på tilstrømning	Oversvømmet areal ( $m^2$ )	Vanddybde (cm) Børnehave	Vanddybde (cm) Dalumvej
75	40	1	10 300	58	0
75	40	1,2	14 400	71	17
75	40	1,44	21 500	84	27
60	40	1	12 100	61	0
75	32	1	10 400	57	0

Resultaterne viser en kraftig effekt på vandniveauet, der f.eks. i børnehaven øges med 13 cm på grund af statistisk usikkerhed og med yderligere 13 cm på grund af det viste scenarium for klimaforandringer.



Usikkerheden på modelberegningen af vandniveauet på overfladen er ikke væsentlig. Dette er vist ved en simpel sensitivitetanalyse i de to sidste rækker i tabel 1, der viser at Manningtallet i rørmodellen (som er den mindst betydende statistiske usikkerhed) har en vis effekt, ved at vandniveauet i børnehaven øges med 3 cm, hvis Manningtallet sættes kraftigt ned.

Manningtallet i overflademodellen (MIKE21) har ingen væsentlig betydning. Det ses af at vandniveauet kun sænkes med 1 cm, ved en 20% reduktion af Manningtallet. Dette bekræfter, at modelberegninger med fastsatte sikkerhedsfaktorer, som angivet i Spildevandskomiteens skrift nr. 27, udmærket kan anvendes, selvom beregningerne udvides med en model for byens overflader.

## 4 Risikohåndtering

For et afløbssystem, der udsættes for en gradvist øget belastning, som følge af klimaforandringer og/eller fortætning, vil det være vigtigt at have overblik over, i hvilken rækkefølge problemerne vil vise sig og indenfor hvilken tidshorizont det vil være nødvendigt at foretage indgreb de enkelte steder for til enhver tid at overholde funktionskravene til systemet. Selv om systemet lever op til funktionskravene kan der altid komme kraftigere regn end svarende til disse krav. Dette bør der være taget hensyn til ved at det er forberedt, hvad der skal gøres i sådanne tilfælde. Til dette arbejde vil det være vigtigt at have et overblik over hvilke skader der i givet fald vil kunne optræde, det vil især sige omfang af oversvømmelser, arealer der rammes og vanddybder i områderne. Ud fra dette kan forebyggende og afhjælpende aktiviteter planlægges, således at skaderne i givet fald minimeres. Det er dette samlede problemkompleks, der i denne rapport betegnes risikohåndtering.

Vurdering af risiko for skader i kloakopland kan ske på forskellige niveauer, fra overordnede kvalitative analyser til kvantitative analyser. Ligeledes kan der ske inddragelse af flere eller færre påvirkninger i analysen. Ud over indflydelse af ekstrem regn er der også risici ved den almindelige drift af afløbssystemer.

Ved f.eks. systematisk at gennemgå, hvordan afløbssystemet fungerer under forskellige forhold, både under ekstreme regn og under driftsforstyrrelser, og ved at vægte de forskellige driftsforstyrrelser efter den betydning man tillægger dem, kan der opstilles en egentlig risikoanalyse af systemet. En simplere risikoanalyse alene for oversvømmelser pga. ekstrem regn, er også en mulighed. Analyser på begge niveauer er særdeles nyttige hjælpemidler, som kan anvendes ved prioritering af den indsats der løbende skal laves for at opgradere afløbssystemet.

En stor fordel ved en risikoanalyse er at alle årsager til oversvømmelser bliver sammenstillet og vægtet. Herved kan det undgås at der ofres uforholdsmæssigt meget på nogle tiltag mens andre, der måske er mere vigtige, forbigås. F.eks. kan stop af en pumpestation på grund af tilstopning eller strømsvigt under en moderat regn give lige så store oversvømmelser som en ekstremregn.

Det er endnu ikke almindeligt at foretage egentlige risikoanalyser af afløbssystemer, men Københavns Energi har med bistand fra Krüger AS foretaget en indledende risikoanalyse af afløbssystemet. Denne analyse er beskrevet i en artikel i NO-DIG nr. 4/2005. For at give et indtryk af udbyttet af en sådan analyse gengives nedenfor hovedpunkterne, i en lettere bearbejdet udgave.

Formålet med at igangsætte risikoanalysen var følgende:

- At opnå et overblik over risikoen for systemsvigt i forskellige geografiske oplande og på forskellige niveauer af afløbssystemet.
- At opbygge metoder og risikoværktøjer til at foretage en optimal prioritering af indsatsen under kvalificeret og kvantificeret hensyntagen til risikoen.

- At foreslå risikoreducerende foranstaltninger, således at konkrete projekter kan igangsættes.

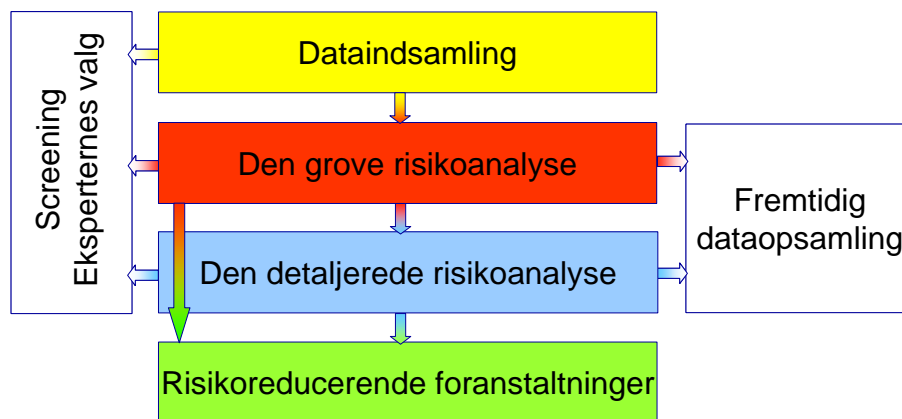
#### Definition af risikobegrebet.

Risiko er kombinationen af sandsynligheden for en uønsket hændelse (f.eks. driftsstop af renseanlæg/pumpestation, kælderoversvømmelser, udledning af farlige stoffer, fejl i styring/SRO) og omfanget af konsekvenserne (f. eks. skade på anlæg, personskade, lugt, trafikale forsinkelser, fiskedød) samt alvoren (er der tale om udledning af 1 liter eller 100 liter, er det et hospital der oversvømmes, hvor mange tilskadekomne). **Matematisk udtrykt: risiko = sandsynlighed gange konsekvens.**

En plan for håndtering af risiko kan f.eks. indeholde følgende syv analyser:

- Hvad kan gå galt?
- Hvor sandsynligt er det, og hvilke konsekvenser medfører det?
- Hvorledes kan vi forbedre tilstanden?
- Hvad er den økonomiske udgift og den økonomiske, miljømæssige, PR- og driftsmæssige gevinst ved forbedringen?
- Hvilke aktiviteter bør igangsættes?
- Hvem beslutter?
- Hvornår sker der noget?

Fremgangsmåden i en risikoanalyse er illustreret i figur 8.



Figur 8. Forløbet ved en risikoanalyse.

Første punkt er dataopsamling, hvor viden om afløbssystemet indhentes. Dernæst følger den grove risikoanalyse, hvor der foregår en screening af anlæggene ved hjælp af eksperter og specielle risikoværktøjer. Efter den grove risikoanalyse er der to muligheder – enten at udarbejde en detaljeret risikoanalyse med fokus på udvalgte områder fra den grove risikoanalyse eller gå direkte videre til at pege på risikoreducerende foranstaltninger. Såfremt det vælges at gå videre med den detaljerede risikoanalyse kan der ud fra en kvantificering opstilles prioriterede risikoreducerende foranstaltninger.

#### Den grove risikoanalyse

For at prioritere mellem de udvalgte lokaliteter er det nødvendigt at opbygge tre matricer:

- En frekvensmatrice.
- En konsekvensmatrice.
- En risikomatrice.

Frekvensmatricen består af 7 intervaller benævnt F1 til F7. F1 er en hændelse, der statistisk indtræffer sjældnere end 1 gang hvert 10.000 år. F7 er en hændelse, der statistisk indtræffer 10 til 100 gange om året. Frekvensintervallerne er opbygget efter en logaritmisk skala. På grund af den logaritmiske skala er det ikke vigtigt at kende frekvenserne for de uønskede hændelser nøjagtigt. Det er størrelsesorden af en given hændelse, der skal benyttes. Frekvensmatricen er vist på figur 9.

Frekvens interval	Klasse	Frekvens per år
daglig til måned	F7	10 - 100
måned til år	F6	1 - 10
1 - 10 år	F5	0,1 - 1
10 - 100 år	F4	0,01 - 0,1
100 - 1000 år	F3	0,001 - 0,01
1000 - 10000 år	F2	0,0001 - 0,001
< 10000 år	F1	0,00001 - 0,0001

Figur 9. Den opbyggede frekvensmatrice.

Konsekvensmatricen beskriver 6 forskellige konsekvensklasser gående fra ingen/negligérbar konsekvens til katastrofal konsekvens, der beskrives kvalitativt såvel som kvantitativt. Konsekvensmatricen er vist på overordnet niveau i figur 10.

	Ingen/negligérbar	Ubetydelig	Marginal	Alvorlig	Kritisk	Katastrofal
<b>K o n s e k v e n s  g r u p p e r</b>	<b>Konsekvens klasser</b>					
	<b>Skade på 1.- og 2.part – død, skade/sygdom</b>					
	<b>Skade på 3.part</b> død, skade/sygdom, forsinkelser					
	<b>Materielle konsekvenser</b> huse, infrastruktur, KE's materiel					
	<b>Miljø konsekvenser</b> – miljøbelastning, badevandskvalitet, luft, støj					
	Økonomisk skala					

Figur 10. Struktur for den opbyggede konsekvensmatrice.

Den viste konsekvensmatrice sammenholder fire forskellige konsekvensklasser – skade på 1. og 2. part (ansatte, rådgivere, entreprenører), skade på 3. part (borgere), materielle skader og skader på miljø. Under miljø spiller især badevandskvalitet en væsentlig rolle, da der gennem de sidste år er investeret et meget stort beløb for at opnå badevandskvalitet.

Der benyttes en logaritmisk skala mellem de enkelte konsekvensklasser i matricen for at gøre det muligt at sammenligne konsekvensgrupperne. F.eks. angiver ”Ubetydelig” en økonomisk værdi på 10.000 – 100.000 kr., mens ”Marginal” angiver en værdi mellem 100.000 – 1.000.000 kr.

Den økonomiske skala anvendt i konsekvensmatricen er ikke sat arbitrær, men hvert enkelt tal er vurderet ud fra tilgængelige kilder og erfaringstal.

Ud fra den opbyggede frekvensmatrice og konsekvensmatrice er det muligt at konstruere en risikomatrice, der sammenholder forskellige risici. Den opbyggede risikomatrice er vist i figur 11.

Klassificering af farer		Konsekvenser					
		Ingen / negligerbar	Ubetydelig	Marginal	Alvorlig	Kritisk	Katastrofal
Frekvensklasser antal per år		0	1	2	3	4	5
10 - 100	7	7	8	9	10	11	12
	6	6	7	8	9	10	11
	5	5	6	7	8	9	10
	4	4	5	6	7	8	9
	3	3	4	5	6	7	8
	2	2	3	4	5	6	7
	1	1	2	3	4	5	6

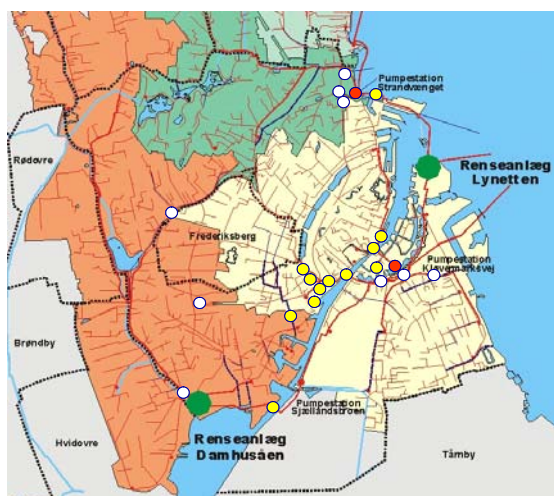
større end 7	Ikke tolerabel Uønsket Tolerabel Negligerbar
6 eller 7	
5	
mindre end 5	

Figur 11. Risikomatrice. I matricen er udvalgte lokaliteter i kloaksystemet placeret i forhold til de vurderede frekvenser og konsekvenser.

I risikomatricen benyttes fire farver, som angiver, hvorvidt det beregnede risikoniveau for en given uønsket hændelse er tolerabelt eller ej. Et risikoniveau over 6 eller 7 skal medføre implementering af tiltag, der kan reducere risikoniveauet. Jævnfør figur 11 bør der altså identificeres risikoreducerende foranstaltninger for de to hændelser i det ikke-tolerable område (angivet ved cirkel nr. 8 og cirkel nr. 13 i figur 11).

Alle punkter beliggende i det gule område bør vurderes ud fra cost-benefit analyser, der kan afgøre hvad og hvor meget, der skal til for at reducere risikoniveauet, og hvorvidt en investering skal foretages her og nu, eller først når konsekvensen indtræffer.

En anden måde at synliggøre de analyserede risici på er vist i figur 12. Kortet viser den geografiske beliggenhed af de analyserede lokaliteter med størst risikoniveau. Ud fra den grove risikoanalyse er det muligt at udvælge de lokaliteter i afløbssystemet med størst risici til videre analyse.



Figur 12. Risikokort. Kan f.eks. indsættes som bilag til spildevandsplan. Kortet viser den geografiske placering af de undersøgte risici. Farverne i cirklerne refererer til farverne benyttet i risikomatricen. Hvid angiver punkter, der endnu ikke er analyseret færdig.

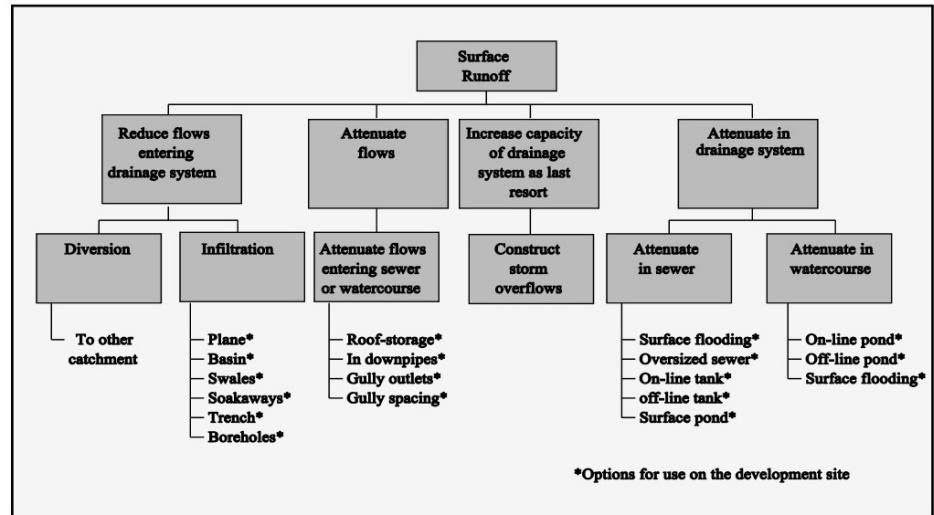
Projektet giver grundlag for at vurdere risikoniveauet for afløbssystemet og at vurdere dette niveau i forhold til acceptgrænsen fastlagt i risikomatricen. For de hændelser, der ligger over acceptgrænsen, skal der identificeres og implementeres risikoreducerende foranstaltninger. For de hændelser, der ligger i acceptområdet, skal der foretages en identifikation af mulige risikoreducerende foranstaltninger, og disse skal vurderes i form af en cost/benefitanalyse.



# 5 Muligheder for tilpasning af afløbssystemer

## 5.1 FYSISKE TILTAG PÅ AFLØBSSYSTEMET

Håndtering af de øgede regnmængder fra vore byområder så funktionskravene overholdes og oversvømmelser minimeres, kan ske på en række forskellige måder. Principielt består mulighederne i at undgå at den forøgede vandmængde ledes til afløbssystemet, og hvis dette ikke er muligt, så enten at forøge bortledningen eller forøge opmagasineringen, eventuelt en kombination af disse. Undgåelse af tilledning kan normalt kun opnås ved at etablere lokal nedsivning af vandet. Bortledning af regnvand kan ske gennem åbne kanaler eller lukkede rør, til recipient, til større nedsivningsanlæg, eller sammen med evt. spildevand til renselanlæg. Opmagasineringsanlæg kan enten være traditionelle bassiner som betonkasser eller rørbassiner, eller det kan være søer og vandhuller. Ud over de fysiske forhold i oplandet, renselanlæggets kapacitet og recipienttilstanden, så er det afgørende om afløbssystemet er et fællessystem eller et separatsystem. For et separat regnvandssystem er det normalt betydeligt lettere at finde afledningsmuligheder til en lokal recipient, end det er for overløb fra et fællessystem. På figur 13 ses en oversigt over mulige metoder til regulering af regnvandsafstrømningen i et afløbssystem.



Figur 13. Skematisk oversigt over mulige metoder til regulering af regnafstrømningen. Kilde: Parkinson & Mark, 2005.

I det følgende beskrives en række af de almindeligste tiltag, som forventes benyttet ved udbygning af eksisterende afløbssystemer, så de kan leve op til funktionskravene under den fremtidige øgede belastning.

Overslagsmæssige priser for nyanlæg af ledninger, bassiner og pumpestationer kan f.eks. findes i ”Afløbsteknik” (Linde, et al. 2002).



Kommunen skal være opmærksom på at tiltag ofte medfører behov for revision af både spildevandsplan og udledningstilladelser / nedsivningstilladelser, f.eks. hvis overløbsmængder øges eller hvis man etablerer nedsivning af overfladevand/ vejvand.

### **5.1.1 Nedsivning af regnvand**

Hvor det er muligt vil det være mest hensigtsmæssigt at undgå at få de forøgede vandmængder ledt til afløbssystemet men i stedet aflede vandet lokalt f.eks. til nedsivning i faskiner. Herved undgås at regnafstrømningen samles i store rørsystemer som skal kunne transportere vandet til fjerntliggende recipient. Der kan vælges løsninger, hvor vandet infiltreres på hver enkelt ejendom eller der kan laves samlede løsninger for mindre byområder. Vejvand og vand fra pladser, parkeringsanlæg mv. kan i nogle tilfælde også infiltreres, men det skal her vurderes om det nedsivende vand kan udgøre en trussel mod grundvandskvaliteten.

Infiltration er principielt den miljømæssigt bedste metode til afledning af regnvand, da det i stor udstrækning svarer til den naturlige måde og kun medfører begrænsede indgreb i det naturlige vandkredsløb. En del anlæg indrettes således at der er nødoverløb fra infiltrationsanlæggene til det offentlige regnvandssystem. Herved reduceres risikoen for oversvømmelser og størrelsen af nedsivningsanlæggene kan begrænses. Dette har dog den uheldige konsekvens at under kraftig regn kan faskinerne blive fyldt op og derefter afledes regnafstrømningen ret uforsinket og uudjævnet til afløbssystemet, der derfor skal dimensioneres til at kunne klare sådanne spidser. Kapaciteten af faskiner kan typisk være af en størrelse svarende til 20 – 30 mm regn, men der er ingen sikkerhed for at faskinerne er tomme ved regnens start.

#### *Kombination af infiltration og magasinering*

Infiltrationsanlæg for regnvand vil som nævnt normalt have en begrænset kapacitet således at der vil skulle opmagasineres vand i perioder med de største tilstrømninger. Den optimale kombination af magasinestørrelse og infiltrationskapacitet kan beregnes eller vurderes ud fra kendskab til jordens infiltrationskapacitet, tilstrømningsforhold mv. Der kan henvises til Skrift 25.

### **5.1.2 Separering af fællessystemer**

Mange af de mest hensigtsmæssige tiltag til håndtering af de øgede regnmængder egner sig dårligt til fællessystemer. Blandingen af spildevand og regnvand er så forurenat at vandet skal behandles med forsigtighed og omtanke. Kontakt med vandet indebærer en risiko for sygdomme og der er æstetiske problemer på udledningsstederne. Funktionskravene er derfor strengere til fællessystemer end til separatsystemer. Det er nærliggende at overveje at ændre gamle fællessystemer til separatsystemer, især hvis kapaciteten af fællessystemet er sådan at der skal foretages større udbygninger. I praksis er der dog så mange problemer ved dette at det kun er få steder, hvor det er gennemført. Det er meget dyrt og meget besværligt at lægge et helt nyt ledningssystem, som oven i købet også kræver at ledningerne inde på de enkelte parceller lægges om til et separatsystem.

I separate regnvandssystemer håndteres relativt rent vand, i hvert fald er det ikke hygiejnisk set farligt, og dette vand kan langt bedre opmagasineres eller

udledes i bassiner, søer og vandhuller end overløbsvand fra fællessystemer. I givet fald kan vandet også lettere renses inden udledning end overløbsvand. Separering gennemføres en del steder i mindre bysamfund, men sjældent i de gamle bykerner, hvor behovet ofte er størst. Der er derfor behov for alternative løsninger på problemerne disse steder. Der findes ikke i dag nogen universalløsning på disse cityproblemer.

### **5.1.3 Udskiftning til større rør**

Hvis opbygningen af et afløbssystem ikke ønskes ændret kan man vælge simpelthen at forøge dimensionen på alle rørene i systemet så kapaciteten bliver den nødvendige under de nye forhold. Den skønnede effekt af klimaændringerne er ikke større end at det i mange tilfælde vil svare til et dimensionstrin op. Alternativt kan lægges supplerende ledning f.eks. langs den eksisterende. Før dette princip beslutes bør man dog nøje analysere sit afløbssystem, så der kun foretages de nødvendige udskiftninger og det bør overvejes, om det er bedre at øge dimensionen ekstra meget på nogle strækninger og om der er alternative ledningsføringer som kan reducere udgifterne til udbygning.

Hvis ledningerne alligevel skal renoveres eller lægges om er merudgiften ved at tage hensyn til øget belastning ikke nødvendigvis stor, men hvis beregningerne viser at systemet skal udbygges steder hvor kvaliteten i øvrigt er god nok, kan det medføre en stor merudgift.

#### *Transportledninger*

Den forøgede vandmængde fra et opland kan borttransporteres gennem større rør eller magasineres. I specielle tilfælde, hvor det er meget vanskeligt at finde mulighed for udbygning af afløbssystemet, f.eks. pga. pladsmangel i gadeprofilet, kan der bygges tunnelledning fra strategisk velplacerede punkter i et opland og frem til recipient eller hovedledning. Ledningerne kan samtidig virke som bassinledninger. De tekniske og økonomiske muligheder for anvendelse af sådanne løsninger er blevet betydeligt bedre i de seneste år. Det skal bemærkes, at de forøgede vandmængder kan være afgørende for hvilken renoveringsmetode, der kan benyttes og dermed for udgiften.

### **5.1.4 Overløbsbygværker**

I fællessystemer bygges ofte overløbsbygværker eller aflastningsbygværker for at sikre at vandspejlet i afløbssystemet ikke overstiger et valgt niveau. Herved beskyttes områder mod oversvømmelser, og det kan sikres at kun forudsatte vandmængder løber videre i systemet. Overløbsvandet løber over kanten til bassin, hjælpeledning eller recipient. For at sikre samme funktion ved øget tilstrømning og fastholdt videreførende vandføring vil det være nødvendigt at øge kantlængden eller at sænke kantkoten. Det sidste vil dog have den uheldige konsekvens at antallet af overløb øges.

For at sikre bedst hydraulisk funktion af overløbsbygværker, dvs. at mest muligt vand løber videre uden at opstuvningen bliver for stor, så kan bygværket indrettes med bevægelig overløbskant, dynamisk styret kant eller bøjeklap. Herved kan også opnås størst mulig bassinvirkning af det bagvedliggende system.

Ud over de hydraulisk begrundede ombygninger vil man i dag normalt opsætte renseforanstaltninger i overløbsbygværker. Normalt mindst automatisk rensede sier eller riste men i nogle tilfælde mere vidtgående renseforanstaltninger til f.eks. fjernelse af næringssalte og til hygiejnisering. Udviklingen vil ganske givet medføre at sådan rensning vil blive mere og mere udbredt og der vil fremkomme flere og bedre rensemetoder til anvendelse ved lokal rensning. Renses vandet tilstrækkeligt kan rensningen kompensere for den øgede udledning, så recipientbelastningen reduceres på trods af den forøgede udledning.

### **5.1.5 Bassiner**

Mange steder hvor man vælger at neddrose den videreførende lednings kapacitet, bygges bassiner, der kan virke som buffer i systemet. Bassiner bygges ofte sammen med overløbsbygværker og det kan herved sikres at der kun kommer overløb til recipienten med en valgt hyppighed. Bassinerne kan både have til formål at opmagasinere de skadevoldende spidser af afstrømningen, så oversvømmelser undgås eller reduceres, og de kan have som formål at reducere aflastninger til recipienten. I fællessystemer ledes det opmagasinerede vand til rensningsanlæg på normal vis efter regn. I separatsystemer skal bassiner normalt især udjævne afstrømningen, men derudover gerne medføre en vis rensning af vandet før det udledes i recipienten.

Dimensionering af bassiner i fællessystemer kan foretages ud fra bassinets afløbstal og valgt gentagelsesperiode for overløb. Der findes formler i Skrift 26 til bestemmelse af nødvendigt volumen, men det må anbefales at man benytter så opdaterede regnserier som muligt og herudover indregner effekt af klimaændringer. Der foretages herefter en Mouse-beregning for at verificere funktionen af bassinet.

Bassiner i separate regnvandssystemer kan ofte indgå i rekreative områder og dermed have andre funktioner end blot at skulle udjævne afstrømningen. Her kan bassinstørrelsen blive bestemt at tilladelig vandspejlsvariation samt f. eks. af krav om grænser for opholdstiden i bassinet. Opholdstiden må ikke være for kort, det giver for ringe stoftilbageholdelse, og den må ikke være for lang, det kan give for stor algevækst i bassinet. Denne type bassiner kan i øvrigt anbefales, da de ofte er meget fleksible overfor øgede tilstrømninger bla. fordi overbelastninger pga. bassinernes placering ikke giver anledning til store skader eller gener.

### **5.1.6 Lokal magasinering**

Overalt hvor der er mulighed for det vil det være godt med magasinering af regnvandet i ekstremssituationer. Det skal derfor overvejes at placere bassiner ved så mange små afvandsområder som muligt, f.eks. ved afvanding af mindre veje, parkeringspladser mv. Måske kan man nogle steder lave nedløbsbrøndene så store at de med en neddrosling af udløbet kan virke som bassiner. Tiltag som disse kan udføres når der alligevel sker ombygninger og de kan derved bidrage til at kompensere for de forøgede regnmængder.

Det kan overvejes allerede på planlægningsstadiet, om nyanlagte befæstede arealer kan tjene flere formål, således at der planlægges aktiviteter på området, som ikke skades af vanddybder på ca. 5-10 cm på området under ekstremregn i en kort periode.

### **5.1.7 Styring og regulering af afløbssystemet**

Afløbssystemer dimensioneres til at kunne klare dimensioneringsregn og derved opfylde funktionskravene. Da regn tit falder ujævnt over et opland og kapaciteten også ofte er varierende kan der være gode muligheder for at forbedre udnyttelsen af et afløbssystem ved at indføre dynamisk styring af visse elementer i systemet f.eks. afløb fra bassiner. Dette kan medvirke til både reducerede oversvømmelser og i fællessystemer reducerede overløb til recipienterne. For afløbssystemer med flere bassiner, pumpestationer mv. må det kraftigt anbefales at potentialet ved dynamisk styring undersøges og måske indføres. I forbindelse med udbygning af systemer kan det være relevant at undersøge om styring kan give mulighed for mere hensigtsmæssige løsninger på problemerne, som f.eks. at bassiner eller bassinledninger lettere kan placeres steder, hvor der er bedre plads.

### **5.1.8 Anvendelse af vejsystemet**

Normalt tilstræbes det at vejvand ledes til afløbssystemet så det undgås at der er vand på overfladen. I visse tilfælde kan det dog overvejes at udnytte gadeprofilet til at borttransportere vandet under ekstremregn. Hvis terrænforholdene er velegnede og det modelmæssigt kan overskues, hvordan systemet vil virke kan det være en udmærket metode til få vandet transporteret fra kritiske områder til egnede recipienter eller opmagasineringsmuligheder. Metoden kan dog kun anbefales brugt for separate regnvandssystemer.

## **5.2 TILTAG PÅ PRIVAT EJENDOM**

### **5.2.1 Fysiske tiltag**

Det kan være hensigtsmæssigt at få borgerne til at tilbageholde og aflede regnvandet på egen grund. Herved undgås at vandet samles og dermed kræver stor transportkapacitet. Yderligere opnås at bebyggelsen i mindre grad påvirker vandkredsløbet i området. Effekten af klimaændringer vil formodentlig også nemmere kunne håndteres i så små systemer, som der vil være tale om. Det kræver dog at grundvands-, jordbunds- og terrænforholdene er således at det er muligt at aflede vandet lokalt uden at det giver anledning til problemer og skader. Der findes en række metoder, der kan anvendes af borgerne, hvis de vil undlade eller reducere regnvandstilledningen til det offentlige system.

#### *Nedsivning af regnvand*

Her tænkes på afledning af regnvandet til faskiner på grunden. Nedsivning forudsætter egnede nedsivningsforhold. Hvis jordbundsforholdene er problematiske eller grundarealet er for lille kan det være nødvendigt med et nødoverløb til det offentlige system. Herved kan en væsentlig del af fordelen forsvinde, idet faskinen måske er fyldt op på det tidspunkt, hvor den mest ekstreme del af regnen falder. Faskiner udføres ofte i en størrelse svarende til 20 – 30 mm regn, men som nævnt er der ikke sikkerhed for at hele denne kapacitet er til rådighed ved regnens start.

Anvendes f.eks. græsarmeringsten eller tilsvarende belægninger på P-pladser, mm – så kan en stor del af regnen nedsives på stedet.

#### *Regnvandstønder*

Ved at opsamle tagvand i regnvandstønder opnås både at tilledningen til afløbssystemet reduceres og at vandforbruget reduceres, hvis vandet erstatter vandforsyningsvand f.eks. til havevanding. Volumenet, der kan opsamles, er dog ofte begrænset, 200 - 500 l ses ofte, og dette er kun en beskedent andel af volumenet fra ekstremregn på en tagflade. Regnvandstønder kan ved regnens start være fyldte og derfor ikke reducere afstrømningen.

#### *Genbrug af regnvand*

Anvendelse af regnvand i boligerne som erstatning for vandforsyningsvand har kun beskedent udbredelse, men har samme fordele som regnvandstønder, og yderligere den fordel at forbruget, i modsætning til vanding, er mere jævnt fordelt over tiden. En væsentlig ulempe er dog også her at opmagasineringskapaciteten er begrænset og at der derfor ikke er sikkerhed for at systemer kan opmagasinere vand i de kritiske situationer. I Rørcentrets vejledning ”Brug af regnvand” anbefales anvendelse af en tank på 3 m<sup>3</sup> til sådanne anlæg og det beregnes at en ganske stor del af årsnedbøren så kan bruges i boligen til WC-skyl og vaskemaskiner. Betydningen for ekstremregn er dog ikke klarlagt. Genanvendelse af regnvand skal ske i forskriftsmæssige regnvandsanlæg (jf. Miljøstyrelsens bekendtgørelse og Rørcenteranvisningen herom).

#### *Grønne tage*

Der er udviklet teknik til brug af såkaldt grønne tage, hvor der på bygningers tagflader udlægges et net med vækstlag, hvor der gror planter. Formålet er at vandet magasineres i vækstlaget og derfra opsuges af planterne. Magasineringssevnen af vækstlaget er imidlertid begrænset, 6 – 10 mm, så som ovenfor, er effekten under ekstremregn beskedent. På årsbasis kan derimod opnås ganske god effekt.

Som det fremgår af de omtalte eksempler på tiltag på privat grund at det er svært at finde løsninger som for borgeren er lige så sikker og nem som afledning til det offentlige system og det er svært at finde løsninger som kan klare netop de kritiske perioder med ekstremregn. For at få borgerne interesserede i at gøre den indsats der skal til, for at klare en større del af regnhåndteringen selv, skal der sikkert et større økonomisk incitament til end det der findes i dag. Hvis der bliver opstillet passende attraktive ordninger vil mange borgere sikkert selv tage initiativ til ændret håndtering af regnvand fra deres grunde.

#### *Forebyggelse af oversvømmelse*

Ønsker en grundejer at sikre sig mod opstuvning fra kloakken i kælder, kan han installere højvandslukker eller kontraventiler så vandet ikke kan strømme baglæns ind i kælderen. Hvis han vil have fuld sikkerhed kan kælderen afløbssystem tilsluttes en pumpebrønd, der oppumper til gadekloakken. Herved opnås også at installationerne kan benyttes uanset vandspejlskote i gadekloakken.

## 5.2.2 Administrative tiltag overfor privat ejendom

Der er mulighed for at ejendomme, der afleder regnvand til kommunal kloak kan tages ud af kloakopland for hele eller dele af regnvandsafledningen. Det forudsætter en frivillig aftale mellem kommunen og ejendommens ejer. Kommunen kan tilbagebetale tilslutningsbidrag for denne regnvandsafledning jf. lov om betalingsregler for spildevand.

Vore byområder fortættes konstant og det kunne overvejes at kræve at de øgede regnmængder fra alle udbygninger skal ledes til faskiner eller magasineres og kun langsomt ledes til afløbssystemet. Endvidere kunne man aktivt forsøge at få borgerne til at benytte permeable belægninger i indkørsler og på parkeringsarealer, så regnvand herfra kun i begrænset omfang ledes til afløbssystemet.

## 5.2.3 Afvanding af vejarealer

Afvandingen af vejarealer fungerer de fleste steder meget effektivt. Dette er også målet fra vejmyndighedernes side, idet vand i belægning og bærelag kan skade vejen. Afvandingen af specielt mindre veje og gader kunne dog måske foretages, så vandet i mindre grad blev ledt direkte til afløbssystemet, men først skulle passere en eller anden forsinkelsesanordning gerne med infiltrationsmulighed. Der er også mulighed for en øget anvendelse af semipermeable belægninger, hvor en del af vejafvandingen siver ned gennem selve vejarealet.

## 5.3 PLANLÆGNINGSMÆSSIGE TILTAG PÅ AFLØBSSYSTEMET

Klimaændringerne forventes at vise sig gradvist i tiden fremefter. Der er derfor mange muligheder for at planlægge indgreb til udførelse ved passende lejlighed senere og der er mange muligheder for løbende at tilpasse sig de nye forhold f.eks. ved alle lejligheder, hvor det er muligt at sørge for lokal afledning af vand eller bygning af udligningsanordninger.

### *Planlægning under udstykningen af nye bebyggelser*

Nye bebyggelser kloakeres i dag stort set overalt med separatsystemer og der bygges meget ofte bassiner eller andre udligningsanordninger, så afstrømningen ud fra områderne er reguleret svarende til recipientens kapacitet eller andre hensyn. Tilmed planlægges hyppigt så bassinet kan udnyttes som rekreativt element i området. Denne kombination af formål kan gøre det lettere at håndtere ekstremregn, hvor vandet måske vil oversvømme grønne områder eller lignende. Borgerne kan herved også se, hvad der sker og måske bidrage til at løse problemerne i kritiske oversvømmelsessituationer. Der er dog en risiko for drukneulykker, som ikke må negligeres.

### *Lokal afledning af tag og overfladevand i nye bebyggelser*

Kommunen kan beslutte af der i nye bebyggelser skal ske en lokal afledning af tag- og overfladevand, dvs. ejendommene kun kloakeres for spildevand. Områder skal udpeges hertil i spildevandsplanen. Der skal i sådanne oplande ske lokal nedsivning på de enkelte ejendomme. Kommunen bør for sådanne oplande sikre sig, at nedsivning er mulig (jordbundens egnethed til nedsivning, grundvandsspejlets højde, mm).

### *Varsling*

I områder, hvor det kan forudses at der kan optræde betydelige oversvømmelser under ekstremregn, kan der etableres et varslingsystem, så berørte borgere, vejmyndigheder mv. varsles før skaderne opstår. Herved vil der være mulighed for indgreb så skaderne minimeres og generne for befolkningen reduceres mest muligt. Et sådant varslingsystem skal være baseret på prognoser for regnen en eller nogle timer fremefter. I en del tilfælde er den totale forventede nedbørsmængde tilstrækkelig som grundlag for varsling men i andre tilfælde skal benyttes en afløbsmodel og måske en terrænmodel, så der kan udføres simuleringer til beregning af oversvømmelsens forventede omfang.

### *Borgerinddragelse*

Effekter af klimaændringer i form af kraftigere nedbør og stigende havspejl vil få betydning for mange borgere. Det vil derfor være nærliggende og hensigtsmæssigt at søge at inddrage borgerne i arbejdet med at forebygge skader og andre ulemper fra ændringerne. Dette kan både bidrage til at reducere effekterne af klimaændringer i form af at den øgede regn søges håndteret lokalt samt at borgerne vil vise større forståelse for de gener og tiltag der skal gøres for at forebygge problemer.

Det må anbefales at kloakforsyningerne gør mere for at informere borgerne om hvordan afløbssystemet fungerer og specielt at borgere der bor kritiske steder, hvor risikoen for oversvømmelser er størst, informeres om risikoen og hvilke muligheder de har for selv at forebygge skader. Ligeledes bør borgerne informeres om hvordan de er dækket forsikringsmæssigt i tilfælde af oversvømmelser, så de er klar over, om det er deres egen forsikring, kloakforsyningen eller dem selv, der skal betale for udbedring af skader efter oversvømmelser.

Informationen til borgerne kan ske på mange måder. Nogle kloakforsyninger har hjemmesider med orientering om kloakforsyningens aktiviteter, andre holder åbent hus på renseanlæg og nogle udsender foldere mv. som orienterer borgerne om systemets funktion, og om hvad de selv kan gøre for at bidrage til forebyggelse eller løsning af problemer. Alle tiltag der bidrager til at borgerne føler at afløbssystemet er noget der vedkommer dem er positive. Der har hidtil været meget lidt opmærksomhed omkring hvordan afløbssystemer fungerer og hvilke problemer der ligger i at give borgerne den ønskede service. En række af de nye tiltag som får større og større udbredelse kan i høj grad bidrage til at fremme den ønskede udvikling. Projekter om "vand i byen", åbning af rørlagte vandløb, etablering af bassiner som del af rekreative områder, åbning af nye badeanstalter i havneområder er alt sammen tiltag der vil have borgernes interesse og hvor der er mulighed for at skabe en positiv holdning til kloakforsyningens arbejde.

## 6 Referencer

Grum, M., Jørgensen A.T., Johansen, R.M. and Linde, J.J. (2005). The Effect of Climate Change on Urban Drainage: An Evaluation Based on Regional Climate Model Simulations. 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen, Denmark, August 2005

Jørgensen, A.T. and Johansen, R.M. (2003). Klimaændringernes betydning for afløbssystemer. Eksamensprojekt. Miljø & Ressourcer DTU.

Jørgensen, A.T. (2004). Undersøgelse af flade- og punktregrn. Individuelt kursus (10p). Miljø & Ressourcer DTU.

Linde, J.J., Winther, L., Jensen, H. T., Mathiasen, L. L., Johansen, N. B. (2002). "Afløbsteknik". Polyteknisk forlag.

Mark, O., Weesakul, S., Apirumanekul, C., Boonya Aroonnet, S., Djordjevic, S. (2004). "Potential and limitations of 1-D modelling of urban flooding". Journal of Hydrology.

Parkinson, J., Mark, O. (2005). "Urban Stormwater Management in Developing Countries". A book - 225 pages published by "The International Water Association" (IWA). ISBN:1843390574.  
<http://www.iwapublishing.com/template.cfm?name=isbn1843390574>.