

En kagebog for analyser af klimaændringers effekter på oversvømmelser i byer

FORSKNINGS- OG UDREDNINGSPROJEKT NR. 19



Vandhuset • Godthåbsvej 83 • 8660 Skanderborg • Tlf.nr.: 7021 0055
• Fax: 7021 0056
danva@danva.dk • www.danva.dk



DANVA
Dansk Vand- og
Spildevandsforening

ISBN: 978-87-92651-04-4

Titel: En kagebog for analyser af klimaændringers effekter på oversvømmelser i byer

Udgiver: DANVA
Vandhuset
Godthåbsvej 83
8660 Skanderborg

Gennemført af:

- Birgit Paludan, Greve Forsyning
- Nanna Høegh Nielsen, PH-Consult
- Lina Nybo Jensen, PH-Consult
- Annette Brink-Kjær, VandCenter Syd
- Jens Jørgen Linde, PH-Consult
- Ole Mark, DHI

Vejledningen er finansieret af:

Rapporten er finansieret af DANVA og projektdeltagerne. Rapporten er udarbejdet af Greve Forsyning A/S, Vandcenter Syd, PH-Consult og DHI.

INDHOLDSFORTEGNELSE

1	Indledning	1
1.1	Baggrund	1
1.2	Formål	2
1.3	Det tværfaglige aspekt og afgrænsning af problemstilling	2
1.4	Lovgrundlag	4
1.4.1	Spildevandsplanen	4
1.4.2	Kloakfornyelsesplanen	4
1.4.3	Beredskabsplanen	5
1.4.4	Øvrig planlægning, kommuneplan, lokalplaner, planer for vandkvalitet mv.	5
1.4.5	Risikovurdering og analyse af ekstremregn	6
1.5	Oversvømmelsesdirektivet	6
1.5.1	Foreløbig vurdering af oversvømmelsesrisikoen	7
1.5.2	Kort over faren for oversvømmelse og kort over risikoen for oversvømmelse	7
1.5.3	Risikostyringsplaner for oversvømmelser	8
1.5.4	Offentliggørelse af kort, planer, m.m.	8
1.5.5	Opsummering	8
2	Status på viden om klimaændringer	10
2.1	Scenarier for fremtidige klimaændringer	10
2.1	Datagrundlaget for analysen af klimaændringers effekter på afløbssystemer	13
2.2	Fremtidig regn over Danmark	13
2.3	Fremtidige vandstande i havområder	15
2.4	Fremtidige vandstande i søer og vandløb	15
2.5	Fremtidige vandstande/tryk i grundvand	15
2.6	Fastsættelse af inddata og randbetingelser – anbefalinger	16
2.6.1	Valg af nedbør	16
2.6.2	Koblet regn	17
2.6.3	Havspejlsstigning og klimabetingede ekstremvandstande	18
2.6.4	Vandløb, søer og grundvandszonen	18
3	Overholdelse af funktionskrav under påvirkning af klimaændringer	20
4	Modellering af oversvømmelser fra regnvandssystem og Vandløb	25
4.1	Fra hulkort til avancerede hydrauliske modeller	25
4.1.1	Modelværktøjerne	25
4.1.2	Beslutningsprocessen	26
4.1.3	Den tværfaglige vinkel	26
4.1.4	Økonomi	26
4.2	Beregningsmetoder	27
4.2.1	Terrænmodel – kvalitetssikring	28
4.2.2	Hulkort	29
4.2.3	Hydraulisk overfladeberegning	32
4.2.4	Hydrodynamisk afløbsmodel 1D	34
4.2.5	Kombineret hydrodynamisk afløbsmodel og overflademodel 1D-1D	34
4.2.6	Kombineret hydrodynamisk afløbsmodel og overflademodel 1D-2D	38
4.3	Sammenligning af beregningsmetoder	40

5	Oversvømmelse fra hav	43
5.1	Beregningsmetoder	43
5.1.1	Vandstandskoteangivelser	44
5.1.2	Vandstandskoteangivelser som er i forbindelse med havet	46
5.1.3	1D-afstrømningssystemer	47
5.1.4	1D-1D-kombineret hydrodynamiskmodel	47
5.1.5	2D-Hydrodynamisk beregning af terrænoversvømmelser	48
5.1.6	1D-2D Hydrodynamisk modellering af strømmingen på terræn kombineret med en hydrodynamisk model af afløbssystemet	50
6	Klimatilpasning af byområder	52
6.1	Risikoanalyse	52
6.1.1	Skadesvurdering ved hjælp af en risikoanalyse	52
6.1.2	Risikoanalysen	53
6.1.3	Risikoanalyse for oversvømmelser fra ekstrem regn	55
6.2	Prioritering af indsatsen imod oversvømmelser og klimatilpasning	59
6.2.1	Prioritering af Greve Kommunes byområder	60
6.2.2	Beskrivelse af metoden for prioriteringen i Greve	60
6.2.3	Kvalitetssikring af prioriteringen	61
6.3	Muligheder for tilpasning af afløbssystemer	61
6.3.1	Fysiske tiltag på afløbssystemet	62
6.3.2	Nedsivning af regnvand	63
6.3.3	Separering af fællessystemer	63
6.3.4	Udskiftning til større rør	64
6.3.5	Overløbsbygværker	64
6.3.6	Bassiner	65
6.3.7	Lokal magasinering	65
6.3.8	Styring og regulering af afløbssystemet	65
6.3.9	Anvendelse af vejsystemet	66
6.3.10	Tiltag på privat ejendom	66
6.3.11	Afvanding af vejarealer	68
6.3.12	Eksempler på lokal håndtering af regnvand	68
6.4	Oversvømmelsesberedskab	69
6.4.1	Før nedbørshændelsen	70
6.4.2	Under nedbørshændelsen	73
6.4.3	Efter nedbørshændelsen	74
7	Sammenfatning og Konklusion	75
8	Referencer	77

APPENDIKS

- A Odense – Sorgenfribækken
- B Odense – Ejersmindevej
- C Odense – Idrætsparken
- D Klimaanalyse for Greve Midt
- E Prioritering af klimatilpasning, Greve
- F Anvendelse af målinger ved klimatilpasning Greve Landsby
- G Fotokvalitetssikring af DTM

1 **INDLEDNING**

1.1 **Baggrund**

Denne rapport beskriver, hvordan danske kommuner kan arbejde med håndteringen af de oversvømmelsesproblemer, der forventes som effekt af klimaændringerne. Rapporten giver et overblik over den information, der i dag er tilgængelig om klimaforandringer i Danmark, og som har betydning for afløbssystemerne. Det drejer sig især om forøgelsen af ekstremregn og stigningen i havspejl. Desuden beskrives i rapporten og belyses gennem eksempler, hvordan oversvømmelser kan forebygges eller undgås, og det beskrives, hvilke metoder der er til rådighed til analyse af eksisterende systemer og til beregning af effekten af forskellige tiltag mod oversvømmelser.

Efter udarbejdelsen af Klimakogebogen i 2007 blev flere områder i Danmark ramt af meget langvarig ekstremnedbør. Dette viste begrænsninger i afløbssystemet i kombination med det øvrige vandkredsløb (grundvand og vandløb). Hændelserne viser, at der er et behov for, at kommunerne prioriterer, ikke blot kloaksystemerne, men også de øvrige vandelementer i indsatsen imod oversvømmelser. Nærværende opdatering af klimakogebogen inkluderer derfor også beskrivelser af indsatsen imod oversvømmelser fra hav. Metodebeskrivelserne er begrænset til regnvandssystem, vandløb og hav.

Opdateringen indeholder primært vejledninger til kommunerne med hensyn til at:

- gennemføre analyser og opgradering af afløbssystemerne i byområderne
- gennemføre Klimakogebogsprincippet baseret på de nyeste tal fra IPCC
- indregne opdaterede klimabetingede maksimale vandstande i danske farvande – i.e. tilføjelse af principper for beregning af vindstuvning, som et tillæg til IPCC's middelvandstande
- identificere områder, som risikerer oversvømmelse på grund af klimaændringer fra vandløb og hav
- Gennemføre analyser og regulering af vandløbene i byområderne

Rapporten er finansieret af DANVA og projektdeltagerne. Rapporten er udarbejdet af Greve Forsyning A/S, Vandcenter Syd, PH-Consult og DHI. Arbejdsgruppen var:

Birgit Paludan, Greve Forsyning
Nanna Høegh Nielsen, PH-Consult
Lina Nybo Jensen, PH-Consult
Annette Brink-Kjær, VandCenter Syd
Jens Jørgen Linde, PH-Consult
Ole Mark, DHI

Projektet er udført i perioden november 2008 – juni 2010.

Rapporten giver detaljerede beskrivelser af metoder til brug for analyser af oversvømmelser fra simple "hulkort" eller "bluespots" til de avancerede hydrauliske computermodeller. Metoderne kan bruges til såvel kommunernes og spildevandsforsyningernes detaljerede indsats imod oversvømmelser som til implementering af oversvømmelsesdirektivet.

Denne rapport (Klimakogebogen) vil blive oversat til engelsk.

1.2 Formål

Dimensionering af afløbssystemer er gennem tiden foregået med anvendelse af mange forskellige metoder som f.eks. håndregningsmetoderne: Fast regnintensitet, afløbsdiagram og regnbillede samt rationel metode. I de seneste årtier er disse metoder suppleret med edb-baserede metoder, der anvendes som led i dimensioneringen til analyse af systemerne. I Danmark er det almindeligt at anvende hydrauliske modeller (som f.eks. MOUSE eller MIKE-URBAN) til analyser af systemernes funktion og til beregning af effekt af udbygninger.

I takt med ændrede beregningsmetoder er der sket ændringer i formuleringen af dimensioneringskravene. I mange år var almindelig dansk praksis, at der i fællessystemer højst måtte forekomme fuldtløbende ledning hvert andet år og i separatsystemer en gang om året. Som regndata blev benyttet Landsregnrækkerne eller ældre regndata. Størstedelen af det danske afløbsnet er formodentlig dimensioneret ud fra dette krav. Med udgivelsen af Skrift 27 blev kravene imidlertid ændret, så det bestemmende nu er, hvor hyppigt der må ske skadevoldende oversvømmelser fra systemerne. Dvs. systemerne skal nu dimensioneres ud fra en valgt gentagelsesperiode for skadevoldende opstuvninger. Det er endvidere anbefalet, at systemerne analyseres for konsekvenserne af regn kraftigere end de dimensionsbestemmende, således at det i planlægningen tilstræbes, at skaderne fra ekstremregn, som systemet ikke kan håndtere, bliver så begrænsede som muligt.

Klimaændringerne medfører, at dimensioneringsforudsætningerne løbende ændres, idet regnintensiteterne øges gennem tiden, og havspejlet stiger. Dette medfører, at der ved alle dimensioneringer og analyser skal arbejdes med en valgt tidshorisont, tilpasset levetid og økonomi for det betragtede anlæg. I henhold til Skrift 27 skal anlægget til enhver tid overholde funktionskravene til systemet.

Når der falder mere regn end forudsat ved dimensioneringen af systemerne, er der ingen lovgivning eller danske standarder, som beskriver, hvilke aktioner der forventes af de forskellige aktører, som arbejder med afstrømningssystemerne. Der er på nuværende tidspunkt ingen krav til, at der skal gennemføres analyser af, hvornår og hvordan en by oversvømmes på grund af ekstrem nedbør. På trods heraf er der et markant behov for disse analyser, hvilket de senere års oversvømmelser i Danmark viser. I denne rapport beskrives det, hvordan man teknisk kan gennemføre analyser af, hvor der bliver oversvømmelser på terræn. Der tages ikke stilling til hvem "man" er, men der gives hermed en opfordring til, at der i anden sammenhæng tages stilling til ansvarsforhold, så disse analyser gennemføres i fremtiden. Herved kan det sikres at der tages bevidste valg på en ordnet måde i håndteringen af oversvømmelser i Danmark.

1.3 Det tværfaglige aspekt og afgrænsning af problemstilling

I dette projekt ses specifikt på de problemer, som klimaændringer kan medføre i afløbssystemerne. Der fokuseres på metoder som beskriver effekten af hyppigere og mere ekstremt regn, men også på effekten af stigende vandstand i havet og effekten af eventuelt stigende grundvandsspejl. Det primære problem, der betragtes, er oversvømmelser af byområder.

Afløbssystemer belastes direkte af nedbøren, og den hydrauliske kapacitet skal være tilstrækkelig til at transportere vandmængderne til recipient, ellers kan der komme oversvømmelser. Recipienten kan imidlertid også være påvirket af klimaændringer især i form af højere vandspejl i havet, hvilket kan have stor effekt i afløbssystemet. Vandløb kan endvidere være påvirket af øget afstrømning fra andre kilder – herunder grundvand – så der ikke uden skader kan udledes de samme vandmængder som tidligere. Der er mange sammenhænge, der bør vurderes og tages i regning, når der ses på funktionen af afløbssystemer under påvirkning af klimaændringer.

Der foreligger ikke på nuværende tidspunkt sikker viden om sandsynligheden for sammenfald af de forskellige styrende input. Meget indledende vurderinger af vandspejlet i Køge Bugt sammenholdt med ekstremregn tyder ikke på, at der er nogen korrelation i form af sammenfald af kritiske forhold, men det er heller ikke påvist, at det meteorologisk set vil være usandsynligt. I mange områder med lavtliggende bebyggelser nær havet og steder med overløbsbygværker med lavtsiddende overløbskanter kan det være yderst relevant at betragte disse forhold i analysen. Hvis overløbsbygværkerne ikke kan fungere på grund af recipientvandspejlet, kan risikoen for oversvømmelser øges markant. Ligeledes hvis vandet stiger op over kajkanten eller over digekronerne, kan større områder oversvømmes med havvand, og afløbssystemets funktion reduceres. Afløbssystemet kan i den situation have en negativ effekt ved at transportere vand til ellers beskyttede dele af oplandet.

Klimaændringerne forventes nogle steder og i visse perioder af året at give anledning til øget grundvandsstand, som påvirker afløbssystemet ved større tilstrømning af dræn- og indsivningsvand, hvilket kan betyde at kapaciteten af afløbssystemet og renseanlægget ikke er stor nok. Stigende grundvandspejl kan endvidere påvirke lokale nedsivnings- og infiltrationssystemer, og potentielt give lokale oversvømmelser, eller bidrage til overbelastning af spildevandssystemet med risiko for oversvømmelser til følge. Det forventes, at ekstrem regn vil optræde om sommeren, mens maksimal grundvandsstand forventes at optræde om vinteren, men lokale analyser må gennemføres for at effekten findes lokalt.

Som det fremgår af ovenstående, skal det altid vurderes, om løsninger ét sted kan give problemer et andet sted. Risikoen for dette kan være betydelig i situationer, hvor systemerne er maksimalt belastet eller overbelastet. Det kan derfor anbefales, at det totale vandkredsløb i det aktuelle område betragtes og kombineres med analyser af øvrige klimaafhængige påvirkninger som vind og strøm samt vandstand i havet. Dvs. beregningerne på afløbssystemer bør ideelt set ske med randbetingelser, der er bestemt ud fra de samme forventninger til klimaændringer som regnen. Om muligt skal der foretages en integreret modelsimulering af alle forhold, der har betydning for afstrømning. Denne integrerede analyse er meget omfangsrig og kræver mange detaljerede input for at give et bedre resultat end det der kan opnås ved simplificerede analyser suppleret med følsomhedsanalyser. Dertil må andre analyser afdække hvor stor sandsynlighed der er for sammenfald af hændelser som f.eks. højt recipientvandspejl sammen med ekstremregnsafstrømning.

Arbejdet med oversvømmelsesproblematikken kan således foregå på forskellige niveauer afhængigt af den viden, der findes om det betragtede opland og afhængigt af typen af problemer, der skal vurderes.

Er der tale om oversvømmelser af velafgrænsede områder, kan hyppighed og udbredelse af oversvømmelser måske beregnes og vurderes ret let.

Er terrænet og afløbssystemet mere komplekst, kan egentlig modelberegning af afløbssystemets funktion være absolut nødvendig for at skaffe overblik over forholdene. Beregningen kan i mange tilfælde med fordel omfatte en beregning af afstrømningen på overfladen i oplandet.

Er forholdene endnu mere komplicerede, specielt hvis recipientvandspejlet indgår som væsentlig randbetingelse, kan en total hydrologisk modellering være hensigtsmæssig.

Valg af beregningsniveau skal altid tilpasses den aktuelle problemstilling, og hvilke inddata og randbetingelser der er til rådighed. Det skal huskes, at der er tale om beregning af fremtidige ekstremituationer baseret på prognoser for udviklingen i belastningen. Der er derfor betydelig usikkerhed på alle resultater, og detaljeringsgraden i beregningerne bør være tilpasset dette.

1.4 Lovgrundlag

Arbejdet med klimaeffekter i forhold til afløbssystemer er tværfagligt og har indflydelse på etablering, drift og vedligehold af de kommunale kloakker og renseanlæg. Arbejdet med klimaeffekter kan/bør få indflydelse på følgende administrative dokumenter:

1.4.1 Spildevandsplanen

Alle kommuner skal i henhold til miljøbeskyttelsesloven udarbejde en spildevandsplan. I spildevandsplanen beskrives status og plan for spildevandshåndteringen i kommunen. Afløbssystemets karakter, tilsluttede industrier mv. skal være beskrevet. I spildevandsplanen skal kommunen forholde sig til den øvrige relevante planlægning, regionplaner (herunder vandområdemålsætninger), kommuneplan, og lokalplaner. I spildevandsplanen skal der være taget stilling til foranstaltninger til sikring af, at spildevandsudledningerne fra renseanlæg og regnbetingede udledninger ikke er til hinder for opfyldelse af målsætninger for overfladevande, hvortil der udledes.

Som følge af funktionspraksis fra Spildevandskomiteen, Skrift nr. 27, anbefales det kommunerne at indarbejde en kommunal funktionspraksis i deres respektive spildevandsplaner. Herved får man et bindende dokument, hvor kommunens serviceniveau for kloakforsyningernes kloakker er besluttet. I forbindelse med fastlæggelsen af kommunens funktionspraksis bør der tages stilling til mulige klimaeffekter, og der bør redegøres herfor i spildevandsplanen.

1.4.2 Kloakfornyelsesplanen

I tilknytning til spildevandsplanen er kommunen pligtig til at udarbejde en kloakfornyelsesplan (også kaldet kloakreoveringsplan, vedligeholdelsesplan eller kloaksaneringsplan). I kloakfornyelsesplanen skal udarbejdes en vurdering af kloakkernes tilstand, en målfastsættelse, en opgørelse af fornyelsesbehov og endelig en plan for fornyelsen. Der skal ligeledes redegøres for inspektion, herunder inspektionshyppighed. Kloakfornyelsen bør udføres på det grundlag/serviceniveau, der angives i spildevandsplanen, og herunder bør der tages højde for mulige fremtidige klimaeffekter. Der bør ske en tæt koordinering af kloakfornyelsesplanen og en eventuel klimatilpasning af afstrømnings-systemerne.

1.4.3 Beredskabsplanen

Alle kommuner skal - som del af det generelle civile beredskab - lave en beredskabsplan. Der er ingen krav om, at der skal laves en specifik beredskabsplan for kloakker og renseanlæg. En del kommuner har dog lavet sådanne planer. En beredskabsplan for kloakker og renseanlæg vil normalt tage højde for en række forhold, der er kritisk for funktionen af kloakanlæg, f.eks. nedbrud af elforsyning, stormflodsskader ved udsatte lokaliteter, personale/entreprenørberedskab til i nødsituationer at kunne opretholde en minimumsdrift.

Som følge af en risikovurdering vedrørende en oversvømmelsessituation kan det være hensigtsmæssigt at have:

- Egentlige fysiske foranstaltninger til at reducere effekterne af en oversvømmelsessituation
- Beredskab til akut ad hoc indsats
- Information/varslinger både internt i kommunens drift og eksternt

Der er ikke nødvendigvis tale om en fuld beredskabsplan, men alene at vurdere betydningen af oversvømmelsessituationer som input til en beredskabsplan.

1.4.4 Øvrig planlægning, kommuneplan, lokalplaner, planer for vandkvalitet mv.

Klimaeffekter kan også få indflydelse på den øvrige planlægning, særligt kommuneplan, lokalplaner, planer for vandkvalitet, vandplaner, mv. Det er vigtigt at indtænke effekter af klimaændringer og ekstremregn i arbejdet med spildevandsplaner. I forbindelse med udarbejdelsen af spildevandsplanen er kommunerne pligtige til at forholde sig til den øvrige planlægning og sikre overensstemmelse. Således vil kommuneplaner og lokalplaner kunne være styrende for spildevandsafledning, særligt med hensyn til tilladelige befæstelsesgrader og til f.eks. fastsættelse af mindst tilladte sokkelkoter. Ligeledes bør kommunen forholde sig til betydningen af mere ekstremregn for vandkvaliteten i recipienter.

Kommuneplanen er kommunens plan for arealanvendelse og er derfor det rette sted at allokere plads til opmagasinering af vand så som bassiner, våde enge osv. og her kan beskrives retningslinjer for forebyggelsen af oversvømmelser f.eks. ved at der står at der kan gives tilladelse til høje sokler på husene i lokalplanen.

Det skal her bemærkes, at tidshorisonterne i klimascenarierne på 50-100 år ligger langt ud over tidsplaner i både spildevandsplaner og de kommende vandplaner efter Vandrammedirektivet, som opererer med tidshorisonter på 15 til 30 år.

I udkastet til vandplanerne stilles der ikke krav om hensyntagen til klimaændringer. Af hensyn til det samlede arbejde med afstrømningssystemerne bør der dog foretages en koordinering mellem implementering af vandplanerne og indsatsen mod oversvømmelser. Det som vandplaner kan få indflydelse på er randbetingelserne til afløbssystemet, fx muligheder for afledning af vand til recipienter. Bliver kravene i vandplanerne meget restriktive mht. afledning af regnvand kan det få stor betydning for håndteringen af regnvandet i afløbssystemet. Hertil kommer at praksis for vedligehold af vandløb, fx ændret grødeskæring, kan få stor indflydelse på oversvømmelsesrisiko fra vandløb og kan give reduceret mulighed for afledning af vand til vandløb.

Arbejdet med klimaændringer vil kræve en koordineret planlægningsindsats fra kommunens side. Klimaændringer foregår over en lang tidshorizont, men deres størrelsesorden og det deraf følgende behov for investeringer gør, at det vil være optimalt at analysere konsekvenserne for afløbssystemerne nu – og derefter løbende foretage en bevidst prioritering, håndtering og implementering af tiltag, som mindsker potentielle fremtidige skader på samfundet som følge af klimaændringer.

1.4.5 Risikovurdering og analyse af ekstremregn

Med den eksisterende dimensionering er der normalt regnet med fuldtløbende rør hvert eller hvert andet år. Ifølge Skrift 27 skal der sikres mod opstuvning til terræn hyppigere end hvert 5. eller hvert 10. år, for henholdsvis separat- og fælleskloakerede afløbssystemer. Derudover anbefales det, at der etableres beredskabsplaner for hændelser, hvor dimensioneringskriteriet er overskredet. Der er ikke i lovgivningen et formelt krav om at vurdere ekstremregn, der ligger ud over disse hyppigheder, som f.eks. en 50- eller 100-års regnhændelse. Kommunerne og deres rådgivere har dog ofte i praksis – afhængigt af, hvilket område der kloakeres – anvendt sådanne ekstremberegninger eller mere kvalitative vurderinger af ekstremregn. Men der er ikke formuleret en generaliseret og formaliseret form for gennemførelse af ekstremberegninger.

I lyset af forventede klimaeffekter i form af større ekstremregn og øget havvandstand vil det være hensigtsmæssigt at vurdere betydningen af ekstremregn for afløbssystemet og vurdere eventuelle skader som følge af opstuvning af vand. Metoderne beskrevet i kapitel 4 og 5 kan anvendes til dette arbejde.

I dag bruges Skrift 27 af næsten alle danske kommuner til at designe og vedligeholde afløbssystemer for de forhold, hvor der ikke kommer vand på terræn. Det findes i dagens Danmark ingen retningslinier for analyse og håndtering af forholdene, når der er vand på terræn/oversvømmelser. Dette afstedkommer situationer, hvor samfundsmæssigt vigtige installationer oversvømmes, som det f.eks. skete i 2007 og 2010 med skader på over 1 milliard kroner til følge.

1.5 Oversvømmelsesdirektivet

Oversvømmelsesdirektivet er Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2007/60/EF af 23. oktober 2007 om vurdering og styring af risikoen for oversvømmelser. Et lovforslag til implementering af direktivet er vedtaget af Folketinget 15. december 2009. Loven hedder ”Lov om vurdering og styring af oversvømmelsesrisikoen fra vandløb og søer”. For oversvømmelser fra hav gælder bekendtgørelse om ”vurdering og risikostyring for oversvømmelser fra havet, fjorde eller andre dele af søterritoriet”. Miljøministeriet og kystdirektoratet har i skrivende stund (april 2011) udpeget ni risikoområder på baggrund af en foreløbig vurdering af oversvømmelsesrisikoen fra vandløb, søer, havet og fjorde. Dette er pt. i offentlig høring.

Baggrunden for oversvømmelsesdirektivet er de store oversvømmelser, som skete for nogle år siden i Mellemeuropa. Formålet med direktivet er at etablere en ramme for foranstaltninger, som reducerer risikoen for oversvømmelseskader. Oversvømmelsesdirektivet starter med artikel nr. 1, hvor det kort defineres, hvilke oversvømmelsetyper som direktivet dækker:

1. Oversvømmelse:
En midlertidig vanddækning med vand fra vandløb og søer af arealer, der normalt ikke er dækket af vand.
2. Oversvømmelsesrisiko:
Kombinationen af sandsynligheden for en oversvømmelse og de potentielle negative følger for menneskers sundhed, miljø, kulturarv og økonomiske aktiviteter, der er forbundet med oversvømmelser.

1.5.1 Foreløbig vurdering af oversvømmelsesrisikoen

Med udgangspunkt i foreliggende eller let tilgængelige oplysninger såsom arkivfortegnelser og studier af udviklingen over en lang periode foretages en *foreløbig vurdering* af oversvømmelsesrisikoen for at fremskaffe en vurdering af potentielle risici. Vurderingen skal mindst omfatte følgende:

- a) Topografiske kort i passende skala, der bla. viser arealanvendelse.
- b) En beskrivelse af de historiske oversvømmelser, der har forårsaget omfattende skader. Herunder oversvømmelser som sandsynligvis vil kunne gentage sig i fremtiden. Der skal være beskrivelser af oversvømmelsernes omfang og strømningsveje samt vurderinger af skader.

Medlemsstaterne afslutter de foreløbige vurderinger af oversvømmelsesrisikoen senest den **22. december 2011**.

1.5.2 Kort over faren for oversvømmelse og kort over risikoen for oversvømmelse

Medlemsstaterne udarbejder kort over faren for oversvømmelse og kort over risikoen for oversvømmelse. Kortene over oversvømmelsesfaren skal dække de geografiske områder, der vil kunne blive oversvømmet, efter følgende scenarier:

- a) ringe sandsynlighed for oversvømmelse eller ekstreme hændelser.
- b) middelstor sandsynlighed for oversvømmelse (sandsynligvis en gang hvert 100. år).
- c) stor sandsynlighed for oversvømmelse, hvor det er relevant.

For hvert scenario skal følgende oplysninger fremgå:

- a) oversvømmelsesgrad.
- b) vanddybde eller vandstand, alt efter hvad der er relevant.
- c) strømhastighed eller relevante vandmængder, når det er relevant.

Kort over oversvømmelsesrisikoen skal vise:

- a) anslået antal indbyggere, der potentielt vil blive berørt.
- b) arten af økonomisk aktivitet i det område, der potentielt vil blive berørt.
- c) anlæg som vil kunne forårsage forureningsuheld i tilfælde af oversvømmelse.

Medlemsstaterne sørger for, at kortene over faren for oversvømmelse og kortene over risikoen for oversvømmelse er færdige senest den **22. december 2013**.

1.5.3 Risikostyringsplaner for oversvømmelser

På baggrund af kort over faren for oversvømmelse og kort over risikoen for oversvømmelse skal der udarbejdes risikostyringsplaner for oversvømmelser. Disse planer skal have fokus på: forebyggelse, sikring og beredskab. Klimaændringer skal, når det er nødvendigt, inkluderes i planerne.

Medlemsstaterne skal fastsætte ”passende mål” for styring af oversvømmelsesrisiciene med vægt på at mindske de potentielle negative følger af oversvømmelser for menneskers sundhed, miljø, kulturarv og økonomiske aktiviteter, og, hvis dette anses for relevant, med sigte på ikke-strukturelle initiativer og/eller nedbringelse af sandsynligheden for oversvømmelse.

Risikostyringsplaner for oversvømmelser skal tage relevante aspekter i betragtning, såsom: omkostninger og fordele, oversvømmelsesomfang, afløbsveje og arealer, der kan virke som overløb ved oversvømmelser.

Risikostyringsplaner for oversvømmelser skal omfatte alle aspekter af risikostyring med særlig vægt på forebyggelse, sikring og beredskab, herunder oversvømmelsesprognoser og varslingsystemer. I risikostyringsplanerne for oversvømmelser kan også indgå fremme af bæredygtige arealanvendelsesmetoder og forbedring af vandbindingen så vel som kontrolleret oversvømmelse af visse områder i tilfælde af oversvømmelse.

Medlemsstaterne sørger for, at risikostyringsplanerne for oversvømmelser færdiggøres og offentliggøres senest den **22. december 2015**.

1.5.4 Offentliggørelse af kort, planer, m.m.

Medlemsstaterne skal stille den foreløbige vurdering af oversvømmelsesrisikoen, kortene over faren for oversvømmelse og kortene over risikoen for oversvømmelse samt risikostyringsplanerne for oversvømmelser til rådighed for offentligheden. Revision af kort, planer, mv. skal ske hvert 6. år, og der skal i revisionerne tages hensyn til klimaændringernes sandsynlige indvirkning på forekomsten af oversvømmelser.

1.5.5 Opsummering

Tidslinien for implementering af direktivet er:

1. Foreløbige vurderinger af oversvømmelsesrisikoen senest d. **22. december 2011**.
2. Kortene over faren for oversvømmelse, samt kortene over risikoen for oversvømmelse senest den **22. december 2013**.
3. Risikostyringsplanerne for oversvømmelser senest d. **22. december 2015**.

Revisioner og opdateringer af ting nævnt i pkt. 1-3 ovenfor af planerne starter i 2018 og skal herefter opdateres hvert 6. år. Fra dette tidspunkt skal klimaændringernes sandsynlige indvirkning på forekomsten af oversvømmelser tilføjes planer, m.m.

Metoderne beskrevet i denne rapport kan anvendes til arbejdet med implementering af oversvømmelsesdirektivet og giver samtidig mulighed for, at hele vandkredsløbet tages med i overvejelserne, således at indsatsen imod oversvømmelser bliver så holistisk som mulig.

Oversvømmelsesrisikoen fra regnvands- og fællessystemer er ikke medtaget i implementeringen af oversvømmelsesdirektivet i Danmark, men det anbefales at det medtages i beregningerne af risikoen for oversvømmelser, idet kloakken i mange tilfælde kan være med til at transportere vand ind i kritiske områder af byen fra såvel hav som vandløb. Dertil kommer at oversvømmelser pga. kapaciteten af kloakken i sig selv bør kendes i kommunerne så der kan udarbejdes helhedsorienterede løsninger på oversvømmelsesproblemer og ved udarbejdelse af beredskabsplaner.

2 STATUS PÅ VIDEN OM KLIMAÆNDRINGER

De forventede globale klimaændringer vil resultere i ændringer i det danske klima og ændrede middelhavspejl i danske farvande. Generelt forventes det i Danmark, at temperaturen vil stige, det vil regne mere, fordampningen vil øges, og havspejlet vil stige. Der forventes ligeledes flere regnhændelser med stor intensitet samt mere vind.

Prognoser for de klimatiske forhold i Danmark er beregnet af Danmarks Meteorologiske Institut (DMI) med anvendelse af globale klimamodeller som randbetingelse. DMI arbejder med en opløsning på ca. 12,5 km x 12,5 km i et net, som dækker Danmark.

2.1 Scenarier for fremtidige klimaændringer

De tal om klimaændringer, som præsenteres i denne rapport, er baseret på Intergovernmental Panel on Climate Changes (IPCC) rapporter fra 2001 (IPCC, 2001). I april 2011 har IPCC offentliggjort opdaterede estimater af klimaændringer. Der forligger ikke nye og opdaterede beregninger af nedbør for Danmark på baggrund af IPCC's seneste 2007-rapport (IPCC, 2007). Det skal her bemærkes, i Danmark anvendes Skrift 29 til at bestemme klimabetingede ekstremregn i Danmark. Mht. seneste prognoser for klimabetingede havspejlsstigninger i Danmark henvises der til Klimatilpasningsportalen: <http://www.klimatilpasning.dk>

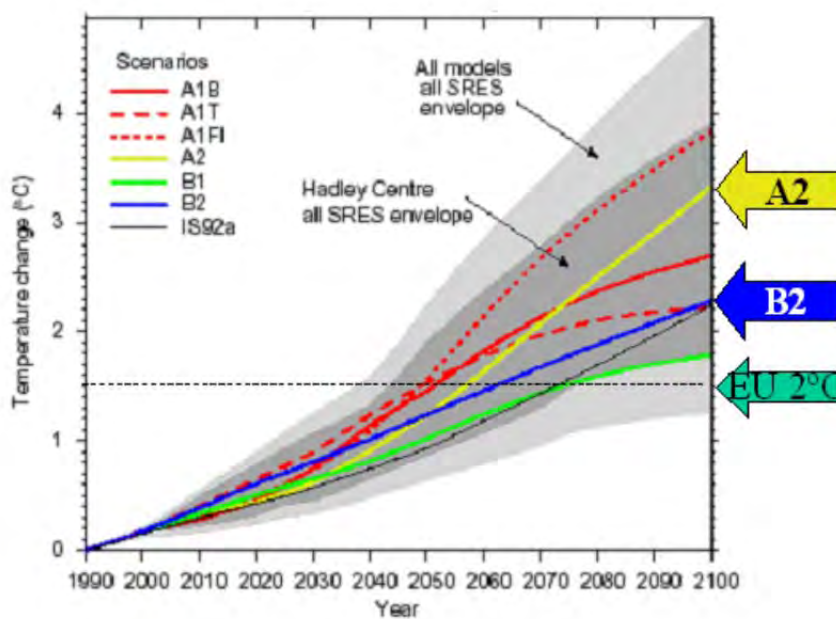
Det skal understreges at metoderne, som beskrives i denne rapport, er generiske, således at når der kommer nye tal for de danske klimascenarier, vil der kun være tale om at ændre inputværdierne (regn og havspejl) til beregningerne – alle metoder og analyser vil være uændrede.

Der arbejdes i Danmark p.t. med tre klimascenarier (A2, B2, EU2C) beregnet af Klimacenteret på DMI, samt klimascenarie A1B som må anvendes til analyser indtil år 2050. Årsagen er at spredningen på (A2, B2, EU2C) er lille frem til 2050 og A1B repræsenterer i middel de tre scenarier. De tre scenarier (A2, B2, EU2C) er beregnet på baggrund af IPCC's rapporter fra 2001 (IPCC, 2001) og gyldige frem til år 2100. Fra officiel dansk side er det meddelt, at de tre scenarier er ligestillede, dvs. der er ikke et af scenarierne, som anses for at være mere sandsynligt end de andre, og det står frit for de danske kommuner selv at vælge, hvilket klimascenarium de vil anvende. Hovedtrækkene i de tre danske klimascenarier er:

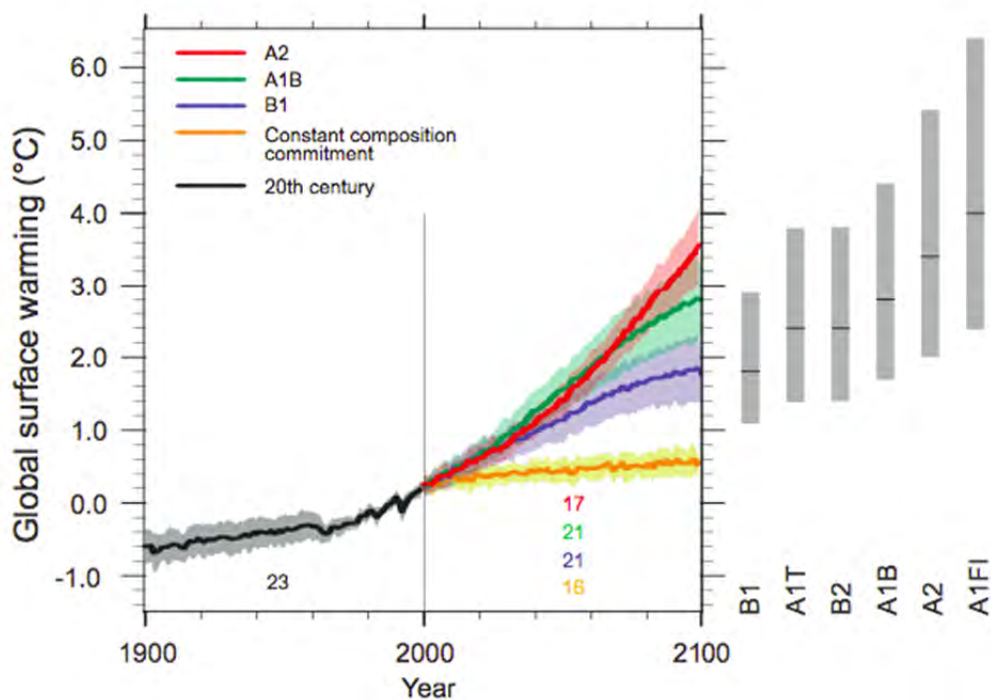
- A2 beskriver en heterogen verden med lokalt forankret udvikling, hvilket resulterer i en fortsat stigning i verdens befolkningstal. Økonomisk udvikling foregår primært på regionalt plan, og økonomisk vækst samt teknologisk forandring er mere fragmenteret og sker langsommere end i de øvrige scenarier
- B2 beskriver en verden, hvor hovedvægten lægges på lokale løsninger, som er økonomisk, socialt og miljømæssigt bæredygtige. Det er en verden med et fortsat stigende globalt befolkningstal, men i en lavere takt end i A2, med mellemniveauer i økonomisk udvikling og med mindre hastighed og mere forskelligartet teknologisk forandring end de øvrige scenarier. Endelig indgår miljøbeskyttelse og social lighed som elementer i dette scenarium

- EU2C beskriver en verden, hvor det internationale samfund og de enkelte lande indgår aftaler, finder teknologiske løsninger og ændrer adfærd, inden farlige menneskeskabte påvirkninger af jordens klima fører til en global temperaturstigning større end 2°C i forhold til det førindustrielle niveau. Scenariet svarer til EU's målsætning, som udtrykt af Det Europæiske Råd i 2005

De tre scenarier er vist i Figur 2.1. Det skal bemærkes, at de tre klimascenarier er rimeligt ens indenfor de første 30-50 år, hvorefter forskellene mellem scenarierne udvikler sig.



Figur 2.1 Udviklingen af de globale klimascenarier fra IPCC 2001 (IPCC, 2001). Klimascenarierne A2, B2 og EU2C er ligestillede i Danmark.



Figur 2.2 Udviklingen af de globale klimascenarier fra IPCC 2007 (IPCC, 2007).

I Figur 2.2 ses den senest beregnede information fra IPCC (IPCC, 2007) om den tidlige udvikling i de globalt accepterede klimascenarier. Ved at sammenligne klimascenarium A2 – beregnet af IPCC i henholdsvis 2001 og 2007 – ses ikke store forskelle på det globale niveau. Det skal dog her bemærkes, at de lokale variationer i klimascenariet A2 endnu ikke er beregnet for Danmark, og der kan derfor p.t. ikke kan siges noget om betydningen af IPCC's 2007-beregninger for de eksisterende danske klimascenarier.

Tabel 2.1 Ændringer i Danmarks klima frem til 2071-2100 (i forhold til middel af perioden 1961-1990) for de tre danske ligestillede klimascenarier.

Klimascenarium	A2	B2	EU2C
<i>Land</i>			
Årsmiddeltemperatur	+3,1°C	+2,2°C	+1,4°C
Årsnedbør	+9%	+8%	+2%
Sommernedbør (juni, juli, august)	÷15%	÷7%	÷3%
Maksimum døgnnedbør (juni, juli, august)	+21%	+20%	+22%
<i>Hav</i>			
Middelvind (december, januar, februar)	+4%	+2%	+1%
Maksimum stormstyrke (december, januar, februar)	+10%	+1%	+1%
Maksimum stormflod ved Vestkysten	+0,45-1,05 m	Data findes ikke	Data findes ikke

Kilde: Regeringen, 2008. Alle tal viser afvigelse fra perioden 1961-1990.

EU2C-scenariet er fremkommet ved en simpel nedskalering af A2- og B2-scenarierne. DMI og Miljøstyrelsen planlægger at gennemføre et projekt, som forsøger at etablere et robust klimascenarium, der modsvarer EU's målsætning om, at den menneskeskabte påvirkning af den globale middeltemperatur ikke må overstige 2°C i forhold til det før-industrielle niveau.

Klimascenarierne, som de regnes i IPCC's analyser, er rene klimamodeller med en tidsopløsning som er i størrelsesordenen dage og ikke timer eller minutter. I forbindelse med afstrømning af regnvand specielt i byer er det afgørende, at der findes tidsserier for nedbør, som repræsenterer højintens nedbør og koblet nedbør for veldefinerede gentagelsesperioder nu og i fremtiden i høj tidslig opløsning. Prognoser for fremtidens nedbør stilles således ikke til rådighed, men Spildevandskomiteen har gennemført analyser og har anbefalet, hvilke nedbør der bør dimensioneres efter i fremtiden, når det gælder højintens nedbør, jf. Skrift 29. For koblet regn, hvor hyppigheden af nedbør er interessant, findes der ikke anbefalinger til klimasikring af frekvensen af nedbør. I afsnit 2.3 beskrives anbefalingerne til brug af fremtidig regn.

2.1 Datagrundlaget for analysen af klimaændringers effekter på afløbssystemer

Datagrundlaget, som er brugt i denne rapport til at se på fremtidens klimaændringer og deraf følgende nedbørsforhold over Danmark, er Skrift 29 og A2-scenariet produceret af DMI. DMI's scenarier dækker i alt 30 år, perioden 2071-2100. Det er derfor kun muligt at udtale sig om den tidsmæssige udvikling i regnintensiteter frem til 2071 i generelle, kvalitative vendinger. Det ville være yderst relevant at kende den forventede udvikling af regnintensiteter i den nære fremtid (f.eks. de næste 30 år), men den information er ikke til disposition. Det kan i denne forbindelse nævnes, at der i det tværfaglige danske forskningsprojekt CONWOY, hvori DMI også var partner, blev brugt data fra A2-scenariet til simulering af de fremtidige effekter på vandmiljøet (Vand og vejr om 100 år, 2006).

2.2 Fremtidig regn over Danmark

Som tidligere nævnt anses det nu for givet, at klimaændringer vil medføre ændringer i nedbørsmønstret i Danmark. Nye målinger tyder endog på, at ændringen allerede er i gang (Skrift 28, 2006) og har været det i en årrække (Vand og vejr om 100 år, 2006). Det forventes som nævnt, at der vil optræde flere og kraftigere ekstremregn end hidtil, specielt om sommeren. Det, der nu er spørgsmålet, er, hvordan udviklingsforløbet vil blive. Hvor store ændringer vil komme, og hvor hurtigt vil de komme? Begge dele er vigtige at tage i betragtning ved planlægning af udbygning af afløbssystemer. I nogle tilfælde er der behov for skøn for nedbørsudviklingen i resten af dette århundrede, mens der i andre tilfælde kun er behov for skøn for udviklingen for en noget kortere årrække. Det afhænger helt af problemet, der arbejdes med, herunder ikke mindst af mulighederne for løbende at kunne tilpasse anlægget til forøget belastning samt af konsekvenserne af et fejlskøn for udviklingen.

Ud fra DMI's modelberegninger af ændringen i nedbør fra 1960-1990 til 2070-2100 (Grum *et al.*, 2005) er det skønnet, at der kan forventes en forøgelse af den maksimale timenedbør på 20-50% i løbet af denne periode (Miljøstyrelsens rapport Miljøprojekt nr. 1123, 2006). Modelberegningerne har givet timeværdier for nedbør for arealer på ca.

12,5 x 12,5 km. Variationen fra område til område er ganske stor. Nogle områder i Danmark har stigninger på op til 100%, mens andre ikke har stigninger. Der er ikke fundet nogen forklaring på disse forskelle. De er øjensynligt ikke terrænafhængige eller landsdelsspecifikke. De forekommer at være tilfældige. Det er derfor valgt indtil videre at anbefale samme faktorinterval for hele landet. I Skrift 29 er foretaget en tilsvarende analyse af regndata, og den mundede ud i klimafaktorerne i Tabel 2.2, som anvendes til dimensionering af danske afløbssystemer. Dataanalyserne viste, at der var en tendens til, at faktoren voksede med gentagelsesperioden. De i tabellen viste faktorer er nu anvendt ved afløbstekniske beregninger.

Tabel 2.2 Anbefalede klimafaktorer i følge Skrift 29.

Gentagelsesperiode:	2 år	10 år	100 år
Klimafaktor:	1,2	1,3	1,4

Vores grundlag for at beskrive udviklingen i ekstremregn for resten af dette århundrede er endnu beskedent. Dette skal der tages hensyn til ved valg af fremskrivning. Det kan derfor næppe med rimelighed anbefales mere præcist end, at der i planlægningen skal indregnes den angivne stigning gennem dette århundrede, og at der antages en lineær stigning. Det skal bemærkes, at denne stigning ikke må indregnes ved at benytte en faktor 1,2–1,4 på hele regnsrækker målt frem til nu. Det er kun en faktor på ekstremregn.

For de danske klimascenarier (A2, B2, EU2C) forventes det ikke, at årsnedbøren vil ændres meget i forhold til nu, men at nedbørsmønstret vil ændre sig. Det er derfor usikkert, om den nuværende beskrivelse af CDS-regn (Skrift 28, 2006) er dækkende i fremtiden, og dermed om fremtidens ekstremregn kan beskrives ved hjælp af en faktor på de CDS-regn, der benyttes i dag. Usikkerheden ved dette må indtil videre regnes inkluderet i usikkerheden på klimafaktoren.

I løbet af de næste 100 år forventes det, at en 10 årsregn vil forøges med 30%. Det vil betyde, at nogle dele af afløbssystemerne, som i dag lever op til funktionskravene i Skrift 27, på et tidspunkt i fremtiden ikke længere vil kunne opfylde funktionskravet, da en 10 årsregn bliver større.

For at få et overblik over, hvordan et afløbssystem vil leve op til funktionskravet, kan der gennemføres beregninger med de nuværende 10 henholdsvis 5 årsregn fremskrevet med klimaændringer. Giver den forudsatte klimaændring på et givet sted således anledning til en 30% forøgelse af 10 årsregnen, kan afløbssystemet f.eks. gennemregnes med følgende scenarier for at analysere afløbssystemets robusthed over for klimaændringer.

Tidshorisont	Forventet forøget regnmængde på 30%
I dags 10 års regn	0%
Om 10 år	3%
Om 25 år	7,5%
Om 50 år	15%
Om 100 år	30%

Da der i dag ikke foreligger viden om den tidlige udvikling i klimascenarierne, er den totale klimaeffekt blot fremskrevet lineært.

2.3 Fremtidige vandstande i havområder

I fremtiden vil middelvandstanden langs de danske kyster øges på grund af klimabetingede havspejlsstigninger. Hertil kommer en ændret opstuvning som følge af nye klimabetingede ekstreme vindfelter. Ændrede vandstande vil få indflydelse på forholdene i de afløbssystemer, som aflaster ved gravitation til havet.

Mere specifikt forventes middelhavspejlet at stige med 28-81 cm i danske farvande i løbet af dette århundrede. Hertil kommer et vindbidrag på op til 30 cm til maksimalvandstand ved stormfloder på vestkysten af Jylland. (<http://www.klimatilpasning.dk/DA-DK/KYST/PÅVIRKNING/Sider/Forside.aspx>, december 2009).

Dvs. nye ekstremvandstande for kystkommuner skal beregnes som: havspejlsstigning plus opstuvning fra nye klimabetingede ekstreme vindfelter. Output fra disse oceanografiske beregninger vil være ekstremvandstande for relevante gentagelsesperioder inklusive et mål for varigheden (f.eks. døgnmaksimum eller lignende). Denne information kan anvendes til at estimere, hvor længe der skal pumpes fra et givet afløbssystem, og om der eventuelt vil forekomme indstrømning fra havet gennem vandløb.

DMI og Kystdirektoratet anbefaler at undersøge følsomheden i et givent tilfælde overfor den fremtidige havvandstand, og at muligheden for endnu højere vandstandsstigninger inddrages i risikovurderinger (<http://www.kyst.dk/sw17746.asp>).

2.4 Fremtidige vandstande i søer og vandløb

De danske åer har store forskelle i vandføringsmønstrene. Nogle åer har en rimelig konstant vandføring med små forskelle mellem vinter- og sommervandføring, og de kan have en lille følsomhed over for større regnhændelser, mens andre åer har store forskelle mellem vinter- og sommervandføring, og de kan have en kraftig respons på kraftige regnhændelser. Denne type åer kan have en tendens til at tørre ud om sommeren.

I fremtiden må det forventes, at også vandløbene påvirkes af klimaændringerne. Havspejlsstigningen vil betyde, at vandløb med udløb i havet vil få en mindre afløbskapacitet end før, og i situationer med ekstrem vandstand vil denne effekt øges. Da vandløbene ofte er randbetingelse til regn- og fællessystemer, anbefales det, at vandløbets hydrauliske forhold beskrives sammen med afløbssystemet.

Generelt vil der i vandløbene i højere grad komme indtrængende saltvandskiler, som formentlig vil ændre de biologiske forhold i vandløbet. Effekter af klimaændringer på vandløbene – ud over de hydrauliske forhold – må undersøges i selvstændige analyser og er ikke en del af dette projekt.

2.5 Fremtidige vandstande/tryk i grundvand

Ændringer i grundvandsforhold er interessant set ud fra et afløbsteknisk synspunkt. Hvis grundvandsstanden ændres, kan det dels få indflydelse på infiltration til afløbssystemet, dels er vandstanden i den sekundære grundvandszone afgørende for afstrømning på terræn til regnvands-, fællessystem og vandløb. Denne effekt har haft særlig stor betydning de sidste fem år, hvor der i 2007, 2009 og 2010 var koblede ekstremregn, som fik grundvandsstanden i de øvre lag til at stige. Dermed forøgedes overfladeafstrømninger fra permeable områder til afstrømningssystemerne.

Til en analyse af ændrede grundvandsforhold kan der anvendes prognoser for de klimatiske forhold beregnet af DMI med opløsning på 25 km x 25 km eller eventuelt finere, (Sonnenborg et al., 2006).

Den forventede stigning i nedbørshændelser med stor intensitet kan have lokal betydning for grundvandsforhold. Specielt i områder med grove, sandede aflejringer kan der under meget intense regnskyl forekomme en hurtig stigning i grundvandsstand med potentiel fare for indsivning i kloakker, kældre og andre dybtliggende konstruktioner. Samtidig kan der forekomme forstyrrelser i grundvandssænkingsanlæg, hvor der pumpes fra øvre grundvandsmagasiner.

Den forventede havspejlsstigning vil i kystnære områder give anledning til en stigning i grundvandspotentialer. Risikoen for indtrængning af saltvand til kystnære grundvandsindvindinger vil øges, ligesom dræningen af kystnære oplande vil forstyrres/ændres. I mange tilfælde vil havspejlsstigningen dog kun have meget lokal betydning for grundvandsforhold, men det kan have væsentlig betydning for afstrømningsforhold i de kystnære vandløb, hvor gradienterne er små; specielt kombineret med den forventede øgede intensitet af nedbør. Dette forhold gør sig især gældende i vestjyske vandløb, hvor der traditionelt har været en hårfin balance mellem nedbørsintensitet (og lange perioder med høj nedbør) og risikoen for oversvømmelse.

I vinteren 2006/2007 har man bl.a. oplevet, hvordan Storåen er gået over sine bredder i Holstebro og omegn på grund af den megen nedbør i efterårs- og vintermånederne, som gav forøgede afstrømningsmængder til vandløbet. Igen i 2011 var der problemer, denne gang på grund af kombinationen af frossen jord og hurtig snesmeltning i forbindelse med regn.

2.6 Fastsættelse af inddata og randbetingelser – anbefalinger

En beregning af de fremtidige forhold i et givet område kræver fastsættelse af alle relevante inddata og randbetingelser. Det mest afgørende er normalt valg af regnscenarium, men også recipientvandspejl kan være afgørende og i nogle tilfælde grundvandsforholdene. Desuden skal der tages hensyn til den fysiske planlægning for området og for prognoser for den udvikling, der i øvrigt sker i samfundet. I det følgende gennemgås kort, hvordan disse beregningsforudsætninger kan fastsættes.

2.6.1 Valg af nedbør

Regnserier for nedbøren gennem de sidste ca. 30 år findes for de fleste områder i Danmark. I mange tilfælde benyttes ved beregninger alle regn i en sådan regnserie, og der laves så en statistisk bearbejdning af resultaterne. Herved fås konsekvenser af alle regn svarende til forskellige gentagelsesperioder.

En anden metode består i at foretage en beregning på en forenklet model af det betragtede opland og derudfra udpege de regn, der bedst repræsenterer de gentagelsesperioder, som ønskes analyseret nærmere og så med disse regn udføre de ønskede detaljerede analyser af systemets funktion.

Endelig kan man ud fra de lokale regnserier eller den regionale model opstille CDS-regn svarende til de ønskede gentagelsesperioder. Anvendelsen af CDS-regn er i øvrigt eneste mulighed, hvis regn med lange gentagelsesperioder ønskes anvendt. På grund af regnseriernes begrænsede længde er der for den enkelte serie stor usikkerhed på regn med gentagelsesperioder 10 år og længere, og det anbefales derfor at benytte CDS-regn, når sådanne gentagelsesperioder skal betragtes.

Ovenstående muligheder kan alle benyttes, når der anvendes historiske data. Når der skal tages hensyn til forøgelsen af nedbøren på grund af klimaændringer, er det imidlertid kun den sidstnævnte mulighed, der er direkte anvendelig. Som beskrevet i kapitel 2 kan man i beregninger let indføre en valgt faktor, "klimafaktor" på CDS-regnene og på den måde belaste afløbssystemerne svarende til den forventede forøgelse af nedbøren.

Dvs. det anbefales, at man ud fra kendskab til hidtidig regn det givne sted i landet laver en fremskrivning af alle regn, og indtil bedre viden foreligger, gøre dette ved at benytte en klimafaktor se Tabel 2.2 (jf. Skrift 29). Som tidligere nævnt kan denne faktor kun benyttes på ekstremregn.

I løbet af få år vil det formodentlig blive muligt at generere hele lokale regnserier svarende til en valgt klimaproggnose. Herved vil det blive muligt - også for de fremtidige forhold - t beregne f.eks. aflastninger til recipienter og andre forhold, som kræver inddragelse af alle regn. Udvikling og anvendelse af sådanne kunstige regnserier har vi dog endnu ikke erfaringer med her i landet.

2.6.2 Koblet regn

De senere års oversvømmelser har i høj grad skyldtes, at der er faldet meget regn på kort tid, men i flere tilfælde har det også været karakteristisk at oversvømmelserne er sket fordi der er faldet regn på tidspunkter, hvor systemerne: kanaler, vandløb, søer, bassiner og grundvandszonen ikke har været tømt efter en tidligere regn. Dette kaldes koblet regn. Koblet regn tages med i beregningerne ved at anvende lange regntidsserier målt i lokalområdet. Dette er naturligvis kun muligt for eksisterende forhold og ikke fremtidige forhold!

Hvis der blot ganges en klimafaktor på eksisterende regnserie for at forsøge at medtage koblet regn ved klimatilpasning, fås det ikke med, at der i fremtiden måske vil blive kortere mellem de forskellige regn og dermed større sandsynlighed for koblet regn.

Der findes i dag ingen anbefalinger til hvordan man kan tage koblet regn med i regning når der klimatilpasses. Valg af nedstrøms randbetingelse – Fremtidige vandstande i recipienter til regnvandssystemerne

Den nedstrøms randbetingelse for et afløbssystem er som regel en sø, et vandløb eller havet. Typisk anvendes middelvandstanden i recipienten som nedstrøms randbetingelse. Er det kritisk med et sammenfald mellem højvande i recipienten og dimensionsgivende nedbør, er det nødvendigt med en analyse af sammenhængen mellem nedbør og højvande i recipienten, dvs. en analyse af "joint probability" mellem gentagelsesperioden for vandstand i recipient og gentagelsesperiode for regn.

2.6.3 Havspejlsstigning og klimabetingede ekstremvandstande

De ekstreme vandstande på de danske kyster ændres på grund af en klimabetinget havspejlsstigning samt en opstuvning som følge af nye klimabetingede ekstreme vindfelter. Disse nye ekstremvandstande vil påvirke afløbssystemerne i de kystnære kommuner. De nye ekstremvandstande for kystkommuner beregnes ud fra havspejlsstigning plus opstuvning fra nye klimabetingede ekstreme vindfelter. Kystdirektoratet har beregnet nye maksimale vandstande for udvalgte kyststrækninger i Danmark. Denne information findes på deres hjemmeside og i rapporten: "Klimaændringers effekt på kysten, Kystdirektoratet, 2008"

For at estimere havspejlsstigninger lokalt, som følge af klimabetingede vindfelter må der anvendes en 2D oceanografisk model. Output fra disse oceanografiske beregninger vil være ekstremvandstande for relevante gentagelsesperioder inklusive et mål for varigheden (f.eks. døgnmaksimum eller lignende). I mange tilfælde kan man dog komme langt med at anvende dagligvande i dag (typisk et middelmål) eller ekstremvandstanden med en ønsket gentagelsesperiode (f.eks. T=10 år vurderet ud fra en målt tidsserie i det pågældende farvand). Et eksempel på hensyntagen til nye ekstremvandstande i Køge Bugt er givet i Appendiks D.

2.6.4 Vandløb, søer og grundvandszonen

Vandstanden i søer og vandløb er randbetingelse for afstrømningen fra regnvandssystemet. I hvert enkelt område, der skal analyseres, bør det derfor i første omgang vurderes, om der er udsigt til, at randbetingelsen ændrer sig væsentligt i forhold til afløbssystemet.

Vandstanden i vandløbet afhænger af afstrømningsintensiteten og mængderne fra urbane og rurale oplande. Når nedbørsintensiteten i fremtiden øges, må det forventes, at den maksimale vandføring i vandløbene øges. Ændringen af baseflowet i vandløbene afhænger primært af grundvandsstanden herunder af, om markkapaciteten i fremtiden ændrer sig.

Er randbetingelsen til afløbssystemet et vandløb, vil det i de allerfleste tilfælde være nødvendigt at medtage effekten af vandløbet i konsekvensberegningerne, da vandløb og afløbssystem er stærkt indbyrdes afhængige.

I de tilfælde hvor vandstanden i dag har indflydelse på overløb og udløb fra afløbssystemer, vil det også være relevant at inkludere sammenhængen mellem vandstand i recipienten og afløbssystemet. Ligger overløbet/udløbet i forbindelse med havet, anbefales det at benytte den fremtidige vandstand i havet som den nye nedstrøms randbetingelse. Ligger overløbet/udløbet til recipienten derimod et stykke væk fra havet (over det nuværende havspejl + forventet ændring i havspejl på grund af klimaændringer), kræves der en analyse af den fremtidige vandstand i recipienten (åen eller søen), før den nye klimabetingede vandstand (randbetingelse) til afløbssystemet kan findes.

Vandstanden i søerne vil afhænge af den kommende vandføring i vandløbene, infiltration/interaktion med grundvandszonen og af størrelsen af fordampningen, som om sommeren ifølge DMI vil øges som følge af de øgede temperaturer.

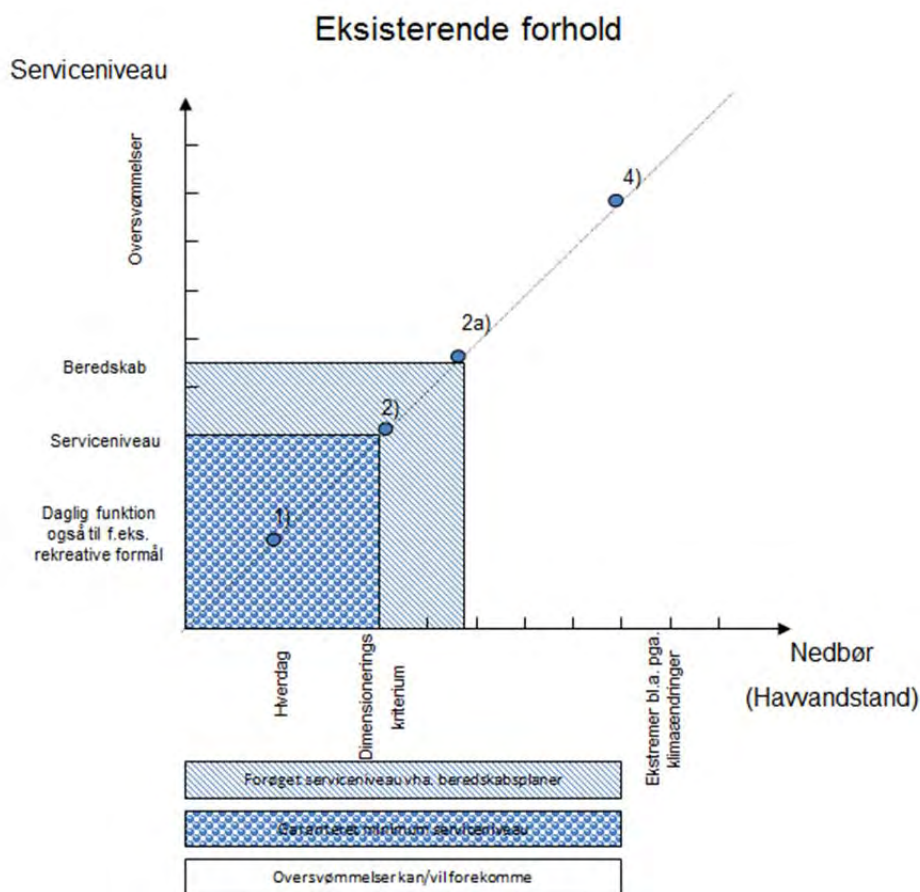
Vandstanden i grundvandszonen er omvendt korreleret med nedbørsintensiteten, da øget intensitet vil give større overfladisk afstrømning. Da regnintensiteten om sommeren øges i fremtidige nedbørssituationer, taler dette for et reduceret grundvandspotentiale. Havet er grundvandspotentialets randbetingelse, og da havet stiger i fremtiden, giver det en potentiel fremtidig stigning i grundvandsspejlet i de kystnære zoner. Dertil kommer, at grundvandsstanden i de øverste jordlag bl.a. vil afhænge af temperaturen, fordampning og af landmændenes forventede ændringer af drænforhold som følge af de forventede tørrere somre.

For at kunne medtage samtlige af ovenstående effekter af klimaforandringer, som potentielt kan have betydning for det fremtidige afløbssystem, er det nødvendigt at opstille en fuld hydrologisk model, der inkluderer hav, grundvand, søer, vandløb og regnvandssystem. Langt de færreste forsyninger og kommuner har dog samtlige modeller til rådighed, og det vurderes, at det er tilstrækkeligt at anvende eksisterende nutidige randdata korrigeret efter IPCC's anbefalinger (på havvandsstanden).

3 OVERHOLDELSE AF FUNKTIONSKRAV UNDER PÅVIRKNING AF KLIMAÆNDRINGER

3.1 Beskrivelse af serviceniveau

Anlæg af afstrømningssystemer skal følge dansk praksis (Skrifter fra Spildevandskomiteen), som siger, hvor meget nedbør et afstrømningssystem skal kunne føre væk. Dette er dimensioneringskriteriet. Falder der en større nedbør, er det ikke et krav, at afstrømningssystemerne skal kunne føre vandet væk. På Figur 3.1 er vist en illustration af principperne for dimensionering af afstrømningssystemer. Figuren viser overordnet eksisterende forhold i en kommune. Bemærk, at serviceniveauet kan beskrives på tilsvarende måde for f.eks. forøget grundvandsstand eller havvandstand.



Figur 3.1 Eksisterende forhold i afløbssystemerne.

På den vandrette akse ses størrelsen af nedbøren (jo længere til højre jo større nedbør), og på den lodrette akse er sandsynligheden for oversvømmelser. Punktet på linien 1) repræsenterer en almindelig nedbør dvs. mellem 10 og 20 mm en "hverdagsituation". I denne situation må der aldrig forekomme oversvømmelser på grund af nedbør, samtidig er det hensigtsmæssigt, at anlæg – søer, kanaler, vandløb m.m. – passer ind i byen og fremstår som så rekreative elementer som mulig (dvs. at der er en vis minimum vandføring i vandløbene, at der er relativt rent vand i søerne, at kanaler er udformet, så de fremstår "pænt" i byen/landskabet osv.).

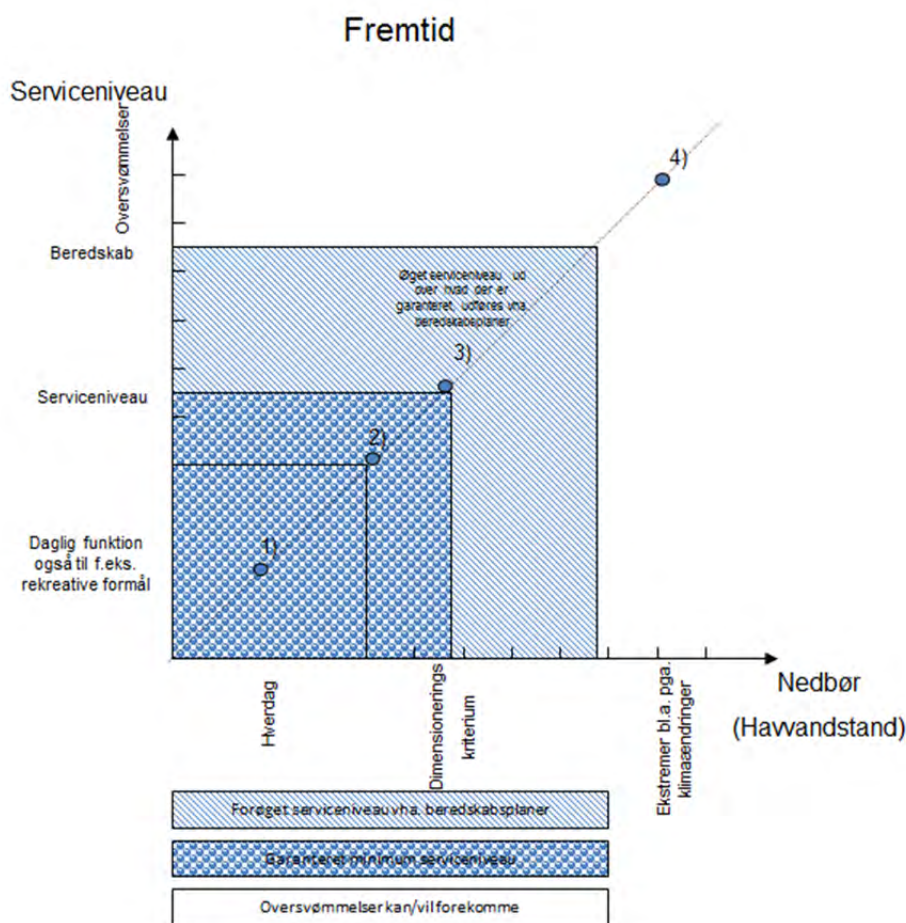
Bevæger man sig op mod højre langs linien til punkt 2), kommer man til grænsen for garantien mod oversvømmelser som afstrømningssystemerne er dimensioneret i dag. Denne situation er for de eksisterende afstrømningssystemer svarende til en nedbør med en intensitet på 8-9 mm over 10 minutter, som tidligere kunne forventes at forekomme ca. hvert 2. år (i gennemsnit over mange år). I denne situation vil regnvandssystemerne komme under pres, men der vil netop ikke ske oversvømmelser. Dette er under den forudsætning at afløbssystemet er tilstrækkeligt renoveret og vedligeholdt.

Kommer der mere nedbør (højere oppe på linien), vil der være risiko for oversvømmelser (som vist på den lodrette akse). Med de ledninger, bassiner osv., som findes i det gamle system, vil man kunne reducere oversvømmelser ved at sætte en beredskabsplan i gang 2) -> 3) i figuren: inden regnen falder, kan man have tømt søer og kanaler, så der kan være mere vand i dem, pumpe vand med mobile pumper, grave ekstra ud hensigtsmæssige steder, rense riste, opstemme vandløb osv. Dertil kan man, hvis man forudser en oversvømmelse i et særligt område, sætte skilte/afspærringer op, så man undgår ulykker på grund af oversvømmelsen.

Punkt 4 i figuren illustrerer situationen, hvor der vil forekomme oversvømmelser. Nedbøren er i denne situation så kraftig/stor, at det ikke er samfundsøkonomisk muligt at forhindre oversvømmelser.

I Figur 3.2 ses en eventuel vision for udbygning af afstrømningssystemerne og gennemførelse af klimatilpasninger.

Med de senere års kraftige nedbør er der opstået et behov for at revidere den dimensiongivende regn, således at afstrømningssystemerne kan klare mere regn. Det er vist med punkt 3). Skrift 27 betyder, at det garanterede minimum serviceniveau nu skal være ved punkt 3), når der vel at mærke er tale om nye anlæg. Nedbøren skal være kraftigere, før der kommer oversvømmelser, hvilket også kan tolkes som, at man hæver serviceniveauet for nuværende nedbørssituationer, men at befolkningen vil opleve samme hyppighed af oversvømmelser som nu, når den fulde klimaændring slår igennem (ca. 2100). En nedbør svarende til punkt 3) er nu grænsen for en garanti mod oversvømmelser. Bevæger man sig længere mod højre ad den vandrette akse (større nedbørsmængde) vil der være risiko for oversvømmelser. Man kan benytte beredskabsplaner for at reducere skader. Dette er vist ved, at man fra 3) går i retning mod 4).



Figur 3.2 Vision for forhold i afløbssystemerne i Greve Kommune (farveforklaring svarer til den i Figur 3.1).

Det sidste punkt på linien 4) angiver forholdene ved den ekstreme nedbør, som er set de senere år i mange kommuner, f.eks. i Greve i henholdsvis august 2002 med 100 mm på tre timer og i juli 2007 med 250 mm på tre uger (og ca. 60 mm på et døgn). I disse situationer 4) er der ingen garantier mod oversvømmelse. Beredskabsplaner kan eventuelt reducere oversvømmelserne og skaderne, men det må forventes, at der sker oversvømmelser.

Vil man sikre byen mod sådanne nedbørsforhold, må man flytte det garanterede minimum serviceniveau videre ud til punkt 4) med voldsomme investeringer til følge.

Det er et politisk spørgsmål, hvor man vil placere det garanterede minimum serviceniveau ved udbygning af eksisterende anlæg. Og altså, hvad man vil tåle eller betale for at sikre byen mod en given hændelse.

Spildevandsforsyningerne er ansvarlige for at opfylde nationalt stillede krav, som er beskrevet i henholdsvis Landvæsenskommissionens afgørelser for gamle systemer og i Spildevandskomiteens skrifter i de senere år (punkt 2) i figuren). Disse krav kan betragtes som dansk praksis på området, når vi taler om anlæg udført før 2005. Taler vi om anlæg udført efter 2005, skal de nye krav (Skrift 27) være opfyldt svarende til punkt 3) i figuren.

Ønsker en kommune at fastlægge et højere serviceniveau end 2) for anlæg før 2005, eller eventuelt også for 3) anlæg efter 2005, er det et kommunalpolitisk anliggende. Serviceniveauet angives i kommunens spildevandsplan.

Som det er i dag, er der ingen, som har ansvar for oversvømmelse i det tilfælde, hvor nedbøren ligger over punkt 2) henholdsvis 3), og der er ingen lovgivning, som sikrer borgerne, at der tages højde for disse nedbørshændelser.

3.1.1 Serviceniveau og overholdelse af funktionskrav under påvirkning af klimaændringer

Den ændrede nedbør over Danmark – som beskrevet i afsnit 2.3 – betyder, at der i fremtiden vil opleves et ændret respons i afstrømningssystemerne.

Arbejdet med at reducere klimaeffekters negative virkninger på afløbssystemer vil have det overordnede formål at reducere mulige skader på samfundsværdier – enten ved at reducere oversvømmelsernes omfang eller ved at reducere skaden gennem klog forvaltning af potentielle oversvømmelser.

Danske afløbssystemer, som er etableret efter 2005, skal p.t. leve op til de i Spildevandskomiteens Skrift 27's formulerede funktionskrav:

- I fælleskloakerede områder må der højst hvert 10. år være opstuvning på terræn
- I separatkloakerede områder må der højst hvert 5. år være opstuvning på terræn

Dette er minimumskrav, og kommunerne må gerne beslutte at ville leve op til supplerende og/eller skrappe krav. I Skrift 27 slås det fast, at det er de faktiske forhold i oplandene, der er afgørende, dvs. de konstaterede opstuvningshyppigheder, og det pointeres, at der ved dimensionering og analyser af afløbssystemer skal tages hensyn til de forventede fremtidige ændringer i klimaet, herunder naturligvis især ændringer i nedbørsforhold og recipientvandspejl, således at systemet i hele den forventede levetid lever op til de stillede funktionskrav.

For at tjekke om serviceniveauet er opretholdt, kan der gennemføres beregninger (svarende til nedbøren beskrevet i afsnit 2.3), som vil vise afløbssystemets respons på udviklingen i klimaet med gentagelsesperioder på 10, 25, 50 og 100 år. Denne analyse vil vise, hvilke steder i afløbssystemet funktionskravet overskrides sammen med en indikation af, hvornår det sker. Denne information kan indgå i planer for vedligehold og udbygning. Det anbefales i Miljøstyrelsens rapport Miljøprojekt nr. 1123 (2006), at der foretages en problemlidentifikation og prioritering af effekterne fra klimaændringer på tre niveauer:

Niveau 1. Analyse af, om klimaændringer vil give anledning til overskridelse af nuværende funktionskrav.

Niveau 2. Overskrides nuværende funktionskrav for nye designregn baseret på prognoser for fremtidige klimaændringer, vurderes, hvor stor vanddybden og udbredelsen bliver på terræn, samt hvor stor en eventuel skade – som følge af overskridelsen – vil være.

Niveau 3. Kommer der signifikante vandmængder på terræn, foretages en vurdering af eventuelle skader og der planlægges en håndtering af vandet på terræn. Denne vurdering indgår i en planlægning af, hvornår afløbssystemet bør tilpasses, så det kan håndtere den ekstra nedbør på grund af klimaændringer.

Når problemløsningen er gennemført, kan en prioritering af problemerne foretages f.eks. ved hjælp af en risikoanalyse som beskrevet i kapitel 6.

Et eksempel på en sådan fremskrivning af en 10 års design regn – med tilhørende beregning af overskridelse af funktionskrav for afløbssystemet – er vist i appendiks A, B, C, D. Kommunerne kan anvende denne beregningsmetode til at prioritere tiltag imod oversvømmelser, da disse beregninger viser udviklingen i, hvor funktionskravet ikke længere kan overholdes i dette århundrede. Det skal bemærkes, at eventuel planlagt byudvikling skal medtages i beregningerne.

4 MODELLERING AF OVERSVØMMELSER FRA REGNVANDSSYSTEM OG VANDLØB

4.1 Fra hulkort til avancerede hydrauliske modeller

4.1.1 Modelværktøjerne

I forbindelse med valg af modelværktøj til anvendelse ved analyser af klimatilpasning, er det vigtigt at belyse følgende spørgsmål:

- Hvad er formålet med beregningerne?
- Hvordan ser terrænet i området ud?
- Hvilke data er der til rådighed?

I mange tilfælde ønsker man i første omgang kun at vide, om der kan opstå oversvømmelser, og i hvilke områder det kan ske. I andre tilfælde er der behov for detaljerede beregninger af gentagelsesperioder og omfang af oversvømmelser.

Hvilke typer af modelværktøjer, der er brugbare for de forskellige problemstillinger, afhænger i høj grad af afløbssystemets dynamik og terrænets udformning.

I et simpelt afløbssystem, hvor dynamikken er af mindre betydning, er det ofte muligt at gennemføre en kvalificeret beregning af oversvømmelsernes omfang på baggrund af beregning af vandbalance. I afløbssystemer, der er mere komplicerede, er det nødvendigt at benytte en dynamisk afløbsmodel.

Ligeledes kan terræntyper deles op i simple tilfælde, der er præget af gryder/bassiner uden dynamik, og mere komplicerede tilfælde, hvor dynamikken på overfladen får betydning.

Der er ofte stor variation i detaljeringsgraden og kvaliteten af data. Foreligger der f.eks. en kalibreret dynamisk afløbsmodel for området, og er det muligt at erhverve en terrænmodel samt GIS-data over huse og veje?

I forbindelse med undersøgelser af klimaændringers effekt på afstrømningssystemer i byer anvendes i stigende grad terrænkort, der i GIS anvendes til at finde fordybninger i overfladen, og disse fordybninger betegnes som risikoområder. Flere og flere anvender disse kort til at sige noget om risikoen for regnbetingede oversvømmelser i byer. Men i mange tilfælde er disse fordybninger ikke nødvendigvis risikofyldte, da der kan være afvandingskanaler, der dræner disse ”huller”, så som vandløb, grøfter, regnvandskloaker osv. Terrænkort anvendes også til at vurdere oversvømmelsesrisikoen fra havet på samme måde som for regnbetingede oversvømmelser, men også i dette tilfælde er analysen ikke nødvendigvis fyldestgørende: de lavninger, der vises som huller, bliver kun fyldt, hvis der er et system, som leder vand til fordybningen.

Analysemetoderne kan forbedres ved, at terrænmodellen modificeres, så der i vurderingerne tages højde for, at der er afstrømningssystemer, som leder vand væk fra eller fører vand til fordybningerne. Endelig kan der tages højde for, at vandstrømningen har en vis varighed, så også tiden medregnes ved anvendelse af numeriske hydrauliske modeller.

Som det fremgår, kan terrænkort anvendes på mange niveauer til analyser af klimaændringers effekt på oversvømmelsesrisiko i byer: de kan anvendes lige fra den helt simple metode til den mest avancerede edb-model: fra hulkort til avanceret computermodel.

Den tekniske analysemetode med anvendelse af terrænmodel på et af niveauerne kan kaldes "*det tekniske spor*", se Figur 4.1.

4.1.2 Beslutningsprocessen

Når man vil anvende terrænmodeller til analyse af klimatilpasning, er det meget vigtigt, at man gør sig klart, hvad analysen skal bruges til: Er det til de allerførste præsentationer for politikere, som skal tage beslutning om, at administrationen skal gå i gang med vurderinger af risiko for oversvømmelser? Skal der tages stilling til serviceniveauet på regnvands- og vandløbssystemer? Skal der tages stilling til, om der skal gennemføres klimatilpasning? eller skal der tages stilling til, hvilke løsninger der skal igangsættes?

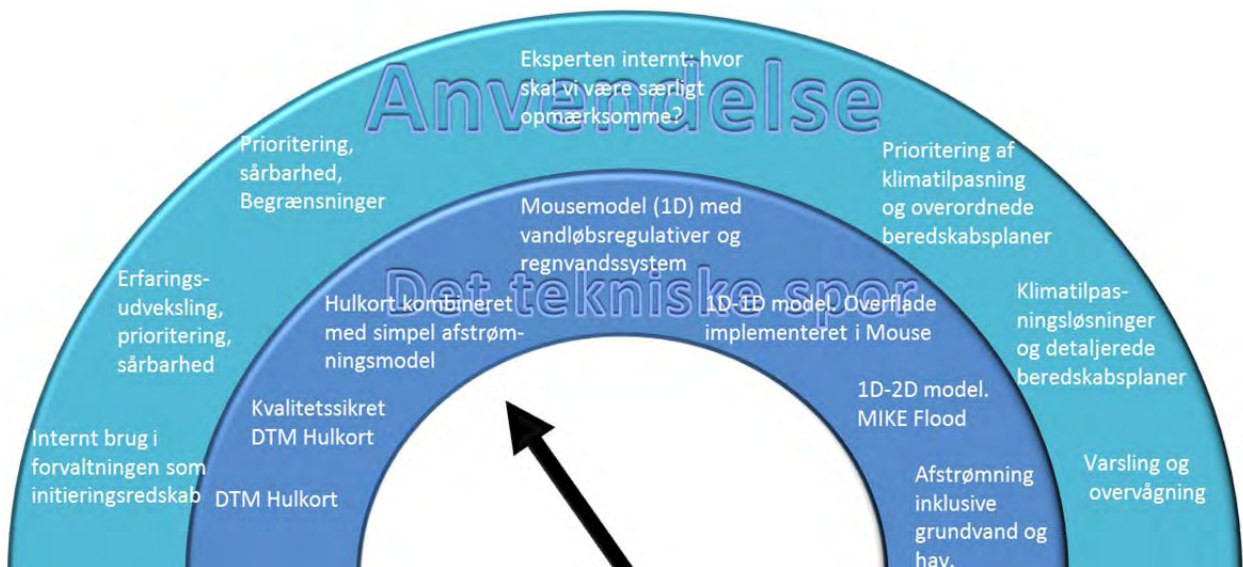
Ser man på metoden fra hulkort til avanceret computermodel som et speedometer eller klimameter fra venstre mod højre (se Figur 4.1), kan man tilsvarende se på beslutningsprocessen på klimametret fra beslutningen om, at "vi skal undersøge klimatilpasningens effekt" over "vi skal klimatilpasse" til "byen er klimatilpasset, og vi skal overvåge byen". Anvendelsen kan kaldes "*det politiske spor*". Det politiske spor følger det tekniske spor, da politiske beslutningsprocesser kræver forskellige grader af teknisk viden.

4.1.3 Den tværfaglige vinkel

Når klimatilpasning skal implementeres i forvaltningerne, kan terrænmodeller kombineret med hydrauliske vurderinger anvendes til vidt forskellige ting: de kan give byplanlæggeren en idé om, hvilke arealer der skal friholdes fra andre anvendelser og bruges som opmagasineringsarealer for regnvand, de kan anvendes af byggesagsbehandleren til at vurdere, om der kan gives byggetilladelse i et aktuelt område – eller om der skal nærmere analyser til for, at en tilladelse gives, de kan anvendes af miljøplanlæggeren/vandløbsmyndigheden til vurderinger om etablering af f.eks. våde enge til tilbageholdelse af næringssalte, og af landskabsarkitekten til at vurdere, hvor forskellige natur-elementer skal placeres. Igen kræver de forskellige fagområder forskellig anvendelse af teknisk viden og følger "klimametret" for det tekniske spor: Byplanlæggeren kan anvende et simpelt "hulkort" til at fastlægge arealanvendelse i kommuneplanen, men i lokalplanen skal der mere kendskab til de hydrauliske forhold i kombination med terrænmodellen, før en decideret arealanvendelse kan fastsættes i et lokalområde. Vandløbsmyndigheden skal kende de specifikke vandstande i vandløbene for at kunne fastsætte de våde enges dimensioner og har derfor brug for hydrauliske modeller af vandløbene og terrænkoter for at kunne gennemføre en vandløbsregulering, der også har en god effekt på klimatilpasningen. Landskabsarkitekten kan i nogle tilfælde anvende det simple hulkort f.eks. til at placere en sø, men skal i andre tilfælde kende vandstande for at sikre at søen faktisk kommer til at indeholde vand! På klimametret kan der derfor tilføjes et "*tværfagligt spor*", hvor anvendelsesmulighederne for forskellige fagområder i tekniske forvaltninger kan placeres.

4.1.4 Økonomi

Prisen for at opnå de forskellige niveauer på klimametret går fra relativt billig til relativt dyr fra venstre mod højre: man kan relativt enkelt udarbejde et "hulkort" på ikke kvalitetssikrede data, men der skal et meget detaljeret og tungt arbejde til for at etablere en avanceret hydraulisk model, der medtager hele vandets kredsløb.



Figur 4.1 Illustration af modelværktøj (det tekniske spørgsmål), og hvad de forskellige niveauer kan anvendes til.

På samme måde kan mange andre aspekter af klimatilpasning indpasses i klimametret til støtte for at beslutte, hvor der skal startes, og hvor der skal sluttes: f.eks. hvem kan anvende de forskellige metoder: staten, regioner, kommuner eller forsyningsvirksomheder, og hvad der skal inddrages i form af: løsningsmetoder, miljøforhold og økonomi.

Illustrationen på Figur 4.1 kan f.eks. anvendes til at formidle beslutningsprocessen. I de følgende kapitler vil det tekniske spørgsmål blive gennemgået i detaljer, eksempler på klimatilpasning vil blive vist, og forslag til gennemførelse af risikoanalyser og prioritering af klimatilpasning vil blive givet.

4.2 Beregningsmetoder

I dette afsnit beskrives de hydrauliske modeller, der kan anvendes til klimatilpasning og prioritering af klimatilpasning. Afsnittet er opbygget efter Figur 4.1, så der startes med terrænmodel (DTM) og sluttes med de avancerede hydrauliske modeller.

1. *DTM Hulkort*: GIS-analyse, hvor der ved hjælp af DTM beregnes fordybninger i overfladen. Metoden tager kun overfladiske afstrømninger i regning uden rør og øvrig hydraulik.
2. *Kvalitetssikret DTM Hulkort*: GIS-analyse, hvor der ved hjælp af en kvalitetssikret højdemodel (DTM) beregnes fordybninger i overfladen. Metoden tager kun overfladiske afstrømninger i regning uden rør og øvrig hydraulik.
3. *Hulkort kombineret med simpel afstrømningsmodel*. Simpel volumenbetragtning på nedbørsmængder og afstrømningskapaciteter på terræn indlægges i "hulkort" beregningen, så der kan findes et første skøn på risikozoner.
4. Hydrodynamisk afstrømningsmodel i 1D (Mouse). Der beregnes kun i rør og kanaler. Metoden medtager ingen terrænstrømninger og simulerer ikke oversvømmelser på terræn. Metoden giver informationer om kritiske punkter i afstrømningssystemet.

5. *Kombineret hydrodynamisk afløbsmodel og overflademodel (1D-1D)*. I en 1D afstrømningsmodel (eksempelvis Mouse) implementeres overfladen som bassiner forbundet med overløbskanter. Metoden viser risikozonerne, mængden der opstaves, og hvor vandet når til, men ikke strømhastigheder og bevægelsesveje på overfladen.
6. *Kombineret hydrodynamisk afløbsmodel og 2D-overflademodel (1D-2D) MIKE Flood*. Afløbsmodel og hydrodynamisk 2D overflademodel kombineres. Metoden medtager strømhastigheder og bevægelsesveje på overfladen, men er meget beregningstung.
7. *Simulering af det samlede vandkredsløb*. I fremtiden vil man eventuelt kunne kombinere modeller af afstrømningen fra grundvandszonen, vandløb, afløbssystem og havet. Dette vil give det samlede overblik over afstrømningsforholdene i byerne. P.t. kan afstrømningssystem og vandløb kombineres med hydrologien i grundvandszonen, men det er meget beregningstungt og svært at opstille modellerne i en detalje, der gør det værd at gennemføre det store arbejde.

I de følgende afsnit beskrives disse metoder i detaljer:

4.2.1 Terrænmodel – kvalitetssikring

En terrænmodel er en digitaliseret opmåling af et områdes topografi, dvs. højder på overfladen. En terrænmodel giver i sig selv en del information om, hvor i området ekstremregn kan forventes at give anledning til skadesvoldende oversvømmelser. Det er muligt at udpege lavninger, hvor vand kan samles.

I områder, hvor der ikke allerede foreligger en afløbsmodel, og hvor terrænet hovedsageligt består af fordybninger, er terrænmodel (uden en hydrodynamisk model) velegnet til mindre konsekvensoverslag og forundersøgelser. Fordelen ved denne metode er, at den kan give et hurtigt overblik over problemernes omfang. Til gengæld kan der være stor usikkerhed ved metoden, og man skal være meget opmærksom på de fejl, der opstår ved at se bort fra hydrodynamikken i systemet.

Bearbejdning af højdedata

Højdedata bør kvalitetssikres, og der kan derefter genereres en terrænmodel til de videre beregninger. Da broer oftest vil virke som en barriere i de rå højdedata, bør der foretages en gennemgang af disse områder, og hvor det skønnes nødvendigt, indbygges underføringer. Tilsvarende bør alle vandløbstrækninger gennemgås, da rørlagte strækninger også vil virke som en barriere. Alle områder omkring huse bør ligeledes kvalitetssikres. I det følgende gives et eksempel på en sådan bearbejdning af terrændata.

Oftest foreligger der GIS-registrering over de største broer i en kommune. Dette kan enten direkte indarbejdes i terrænmodellen eller anvendes som skabelon til en manuel gennemgang af områderne. I Figur 4.2 er vist et eksempel på et område, hvor der vil fremkomme unaturligt store huller, hvor underføringerne er.



Figur 4.2 Beregnede lavninger før underføringer åbnes (venstre), og efter der er åbnet op (højre). (Vejdirektoratet, 2009).

Analysen kan anvendes til at lave en vurdering på vandføringskapaciteten på underføringer, da analysen, før der åbnes, giver et billede af en potentiel oversvømmelse, såfremt der er begrænset kapacitet.

4.2.2 Hulkort

Beregning af lavninger

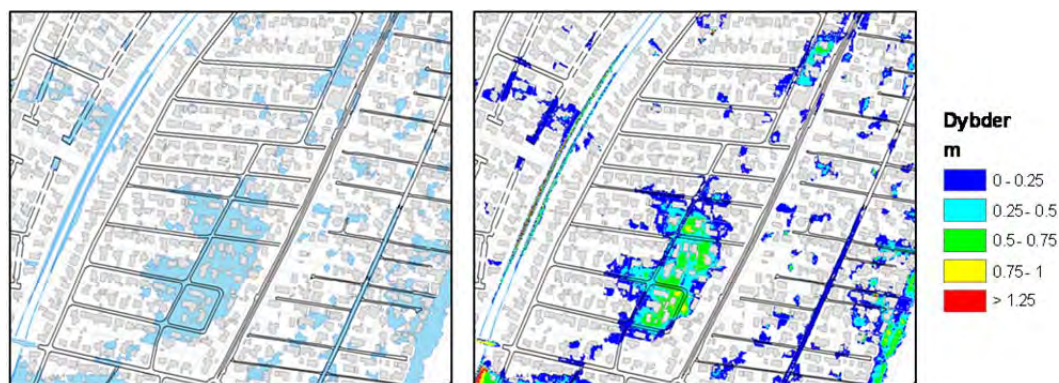
Ved beregningen af potentielle oversvømmelsesområder antages det, at alle overflader er fuldstændig impermeable. Der er ikke mulighed for nedsivning eller afstrømning via dræn og afløbssystem. Kortene viser potentielle risikoområder – nærmere betegnet lavninger i terrænet – hvor der er mulighed for, at vand kan samles og forårsage oversvømmelser. Kortmaterialet viser dels udbredelse af huller med information om arealmæssig udbredelse og volumen og dels en opgørelse over dybder, hvis lavningerne fyldes helt op med vand. Det kan vælges at vise forskellige niveauer, f.eks. alle lavninger eller kun lavninger over f.eks. 100 eller 500 m³, som vist i Figur 4.3. Vises alle lavninger, vil støj i terrænmodellen forstyrre billedet en del.



Figur 4.3 Reduktion i antallet af lavninger ud fra volumen. Første del viser alle lavninger, anden del lavning over 100 m³ og tredje del viser lavninger over 500 m³.

Efter lavninger er identificeret kan dybder beregnes, se Figur 4.4. Informationer om lavninger kan forholdsvist let kædes sammen med data for grundvandspejlet.

Denne metode indeholder ingen information om, hvor meget regn der skal til for, at hullerne rent faktisk fyldes op. Opfyldningen af huller kan i langt de fleste tilfælde betegnes som "worst case", altså et tilfælde som har en meget høj gentagelsesperiode.



Figur 4.4 Udpejning af lavninger og beregninger af dybder.

I det følgende afsnit vises en meget simpel metode til, hvordan nedbørsmængden og afløbskapaciteten kan tages i regning ud fra rene volumenbetragtninger.

Vandveje på overfladen og bidragende arealer

Vandveje på overfladen kan beregnes med og uden huse i terrænmodellen. Forskellen mellem de to er vist i Figur 4.5.



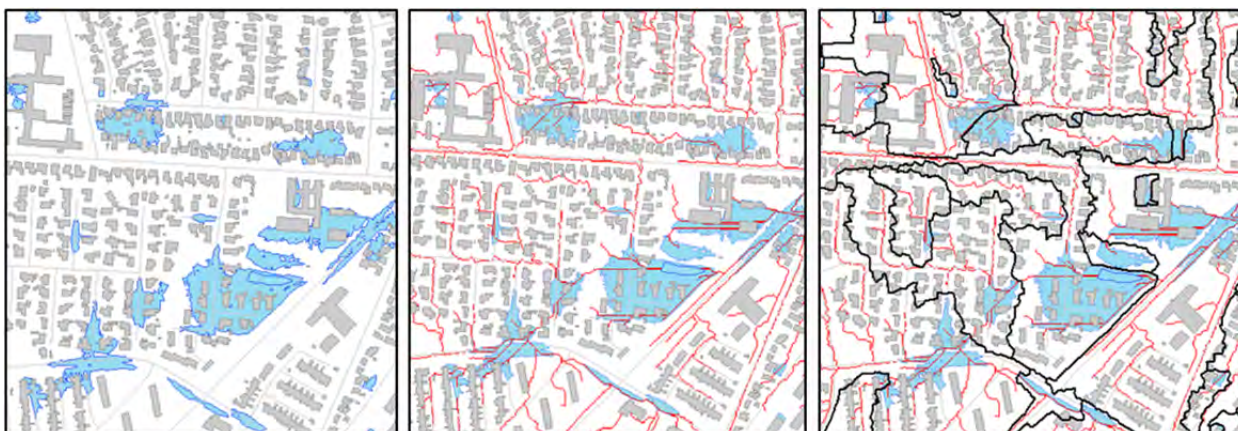
Figur 4.5 Vandveje på overflade beregnet uden huse (venstre) og inkl. huse (højre).

Valg af metode afhænger af detaljeringsgraden, da en terrænmodel inkl. huse kan give flere lokale oversvømmelser, se Figur 4.6.



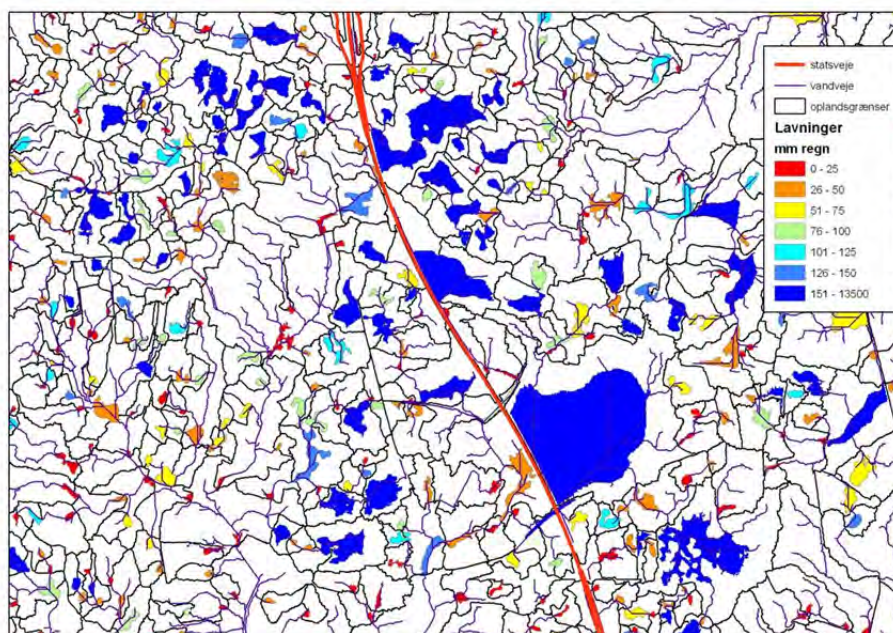
Figur 4.6 Lavninger beregnet uden huse (venstre) og med huse (højre).

Oplandsgrænser er beregnet til alle lavninger over 100 m³, se Figur 4.7. Ønskes større oplandsgrænser, kan vælges et større volumen eller en maksimal dybde i lavningen.



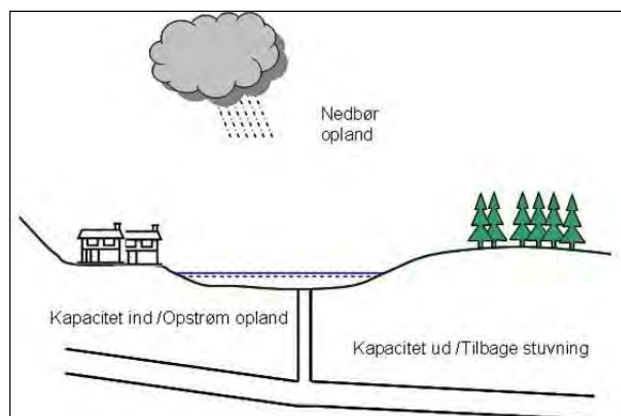
Figur 4.7 Bidragende arealer.

Arealet af oplandet kan sammen med befæstelsesgraden i oplandet anvendes til at beregne, hvor mange mm regn der skal til at fylde lavningen helt op, se Figur 4.8. Dette kan dog være misvisende, da en stor lavning godt kan være kritisk ved f.eks. halv fyldning.



Figur 4.8 Millimeter regn pr. lavning (Vejdirektoratet 2009).

En simpel beregning af oversvømmelsens omfang kan gennemføres ved at sammenholde geometrien i lavningerne med viden om kapaciteten i afløbssystemet. Niveau af oversvømmelser i mindre områder kan beregnes ud fra kendskab til kapaciteten i ledningsnettet ind i systemet og ud af systemet samt oplandets areal, jf. Figur 4.9.



Figur 4.9 Skitse af mindre system.

Som et tænkt eksempel ses på Figur 4.10 et opland på 4 ha. Kapaciteten i udløbsledningen er 80 l/s, og volumen i afløbssystemet er 43 m³. Ud fra observationer af vanddybden på vejen under forskellige kraftige regnhændelser er befæstelsesgraden kalibreret til 45%. Figuren viser effekten af en 76 mm regn, der falder på 120 minutter (svarende til en 100 årsregn). Bemærk, at det er antaget, at der ikke er tilbagestuvning fra det nedstrøms system. Det oversvømmede areal er 0,4 ha, og der går 2-3 timer, før der er plads til vandet i afløbssystemet.



Figur 4.10 Oversvømmet område er vist med blå.

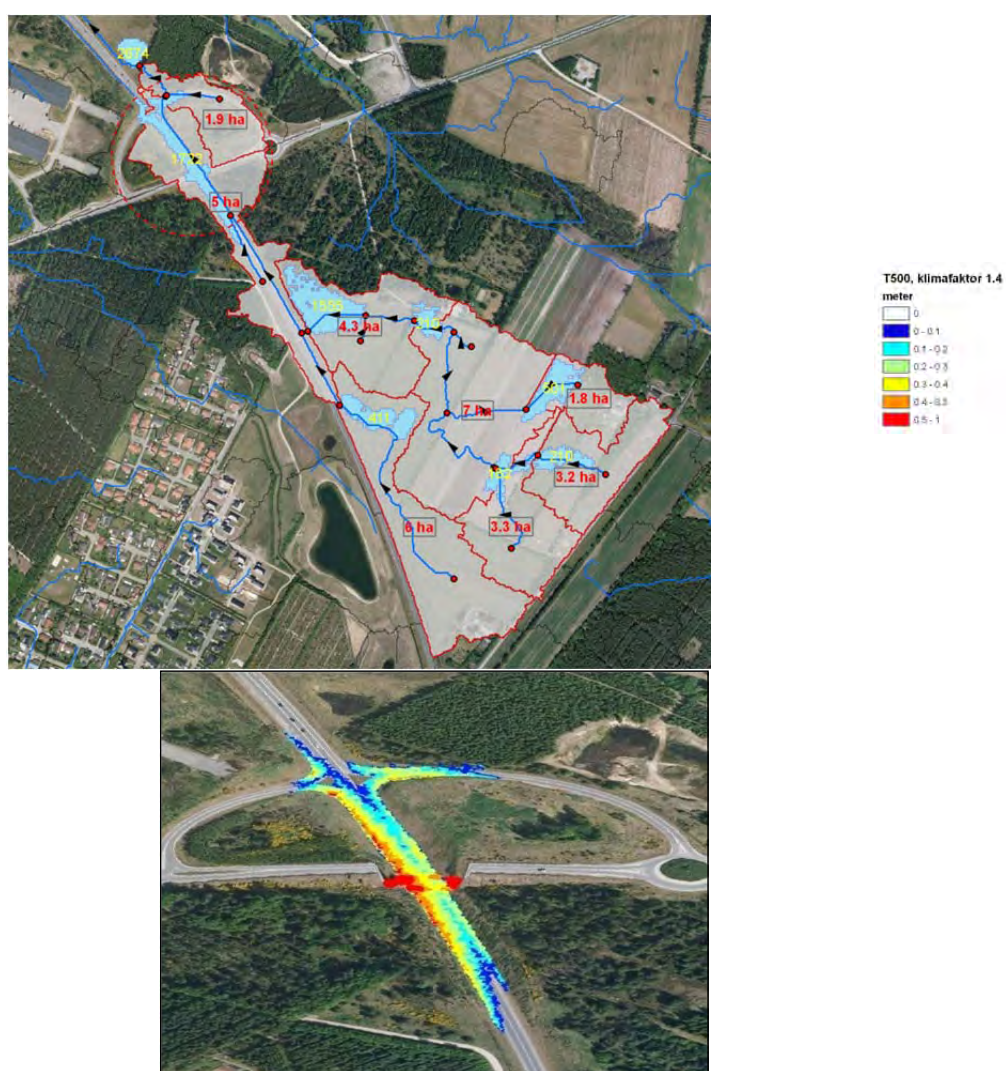
Data fra terrænanalysen kan endvidere anvendes til en beregning af gentagelsesperioder for maksimal vandstand i lavninger ud fra overfladeareal, befæstelsesgrad, volumenberegning og opstrøms bidrag, se afsnit 4.2.3 for yderligere informationer. Det vil sige, at der ses bort fra dynamikken i afløbssystemet og eventuelle tilbagestuvninger.

4.2.3 Hydraulisk overfladeberegning

Hulkortmetoden beregner udelukkende dybder i hullerne, udbredelsen af hullernes oplande og strømningssveje på overfladen. Via f.eks. fotoanalyse (Nielsen, 2010) og/eller GIS-analyse af grunddata kan overfladen suppleres med befæstelsesgrader, hvorefter der er basis for en egentlig hydraulisk overfladeberegning af oversvømmelser for aktuelle nedbørshændelser. Beregningerne kan gennemføres som 1D eller 2D overfladeberegninger (jf. afsnit 4.2.5 Kombineret hydrodynamisk afløbsmodel og overflademodel 1D-1D og 4.2.6 Kombineret hydrodynamisk afløbsmodel og overflademodel 1D-2D).

Beregningerne giver et godt estimat for forholdet mellem bidraget fra opland og hulvolumen, men tager ikke højde for bidrag fra og kapacitet i ledningsnettet. Generelt medfører dette, at oversvømmelser opstrøms ledningssystemet overestimeres, mens oversvømmelser nedstrøms i forhold til ledningsnettet kan underestimeres.

Et eksempel på en 1D overfladeberegning er vist i Figur 4.11. Strømninger på overflade er beskrevet ved hjælp af kanaler. Til højre er vist de beregnede maksimale vanddybder for en 500 års hændelse. Der er et oversvømmet areal under brodækket, som har større udstrækning end bredden af vejen herover. Dette skyldes, at selve brodækket er blevet fjernet i den oprindelige terrænmodel. Koterne under brodækket er derfor usikre, og det beregnede volumen og de beregnede vanddybder vil blive påvirket heraf. At der er mindre volumen til rådighed i virkeligheden, vil medføre en større udbredelse af oversvømmelsen.



Figur 4.11 Eksempel på en ren overfladeafstrømningsmodel. Udført for Vejdirektoratet i 2009.

Et eksempel på sammenligning mellem oversvømmelser, som er beregnet ved hjælp af hulkortet og en ren overfladeberegning er vist i Figur 4.12.



Figur 4.12 Eksempel på oversvømmelsesresultater ved hydraulisk overfladeberegning af 100 års regn (rød) sammenlignet med Hulmodel (grå).

4.2.4 Hydrodynamisk afløbsmodel 1D

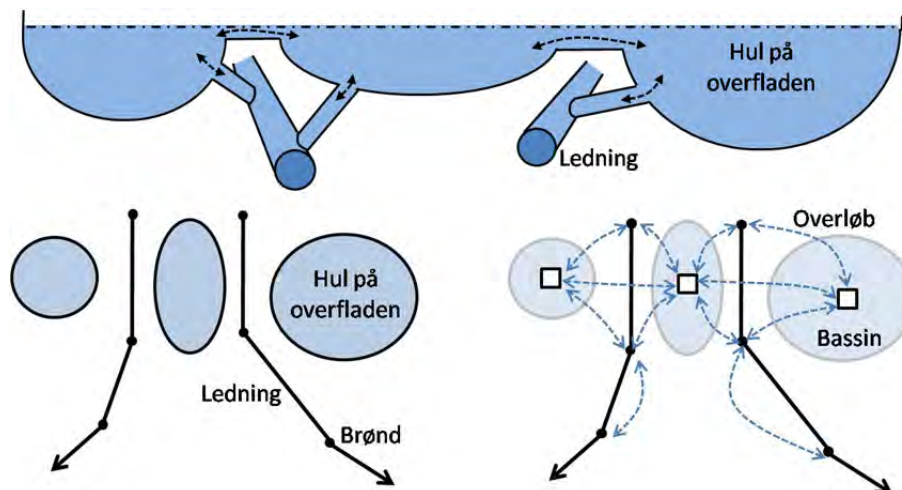
En hydrodynamisk afløbsmodel (1D) kan anvendes til at give et første overblik over, hvor vandet først kommer op på terræn. Dette kan kombineres med viden om, hvordan vandet løber på overfladen, og hvor vandet kan samle sig i fordybninger. Stiger vandet op flere steder i nærheden af et risikoområde udpeget f.eks. ved hulkortsanalysen, bør der foretages yderligere beregninger i dette område. Ved etablering af hydrodynamiske modeller bør der anvendes målinger i afstrømningssystemerne for at sikre, at modellerne i tilstrækkelig høj grad repræsenterer virkeligheden. Vandcenter Syd og Greve Forsyning har siden 2004 anvendt målere til bl.a. kalibrering og validering af modeller. I bilag F er Greves anvendelse af målere beskrevet.

4.2.5 Kombineret hydrodynamisk afløbsmodel og overflademodel 1D-1D

En hydraulisk afløbsmodel (MOUSE, MIKE URBAN, InfoWorks CS, SWMM eller tilsvarende) giver i sig selv en tilnærmet bestemmelse af, hvor vand vil stuve op på terræn, men den beskriver ikke flowet på overfladen og dermed heller ikke interaktionen mellem overflade og afløbssystem. Konsekvensen er, at en traditionel afløbsmodel er fejlbehæftet så snart der forekommer stuvning til terræn. Hvis der skal gennemføres pålidelige beregninger af stuvninger på terræn, skal overfladen implementeres i beregningsmodellen.

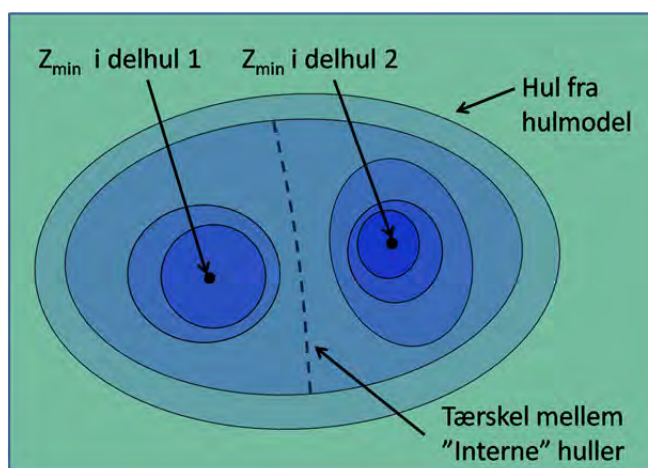
Ved digital analyse af en terrænmodel fremkommer et komplekst system af flowmønstre på overfladen. Yderligere analyser kan afdække, at overfladen simplificeret består af en række lavninger, kanaler og overløb svarende til de beregningsmetoder, der er implementeret i dynamiske 1D afløbsmodeller. En stor del af de skadevoldende urbane oversvømmelser i Danmark er forårsaget af vand, der samles i lavninger, hvorfra det først strømmer videre, når der igen er ledig kapacitet i afløbssystemet, eller når jorden har infiltreret vandet – eller hvis lavningen fyldes helt op, således at der genereres en overfladestrømning. Overfladen kan generelt beskrives som hydrauliske bassiner og overløb. I enkelte tilfælde bør der suppleres med render og kanaler.

På baggrund af den digitale analyse kan der genereres en 1-dimensionel overflade bestående af bassiner, overløb og eventuelt render, hvorefter overfladen implementeres direkte i den hydrauliske afløbsmodel uden brug af kobling mellem forskellige typer af hydrauliske modeller. Figur 4.14 viser principskitse af 1D-1D system.



Figur 4.13 Principskitse af 1D-1D kobling af afløbssystem og overflade.

Analyser af DTM data vil afsløre at huller og fordybninger på overfladen sjældent er pæne og regulære afsluttede enkelthuller. En fordybning, som i hulmodellen beregnes som *et* enkelt hul, består i virkeligheden af mange mindre delhuller. Figur 4.15 illustrerer et tænkt eksempel med to delhuller. Ofte vil et hul fra hulmodellen bestå af flere hundrede delhuller – afhængig af gridstørrelsen i DTM datagrundlaget.



Figur 4.14 Huller og delhuller. Afhængig af forskellene mellem tærskelniveau og minimumskoterne i hul 1 og hul 2 sammenlægges hullet til et hul, eller det bevares som to huller.

En metode til at genere en anvendelig model af overfladen er at gøre den så simpel som mulig uden for store tab af information. F.eks. kan der genereres en model bestående af bassiner, kanaler og overløb, hvor antallet af delhuller reduceres væsentligt. Der kan opstilles reduktionskriterier, f.eks. minimum tærskeldybde i et hul, minimum areal og/eller minimum volumen ved tærskel.

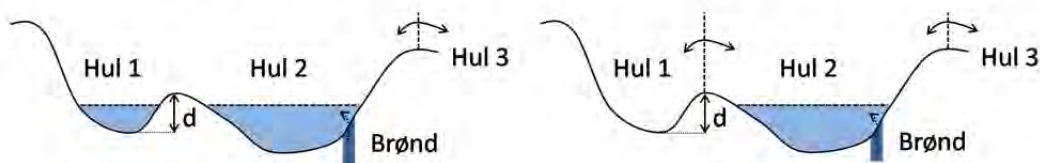
Hvis tærskelværdien for et delhul f.eks. er mindre end den valgte grænseværdi, lægges delhullet sammen med det tilstødende delhul. Konsekvensen af sammenlægning af delhuller kontra separation er illustreret på Figur 4.15 og 4.16. De valgte grænseværdier for tærskeldybder får størst betydning i de tilfælde, hvor vand primært tilføres det ene delhul, og hvor begge delhuller har et forholdsvis stort volumen under den fælles tærskel.

Case 1

Den valgte grænseværdi for tærskel dybden (d) er **større** end dybden af hul 1. Hul 1 og 2 regnes som **et** hul.

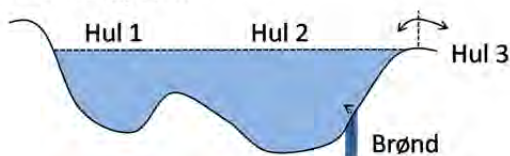
Case 2

Den valgte grænseværdi for tærskel dybden (d) er **mindre** end dybden af hul 1. Hul 1 og 2 regnes som **to** huller.

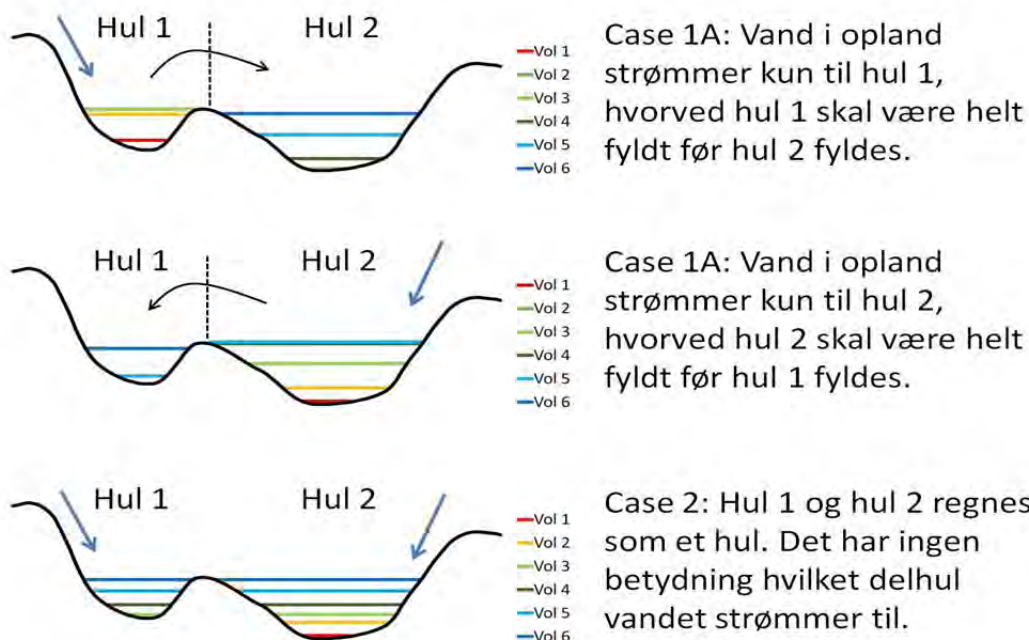


Case 1 og Case 2

Den valgte tærskelværdi har kun betydning så længe vandstanden er mindre end tærskel dybden.



Figur 4.15 Illustration af fyldning af huller.



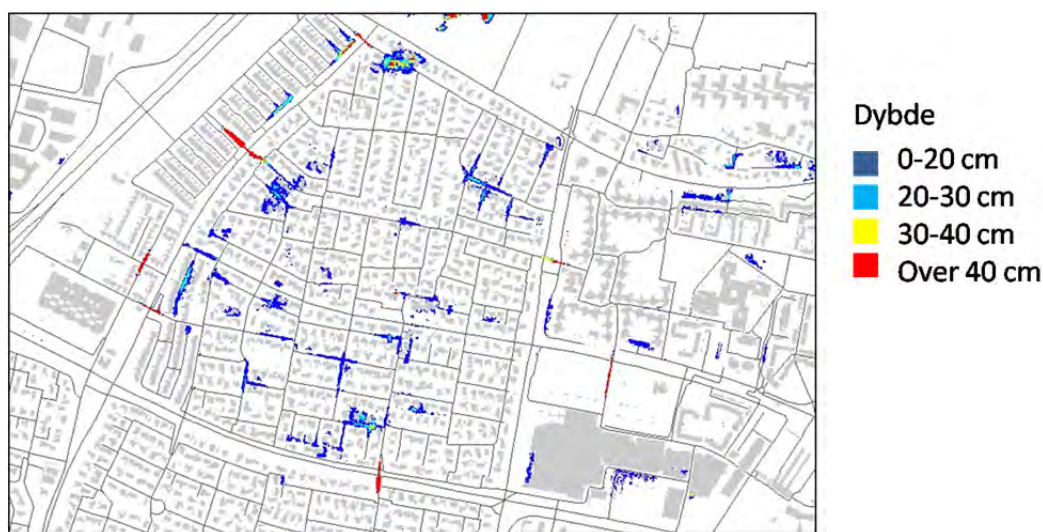
Figur 4.16 Kvantitativ illustration af fyldning af huller.

Når detaljeringsmetode og detaljeringsniveauet er fastlagt, kan overfladehullerne med tilhørende niveau-areal kurve og overløbskanter genereres via GIS-applikationer (Nielsen *et al.*, 2009 og Jensen *et al.*, 2010), hvorefter de kan importeres til en hydraulisk 1D afløbsmodel som bassiner og overløb.

Den mest korrekte og detaljerede model opnås ved lave grænseværdier for sammenlægning af delhuller, men ved en meget høj detaljeringsgrad øges kompleksiteten af 1D-1D modellen, og beregningstiden stiger væsentligt. Ønskes et meget højt detaljeringsniveau på overfladen, kan det være fordelagtigt at benytte en 2D-model til overfladeberegningerne (jf. afsnit 4.2.5).

Der er gennemført en række sensitivitsanalyser på detaljeringsgrad og randeffekter. Hovedkonklusionerne er, at detaljeringsgraden på resultatet er højere eller den samme som den valgte detaljeringsgrad på modellen. Fejlen forårsaget af detaljeringsgraden er størst i deloplande beliggende på skrånninger med stor opmagasineringskapacitet på selve skrånningen. I disse tilfælde negligeres selve skrånningens evne til at tilbageholde vand. Herudover overestimeres den hastighed, hvormed vandet strømmer på overfladen (fra brønde til bassiner og mellem bassiner) – med mindre strømningsveje indlægges som kanaler. Til gengæld er der fuld volumenbevarelse i systemet svarende til den valgte afløbsmodel og det valgte tidsskridt.

På baggrund af GIS-genererede overfladehuller og resultater fra 1D afløbsmodellen kan beregnede udbredelser og dybder plottes i GIS (Figur 4.17).



Figur 4.17 Eksempel på afbildning af oversvømmelsesresultater.

Med 1D-1D modelteknik er det muligt at gennemføre oversvømmelsesberegninger for modelområder af anseelig størrelse og med en rimelig beregningstid - uden at benytte delmodeller. Modelberegninger for bl.a. Odense og Greve er gennemført med 1D-1D modelteknikken. (jf. bilag B og E).

I Greve er metoden anvendt til kvalitetssikring af prioriteringen af klimatilpasningen (som beskrevet i kapitel 6) og anvendes som risikokort hos miljø- og planmyndighederne i deres arbejde.

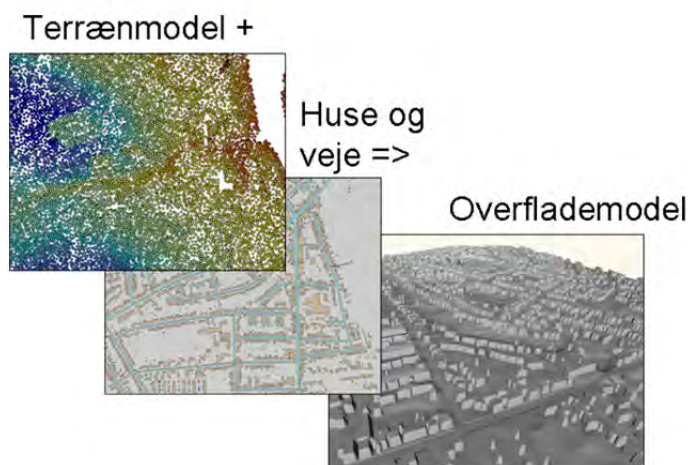
4.2.6 Kombineret hydrodynamisk afløbsmodel og overflademodel 1D-2D

Den hydrodynamiske afløbsmodel kan kombineres med en 2D hydrodynamisk beskrivelse af afstrømningen på overfladen, f. eks. MIKE FLOOD, (Mark *et al.*, 2006). I overflademodellen er det muligt at give en detaljeret beskrivelse af en ekstremregnsituation, hvor både dynamikken i afløbssystemet og på terrænoverfladen medtages. Der kræves en del terrændata af høj kvalitet for at få fuldt udbytte af detaljeringsgraden, og beregningstiden øges væsentligt. På nuværende tidspunkt er det ikke praktisk muligt med lange tidsserier af regnhændelser på grund af beregningstiden.

Fordelen ved en kombineret afløbs- og overflademodel er, at der er mulighed for stor præcision af dynamikken på terrænoverfladen under ekstremregn.

En kalibreret MOUSE/MIKE URBAN model kan kobles med en 2D beskrivelse af strømningen på terræn i MIKE FLOOD. Der kan vælges et mindre delområde, hvor de to modeller kobles, dvs. modellerne udveksler vand mellem rørsystem og terræn – dynamisk under beregningen. Af hensyn til beregningstiden er det vigtigt at vælge området med omhu. Hvis der er behov for en høj detaljeringsgrad på terræn, f.eks. bestående af grid ned til 1 x 1 m, er det en god idé at vælge et mindre område. En typisk gridstørrelse vil være 2-4 m.

Inddata til MIKE FLOOD består af højdemodeller, som enten kommer fra laserscanninger fra fly eller helikopter (også kendt som LIDAR - Light Detection and Ranging) eller fra xyz-koordinater for en terrænmodel samt GIS-baserede polygoner for huse og veje. En terrænmodel inkl. veje, huse, m.m. kan f.eks. købes hos en lokal dansk forhandler af sådanne data, eller terrænmodellen kan genereres ved at lægge temaer sammen, f.eks. hæves husene 4 m over terrænets niveau, og vej sænkes 20 cm. Processen er skitseret på Figur 4.18.



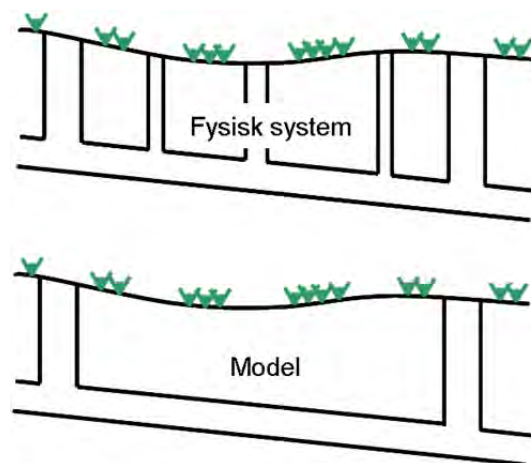
Figur 4.18 Overflademodellen kan genereres ud fra terrændata samt GIS-tema for huse og veje.

Afløbsmodellen og overflademodellen kobles kun i det område, der er beskrevet i overflademodellen og eventuelt kun i dele af området, se Figur 4.19.



Figur 4.19 Afløbssystem kobles med overflademodel.

Udvalgte brønde fra MOUSE/MIKE URBAN kobles til terrænmodellen. Det er væsentligt at overveje, hvilke brønde der skal kobles til overfladen, hvor og hvordan under hensyntagen til tætheden af stikledninger og nedløbsbrønde, samt i hvilke terrænniveauer de er placeret. I nogle tilfælde kan det være fordelagtigt at flytte koblingspunktet i overflademodellen til et gridpunkt med lavere niveau, eller der kan oprettes en kunstig ledning til kompensation for det volumen, som er i alle de stikledninger og nedløbsriste, der ikke er beskrevet i afløbsmodellen.



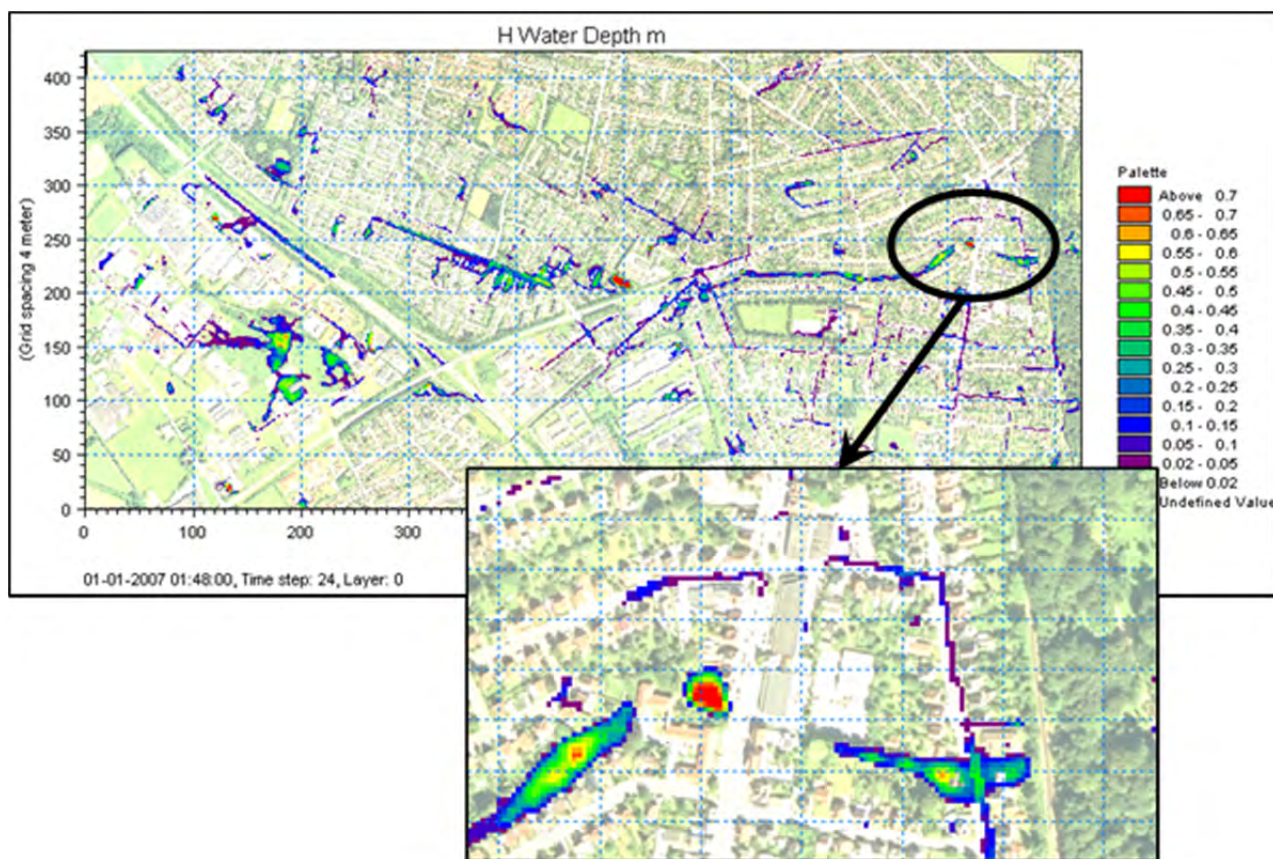
Figur 4.20 Skitse af fysisk system kontra model.

Der vil være en del usikkerhed om, hvordan vandet udveksles mellem de to modeller. Hvor hurtigt kan vandet komme op af riste og brønde i det valgte område, og hvor hurtigt kan det komme ned igen? Det kan selvfølgelig være en kalibreringsparameter, men som udgangspunkt må man antage, at det er begrænset, hvor stort et overtryk der kan være i systemet, før afløbsvandet står op af alle riste og brønde. Tilsvarende må det formodes, at vandet på overfladen strømmer ned i afløbssystemet, så snart der er plads.

Kalibreringsdata til overflademodellen kan f.eks. bestå af udbredelse af oversvømmelser i bestemte områder under en eller flere historiske regnhændelser, men ofte findes der meget få data. De vigtigste forhold ved en kalibrering er:

- Rekalibrering af afløbsmodellens befæstelsesgrader
- Mulige vandveje på overfladen. Huse og andet kan være blevet sammenføjet under konvertering til overfladens grid
- Er brønde koblet hensigtsmæssigt, og udveksles der den rigtige vandmængde mellem de to modeller?
- Modstande (Manningtallet) på overflade er i de fleste tilfælde af mindre betydning

Det er forholdsvis simpelt at opstille en koblet model, men beregningstiden er lang, og der kræves en mængde inddata af høj kvalitet. Figur 4.21 viser et eksempel på resultater fra en beregning med koblet model. Som baggrund er der anvendt et luftfoto.



Figur 4.21 Eksempel på beregningsresultater fra en koblet model.

4.3 Sammenligning af beregningsmetoder

Terrænmodel og hulkort giver en god beskrivelse af områder, hvor vand potentielt kan fanges i huller og fordybninger i terrænet. Analyser i GIS giver endvidere mulighed for beregninger af strømningslinjer på overfladen og udbredelsen af bidragende arealer (oplande til huller og fordybninger). Terrænmodel og hulkort er stærke værktøjer i forbindelse med indledende undersøgelser af oplande og indledende prioritering af indsatsområder. Metoderne er specielt velegnet i områder, hvor ledningsregistrering er ringe eller ikke eksisterende.

Analyserne på terrændata giver ingen information om påvirkning fra afløbssystemet, og derfor er det væsentligt at understrege, at resultaterne skal tages med forbehold. På baggrund af strømningslinjer og udbredelsen af bidragende arealer kan analysen karakterisere et område som lav-risiko zone uden hensyntagen til bidrag fra ledningerne i afløbssystemet. En GIS-analyse ville ikke have givet anledning til øget beredskab ved Greve Rådhus eller Ejersmindevej i Odense, idet de bidragende arealer har ringe udbredelse.



Figur 4.22 Terrænmodeller og hulkort giver en god oversigt over potentielle oversvømmelser og strømningsveje på overfladen.

Hydraulisk overfladeberegning af oversvømmelser for aktuelle nedbørshændelser kan gennemføres alene på baggrund af overfladen, men da der ikke tages højde for bidrag fra og kapacitet i ledningsnettet, er resultaterne fejlbehæftede.

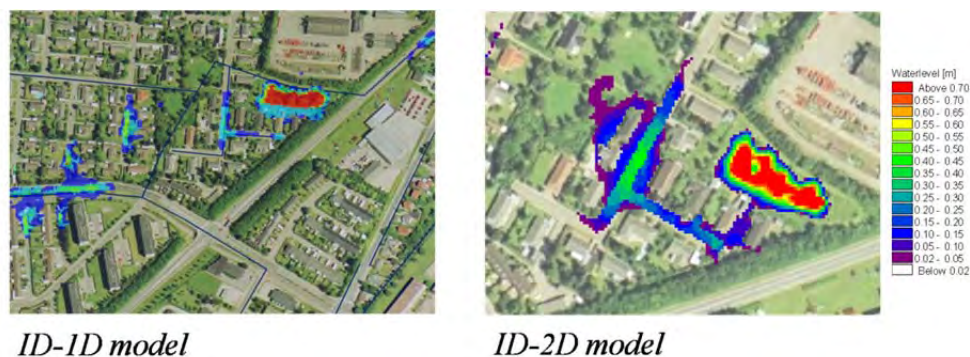


Figur 4.23 Sammenligning mellem resultater af hulkort (grå), hydraulisk overfladeberegning (rød) og kombineret hydrodynamisk afløbsmodel og overflademodel 1D-1D (gul). Blå er sammenfald mellem hydraulisk overfladeberegning og kombineret hydrodynamisk afløbsmodel og overflademodel.

Den traditionelle hydrodynamiske afløbsmodel giver et godt billede af, hvor vand i første omgang vil stuve op på terrænen, men den manglende beskrivelse af strømningerne på overfladen og interaktionen mellem overflade og afløbssystem mangler. Det er derfor kun muligt at give en sikker bestemmelse, af hvor intensive og hvor volumenrige regn-afløbssystemet har kapacitet til. Ved vand på terrænen bliver resultater fra modellen upålidelige.

Ved at kombinere data, metoder og modeller fra terrænmodel, hulkort og afløbsmodel opnås tilstrækkelig information og tilstrækkeligt højt beregningsniveau til beskrivelse af interaktionen mellem afløbssystem og overflade. Afhængig af formålet med beregningerne kan der vælges 1D eller 2D metode til beregning af overfladen.

Den 1-dimensionelle overfladebeskrivelse giver en operationel model med lav beregningstid og stor stabilitet. Til gengæld er der risiko for, at oversvømmelseshastigheden overestimeres – især for områder med lange strømningsveje med svag hældning. Den 2-dimensionelle overfladebeskrivelse øger beregningstiden væsentligt, men beregner hastigheden på overfladen, hvilket giver en mere korrekt oversvømmelsesdynamik. For begge modeltyper gælder det, at høj detaljeringsgrad af overfladen reducerer fejlkilder, men samtidig øges beregningstiden. For 1D beregning af overfladestrømningen styres detaljeringsgraden af antal huller, mens 2D overfladen styres af cellestørrelsen. Resultaterne for de to overflademodeller er sammenlignelige (Nielsen *et al.*, 2009), men i områder, hvor strømningstiden på overfladen er stor (lange strækninger med lav hældning), bør 2D overfladebeskrivelsen overvejes. Alternativt bør der i 1D beskrivelsen medtages kanaler til beskrivelse af strømninger på overfladen.

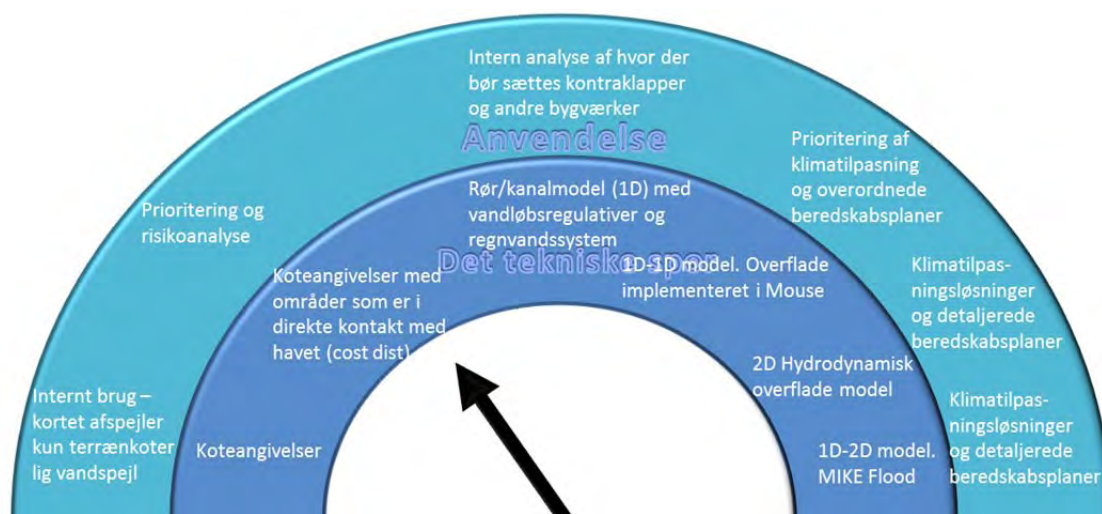


Figur 4.24 Resultater fra modeller med henholdsvis 1D og 2D overfladebeskrivelser.

5 OVERSVØMMELSE FRA HAV

Oversvømmelse fra hav er karakteriseret ved, at høje vandstande i havet resulterer i, at havvandet løber ind og oversvømmer landområder, som normalt ikke står under vand. Sådanne oversvømmelser kan enten forekomme ved, at vandet løber på terræn eller ved, at havvandet løber ind via åer eller afløbssystemer.

Som ved analyser af oversvømmelser fra regnvandssystemer, findes der flere metoder til beregning af oversvømmelse fra havet. Disse metoder går fra simple GIS-analyser til anvendelse af komplekse hydrauliske computermodeller. Metoderne er beskrevet her i kapitlet og illustreret i Figur 5.1.



Figur 5.1 Illustration af modelværktøj, og hvad de forskellige modelleringsniveauer kan anvendes til.

5.1 Beregningsmetoder

Metoderne til analyse af risikoen for oversvømmelse fra hav inkluderer:

- *"Vandstandskoteangivelser"*: GIS-analyse, der kun anvender en digital terrænmodel til at identificere oversvømmede arealer. Metoden benytter vandstand i havet samt terrænkoter. Metoden viser kun, hvor der potentielt kan komme vand på terræn, hvis der var forbindelse til kysten
- *"Vandstandskoteangivelser over områder som er i forbindelse til havet" (i GIS kaldet "Cost distance")*: GIS-analyser, hvor digers og barrierers indflydelse på oversvømmelsen tages med i betragtningen. Ved denne analyse bør der foreligge en kvalitetssikret højdemodel
- *1D - MOUSE/MIKE URBAN beregning*, hvor kun ledninger og eventuelle vandløb simuleres ved at øge havvandstanden. Beregningen viser potentielle udbredelser af oversvømmelser fra havet via regnvandssystemet og eventuelle vandløb, dog kun punktvis

- 1D-1D fordybninger i terrænmodellen implementeres i Mouse-modellen, som er opbygget med det komplette afstrømningssystem (vandløb og regnvand/fælles-system). Vandet fra havet routes via afstrømningssystem og terræn via Mousebassin og ledninger. Modellen giver ikke strømhastigheder på terræn. En detaljeret beskrivelse af metoden findes i afsnit 4.2.5.
- *2D Hydrodynamisk modellering af strømningen på terræn:* En 2D hydrodynamisk model anvendes til at simulere vandets strømning fra hav og ind over land. Routingen af vand følger terrænets koter
- *1D-2D Hydrodynamisk modellering af strømningen på terræn kombineret med en hydrodynamisk model af afløbssystemet:* Metoden anvender en 2D hydrodynamisk model til at simulere vandets strømning fra hav og ind over land. Routingen af vand følger terrænets koter. Samtidig beregnes vandets strømning i en model af afløbssystemet og lavtliggende områder, og det kan beregnes, om områder, som står i forbindelse med åbninger i afløbssystemet, kan blive oversvømmede

Terrænmodel

Terrænmodellen er en digitaliseret topografi af modelområdet. Denne model kan enten blot beskrive topografien i form af højdekurver (kaldet en digital terrænmodel), eller terrænmodellen kan også inkludere bygværker i form af diger, huse, mure, m.m. En terrænmodel, som inkluderer diger, huse, mure, m.m., kaldes en højdemodel.

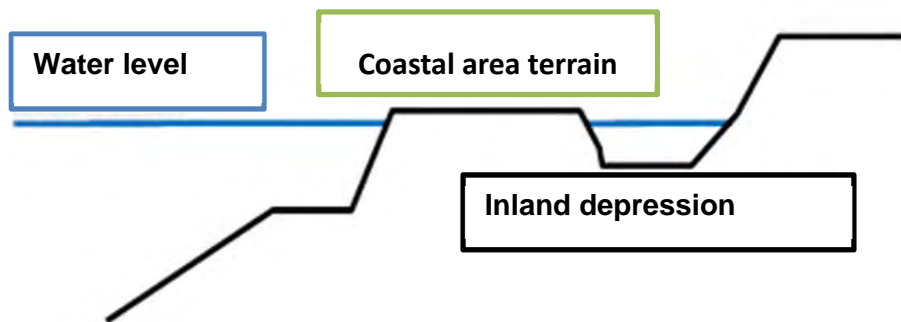
Når man skal vælge terrænmodel, skal man vurdere, hvilke forhold i modelområdet, der kan påvirke vandstrømningerne på terræn. Fysiske strukturer (diger, huse, m.m.), som signifikant påvirker vandets strømning, skal medtages i terrænmodellen. Information om huse kan eventuelt genereres på baggrund af GIS-lag med information om beliggenhed af bygninger. Denne information er ofte tilgængelig i kommunen. En terrænmodel med beskrivelser af huse, veje og andre vigtige bygværker kan typisk købes hos en dataleverandør.

5.1.1 Vandstandskoteangivelser

En GIS-analyse vil let kunne fortælle, hvor i kommunen en given vandstand kan få effekt, hvis det antages, at vandet kan trænge ind over land og fylde op til den givne vandstandskote.

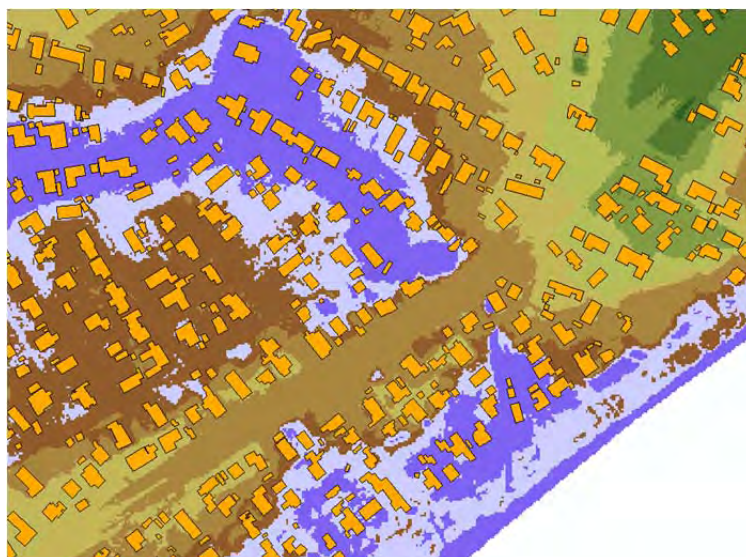
Dvs. oversvømmelseskortet findes ved, at den lokale vanddybde på terræn beregnes som forskellen mellem vandstanden i havet og den lokale terrænkote. Dvs. alle områder i terrænmodellen, som ligger lavere end vandstanden i havet, vil blive oversvømmede, også selvom de ikke står i forbindelse med havet. Det gøres i praksis ved at sætte signaturen for vandstand til blå ind til den kote, der ønskes visualiseret (f.eks. 2 m vandstand). Resultater fra denne metode er naturligvis behæftet med stor usikkerhed idet det i metoden antages, at også områder, der ikke har direkte kontakt med havet, oversvømmes. Vil man anvende en metode, hvor kun områder, der har direkte kontakt til havet (via terrænet) medtages i analysen, kan man f.eks. anvende værktøjet "Cost Distance" i ESRI's programpakke.

Den beskrevne metode er mest anvendelig for kystnære områder med stor hældning på terræn, således at kun områder tæt på kysten oversvømmes. Begrænsninger i metoden er, at fysiske processer ignoreres, f.eks. tiden det tager vandet at strømme på terræn. Metoden giver det maksimale oversvømmelsesbillede og er specielt god til hurtige screeninger af, hvilke områder der er i farezonen for oversvømmelser.



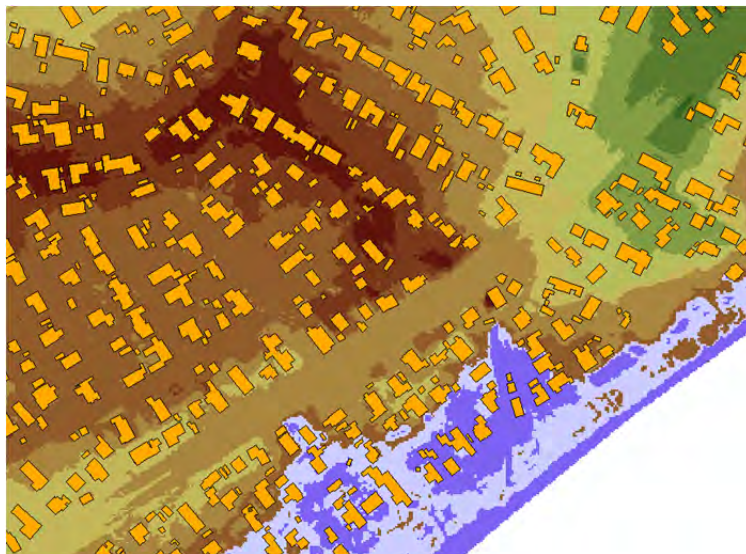
Figur 5.2 Illustration af kote-kort metoden ved anvendelse af GIS-analyser.

I det følgende eksempel er der vist et oversvømmelseskort for en maksimal vandstand i havet på 2.24 m. Den digitale terrænmodel af området har en netstørrelse på 1.6 x 1.6 m. Den beregnede oversvømmelse er vist i Figur 5.3. Kortet viser oversvømmelser langs kysten og i de bagved liggende lavere områder.



Figur 5.3 Oversvømmelseskort baseret på kote-kort metoden – en ren GIS-analyse.

Hvis det antages, at kun de områder, som står i direkte kontakt med havet oversvømmes, reduceres oversvømmelsen signifikant, som vist i Figur 5.4.



Figur 5.4 Oversvømmelseskort baseret på Cost Distance metoden (se nedenfor) – en GIS-analyse. Kun arealer, som står i direkte kontakt med havet, antages at blive oversvømmet.

5.1.2 Vandstandskoteangivelser som er i forbindelse med havet

Det er mere relevant at analysere, hvilke områder der er direkte i kontakt med havet og derfor oversvømmes. Cost Distance funktionen analyserer ved definition af en kilde (altså hvorfra vandet kommer), hvilke områder der vil blive påvirket direkte fra kilden (havet) ved brug af oplysningerne i højdemodellen (DTM). På dette trin skal man være særligt opmærksom på, at vand kun routes ind i områder, hvor DTM'en definerer, at der er hul fra hav til land. Begrænsninger i den eksisterende DTM definition er f.eks. hvor:

1. vandløb ikke er brede nok til at være opløst i DTM'en (hvis vandløbet er 1 m bredt og DTM opløsningen er 1,6 x 1,6 m), hvilket potentielt giver mindre oversvømmelser i modellen end i virkeligheden.
2. vandløbsunderføringer ikke er åbnet (f.eks. under veje eller små broer), hvilket potentielt giver mindre oversvømmelser i modellen end i virkeligheden.
3. diger ikke er repræsenteret, fordi DTM'en er udarbejdet, før et dige er etableret (hvilket giver kunstig oversvømmelse i byen).
4. broer er fjernet i DTM og derved giver et kunstigt "hul" ind til byen (f.eks. hvis der er et bygværk under en bro, som lukker ved højvande. Det giver DTM ikke nødvendigvis information om, og der vil ske kunstige oversvømmelser af byen).
5. regnvandssystemer og fælleskloakerede systemer med overløb til hav ikke er med i DTM'en. Dette er tilfældet overalt, idet DTM'en ikke har oplysninger om systemer under overfladen. Denne begrænsning giver potentielt mindre oversvømmelser i modellen end i virkeligheden, med mindre der kan regnes med, at der er kontraklapper på alle ledninger og bygværker.

Endelig skal det bemærkes, at DTM'en kun viser overfladens højde og naturligvis ingen information om, hvorvidt de diger som er opløst i modellen, kan holde til det tryk, som vandet giver. Rundt om Danmark er der mange strandklitter, som oppefra ser ud som diger, men som kan vise sig at blive skyllet væk ved stormflod.

Dynamikken i systemet (energitab i vandløb) og varigheden af vandstanden er ikke med i denne analyse, men må vurderes ud fra andre kriterier.

Implementeres DTM'en, med hensyntagen til punkt 1-5, er Cost Distance metoden et stærkt værktøj til at vise worst case oversvømmelse af byer i forbindelse med høj vandstand i havet. Dynamikken i systemet (herunder energitab i vandløb) og varigheden af vandstanden er fortsat ikke med, men kan vurderes ved at analysere varighederne af stormflod og skønne betydningen af denne ved brug af en gennemsnitlig vandhastighed (f.eks. 0,25 m/s). Hvis f.eks. distancen fra havet til et lavtliggende område er lille, får varigheden mindre betydning, end hvis distancen er lang.

For at sikre, at der er tale om en "worst case" betragtning, er det naturligvis afgørende, at DTM'en er kvalitetssikret. I Figur 5.5 er vist et eksempel på en Cost Distance beregning med og uden korrekt opløsning af et vandløb, Som det fremgår viser metoden ikke "worst case" oversvømmelser (øverst) før vandløbet bliver åbnet (nederst). Som det fremgår af figuren er det nødvendigt, at det sikres, at alle terrænforhold som vandløb, diger, broer og underføringer er repræsenteret i DTM'en.

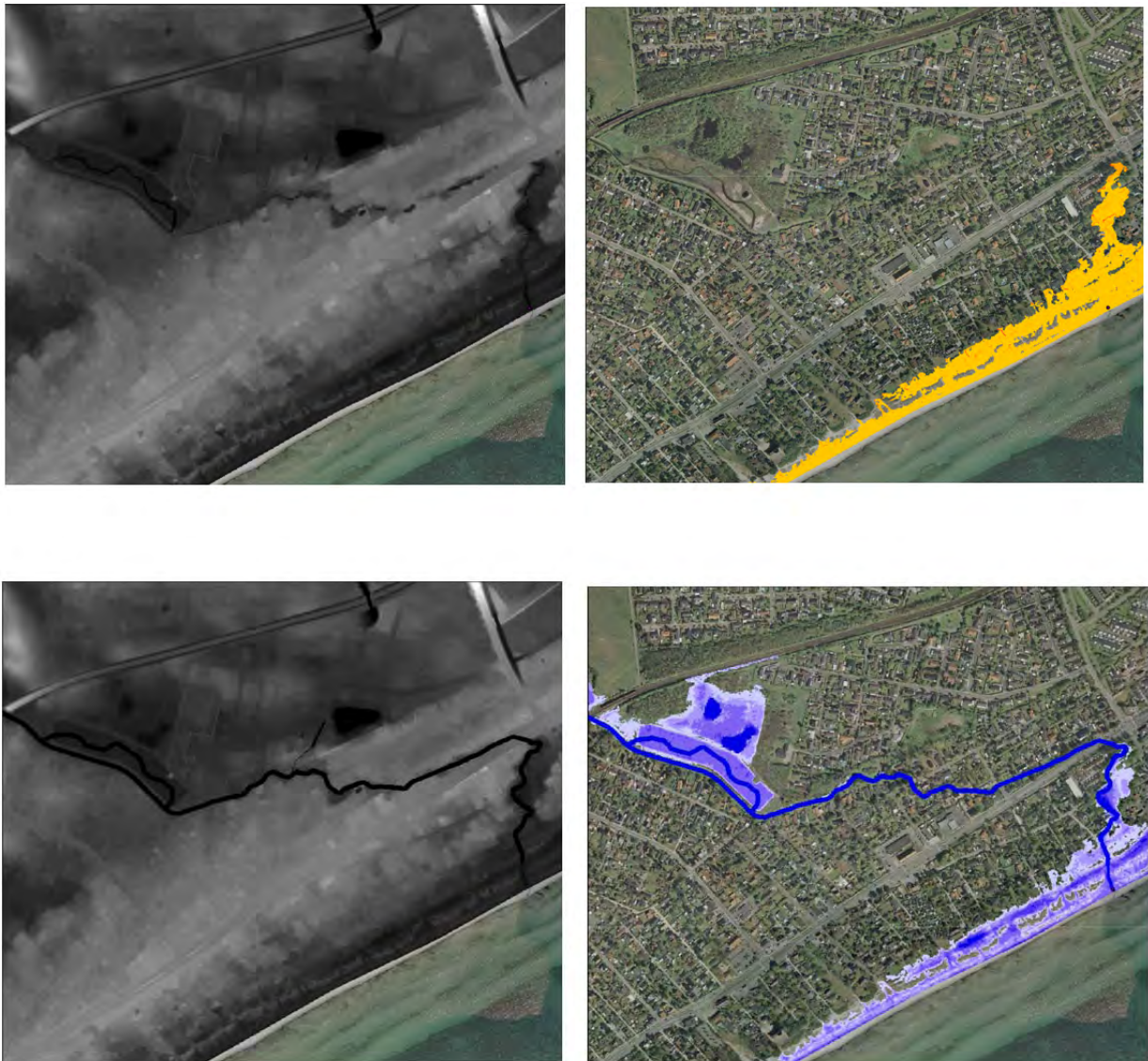
Denne metode tager ikke højde for, at regnvands- og spildevandsledninger kan være med til at transportere vand ind i byen. En hurtig screening hvor denne effekt medtages, kan foretages ved at åbne terrænmodellen, der hvor ledninger ligger i jorden. Hvis man foretager denne analyse, er det meget vigtigt at være kritisk over for resultatet, da vandet kun vil entre terrænet, hvis der er brønde på ledningerne.

5.1.3 1D-afstrømningssystemer

Beregning af oversvømmelser i byen som skyldes at afstrømningssystemerne transporter vand ind i byen ved høj vandstand i havet, kan gennemføres med 1D hydrodynamiske modeller. Modellen afvikles med havvandstanden som randbetingelse i udløbene af modellen. Resultatet er alene et billede af hvilke brønde der potentielt kan oversvømme byen.

5.1.4 1D-1D-kombineret hydrodynamisk model

Ved brug af metoden som er beskrevet i afsnit 4.2.5 kan der gennemføres beregninger af oversvømmelsesrisikoen fra havet, ved at sætte havvandstanden på som udløbsrandbetingelse.



Figur 5.5 Illustration af en oversvømmelsesberegning med Cost Distance metoden på henholdsvis en ikke kvalitetssikret DTM (øverst) og en kvalitetssikret DTM (nederst), hvor vandløb, diger, broer og underføringer er repræsenteret (analyser og beregninger er kun gennemført for at illustrere metoden).

5.1.5 2D-Hydrodynamisk beregning af terrænoversvømmelser

Denne metode anvender en 2D hydrodynamisk model af vandets strømning på terræn og beskriver ved påføring af en havvandstand på randen, den fysiske strømning af vand fra hav ind over land. Metoden bidrager i forhold til "Cost distance" metoden til at give hastigheden på overfladen under oversvømmelser. Denne fysiskbaserede metode beskriver i detaljer strømmingen og tidsforsinkelsen, når vandet løber gennem lavtliggende områder med en kompleks geometri.

Input til den hydrodynamiske beregning af oversvømmelser

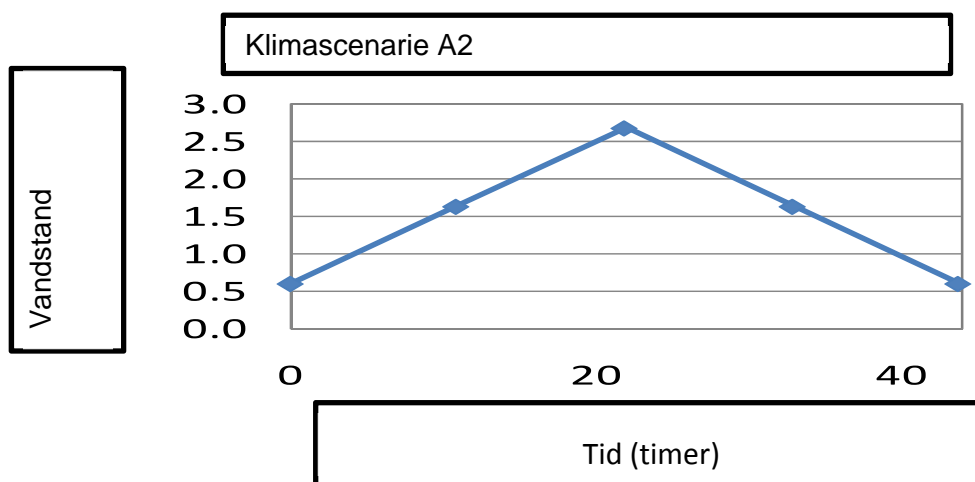
Beskrivelsen af strømmingen på terræn bygger på input i form af en digital terrænmodel, som beskriver topografien i modelområdet. Havspejlet i havet er randbetingelsen, som definerer variationen af vandstanden og den følgende potentielle oversvømmelse.

Når modelområdet defineres, skal det sikres, at områdets koter i baglandet er større end den maksimalt forventede vandstand i havet. Hertil kommer, at eventuelle åer, diger, m.m. skal være beskrevet i terrænmodellen for at sikre korrekte beskrivelser af strømmingen omkring/over/gennem disse.



Figur 5.6 Modelområde, når den forventede maksimale vandstand er 3,0 m.

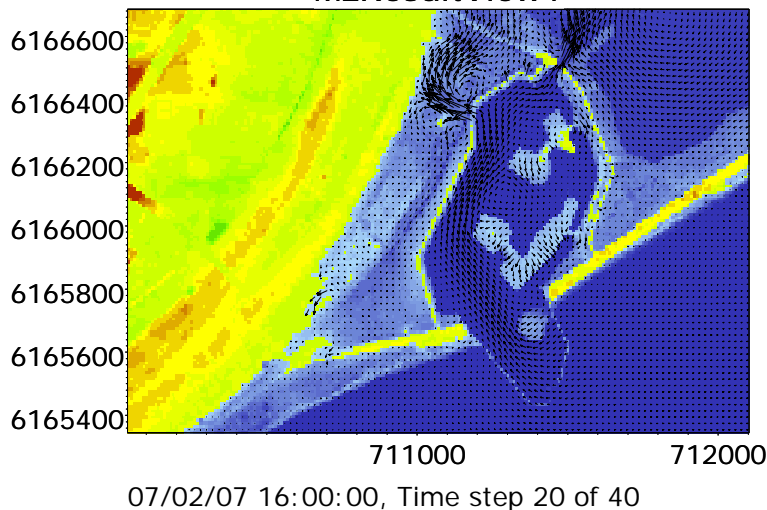
Det er muligt at beregne effekten i form af oversvømmelser fra tidsvarierende vandstande i havet.



Figur 5.7 Illustration af en tidsvarierende vandstand i havet – som input til en oversvømmelsesberegning.

Resultater fra beregningerne er tidslige, dynamiske variationer af vanddybder på terræn – sammen med oversvømmede arealer. Hertil kommer, at information om strømnings-hastigheder kan plottes, f.eks. til en analyse af kraftpåvirkninger fra vandet.

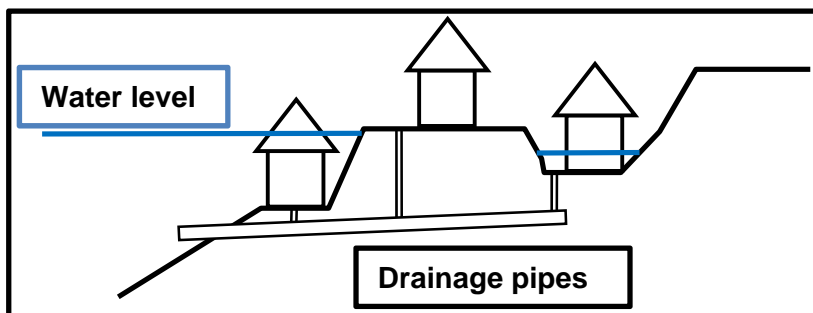
Metoden medtager ikke vandløb og rørsystemers transport af vand i, til og fra byen.



Figur 5.8 Eksempel på modelresultater, som viser vanddybder og strømningshastigheder.

5.1.6 1D-2D Hydrodynamisk modellering af strømmingen på terræn kombineret med en hydrodynamisk model af afløbssystemet

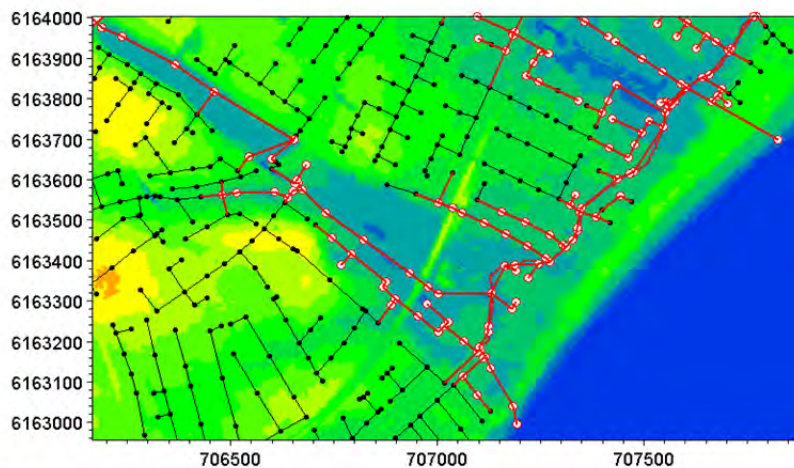
En model, som beskriver oversvømmelser fra hav, kan kombineres med en model af afløbssystemet. Denne kombination gør det muligt at beskrive vandstrømningen på terræn samtidig med en beskrivelse af havvandets strømning ind i baglandet gennem afløbssystemet. Dvs. en sammenkobling af en afløbsmodel (f.eks.. MOUSE/MIKE URBAN) og en 2D afstrømningsmodel (f.eks. MIKE21). Det er vigtigt at beskrive rørsystemet, hvis det ligger i et område, hvor terrænet indlands er lavere end vandstanden ved kysten. Fordelen ved denne modelanvendelse er, at man får kortlagt områder med oversvømmelsesrisiko, som fejlagtigt ellers antages for risikofri.



Figur 5.9 Illustration af elementerne i en beregning med en afløbsmodel i kombination med en model, som beskriver oversvømmelse fra hav.

En 2D model, som beskriver vandets strømning på terræn, bygges som beskrevet ovenfor, og den kan kobles dynamisk til en kalibreret afløbsmodel. Koblingen af de to modeller kan reduceres til de steder hvor afløbssystemet potentielt kan bidrage til oversvømmelser på terræn. Dvs. områder, som ligger signifikant højere end den forventede maksimale vandstand i havet, behøver ikke at kobles mellem de to modeller.

Detaljeringsniveauet i afløbsmodellen kan reduceres de steder, der ligger langt fra potentielt oversvømmede områder. Mindre afløbsmodeller med færre koblinger til 2D strømningssmodellen vil reducere beregningstiden.



Figur 5.10 Kun udvalgte områder af afløbsmodellen (vist med rødt) er koblet til 2D strømningssmodellen. Dette sker for at optimere beregningstiden.

En tidsserie med variationen af vandstanden i havet anvendes som randbetingelse til beregningen. Modelkomplekset kan belastes med en regn, således at den kombinerede effekt af højvande i havet sammenfaldende med en regnhændelse kan analyseres.

Resultater

Resultater fra beregningerne er tidslige, dynamiske variationer af vanddybder på terræn sammen med oversvømmede arealer. Hertil kommer information om strømningshastigheder, f.eks. til en analyse af kraftpåvirkninger fra vandet samt information om vandføring og vandstande i afløbssystemet.

6 KLIMATILPASNING AF BYOMRÅDER

I dette kapitel beskrives selve klimatilpasningen af byområder fra prioriteringen af indsatsen ved hjælp af risikovurderinger over de konkrete løsninger for at opnå serviceniveauet til udarbejdelsen og indholdet i beredskabsplanerne.

6.1 Risikoanalyse

6.1.1 Skadesvurdering ved hjælp af en risikoanalyse

Vurdering af risiko for skader i et 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 fra ekstremregn er der også risici ved den almindelige drift af afløbssystemer.

Ved systematisk at gennemgå, hvordan afløbssystemet fungerer under forskellige forhold, både under ekstremregn og under driftsforstyrrelser, og ved at vægte de forskellige driftsforstyrrelser efter den betydning, de tillægges, kan der opstilles en egentlig risikoanalyse af systemet. En simplere risikoanalyse alene for oversvømmelser på grund af ekstremregn, 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.

Traditionelt inddeles skader, som er opstået på grund af opstuvet vand på terræn, i tre kategorier:

- Direkte skader – typisk materielle skader forårsaget af vand eller strømmende vand
- Indirekte skader – f.eks. trafikulykker på grund af akvaplaning, trafikforstyrrelser, administrative omkostninger, arbejdsomkostninger, produktionstab, etc.
- Sociale omkostninger – negative langtidseffekter af mere psykologisk karakter, såsom reduktion af værdi af fast ejendom i områder, som udsættes for oversvømmelser og langsommere økonomisk vækst

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. En metode til at finde omkostningerne relateret til oversvømmelser i bymæssige bebyggelser er at indsamle information om dokumenterede oversvømmelser fra forsikringselskaber, som det f.eks. er gjort i Norge (König *et al.*, 2002), Danmark (DANVA, 2005) eller Brasilien (Nascimento *et al.*, 2005). En international anerkendt teknik til at opgøre skader er "Flood Damage Curves", der beskriver skadens størrelse som funktion af arealanvendelse og vandstand, jf. Speight, 2006 og Nascimento *et al.*, 2005. P.t. eksisterer der ikke "Flood Damage Curves" for områder i Danmark.

Det anbefales, at følgende indgår i en vurdering af skader i forbindelse med oversvømmelser:

- At det i videst mulig udstrækning undgås, at befolkningen bringes i kontakt med en blanding af spildevand og regnvand på terræn som følge af overfyldte fælles afløbssystemer

- At vitale samfundsfunktioner, f.eks. elforsyning, vandforsyning, varmforsyning, vitale kommunikationsknodepunkter og adgangsveje til hospitaler ikke sættes ud af funktion på grund af vand på terræn
- At antallet af berørte kældre og bygninger minimeres
- At antallet af oversvømmede el-skabe og andre installationer minimeres
- At trafikgener minimeres

6.1.2 Risikoanalysen

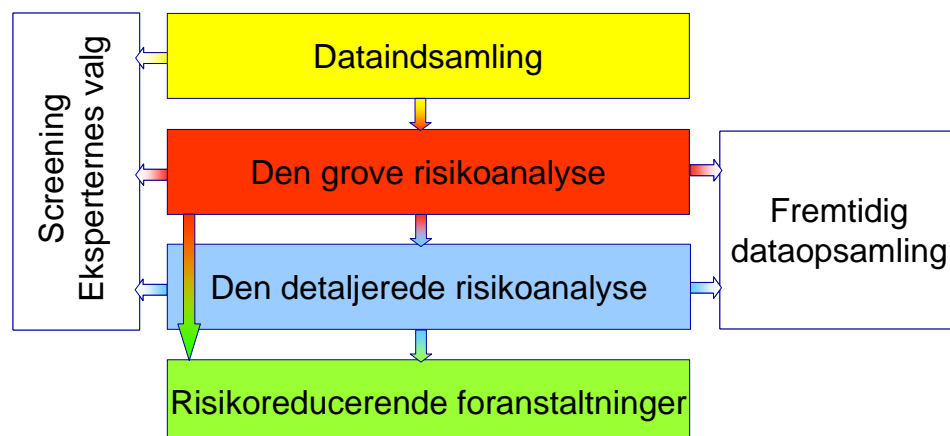
Definition af risikobegrebet

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

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

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

Fremgangsmåden i en risikoanalyse er illustreret i Figur 6.1.



Figur 6.1 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 at 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 syv 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 størrelsesordenen af en given hændelse, der skal benyttes. Frekvensmatricen er vist på Figur 6.2.

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 6.2 Den opbyggede frekvensmatrice.

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 og 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.

Konsekvensmatricen kan beskrive forskellige konsekvensklasser gående fra ingen/negligibel konsekvens til katastrofal konsekvens, der beskrives kvalitativt såvel som kvantitativt.

Ud fra den opbyggede frekvensmatrice og konsekvensmatrice er det muligt at konstruere en risikomatrice, som sammenholder forskellige risici. Den opbyggede risikomatrice er vist i Figur 6.3.

RISIKOMATRICE		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
1 - 10	6	6	7	8	9	10	11
0,1 - 1	5	5	6	7	8	9	10
0,01 - 0,1	4	4	5	6	7	8	9
0,001 - 0,01	3	3	4	5	6	7	8
0,0001 - 0,001	2	2	3	4	5	6	7
0,00001 - 0,0001	1	1	2	3	4	5	6

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

Figur 6.3 Risikomatrice. I matricen er eksempler på 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 tolerabel eller ej. Et risikoniveau over 6 eller 7 skal medføre implementering af tiltag, der kan reducere risikoniveauet. Jf. Figur 6.3 bør der altså identificeres risikoreducerende foranstaltninger for de to hændelser i det ikke-tolerable område (angivet ved cirkel nr. 4 og cirkel nr. 13 i Figur 6.3).

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 analyse giver grundlag for at vurdere risikoniveauet for hele 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-benefit-analyse.

6.1.3 Risikoanalyse for oversvømmelser fra ekstrem regn

I en risikoanalyse for oversvømmelser alene fra ekstremregn kan der tages udgangspunkt i oversvømmelseskort, jf. kapitel 4. Resultaterne af simuleringer med regn med høje gentagelsesperioder kan plottes med GIS-temaer eller luftfotos. Herved identificeres problemområder. For de enkelte områder skal der på den baggrund tages stilling til, om oversvømmelserne er et problem, og om der kan forekomme materielle skader.

Vurderingen skal bl.a. ske gennem overvejelse af følgende:

- Hvis en park eller boldbane oversvømmes for en given gentagelsesperiode, er det acceptabelt? Oversvømmes det med vand fra separatsystemet eller fællessystemet, og hvor lang tid går der, før området kan tages i brug igen, og er en oprydning nødvendig?

- Hvor højt skal vandet stå i boligområder, før kældre oversvømmes via nedgange, eller før der sker skader på stueetage eller skade på el-skabe eller på parkerede biler, osv.?
- Hvor meget stiger antallet af de forskellige skader ved klimaændringer? Er der risiko for flere skader i forbindelse med byudvikling, og hvordan influerer planlagte udbygninger af afløbssystemet på oversvømmelser? Kan der opstå problemer andre steder?
- Hvor stor usikkerhed er der på modelresultaterne? Hvor godt er modellen kalibreret, og er der indregnet en sikkerhedsfaktor? Er det rimeligt at tolke resultaterne direkte, eller bør der lægges en usikkerhedsfaktor ind i resultaterne?
- Opgørelse af skader

Priser på skader varierer en del afhængigt af, hvad der er skadet, om der allerede er foretaget afskrivning af det skadede, genanskaffelsesværdi m.m. Hertil kommer, at udgifter afhænger af, om der er tale om regnvand eller spildevand, og hvor i landet området er beliggende. Det er derfor meget svært at sige noget generelt om skaders omkostning. Dvs. der kan ikke umiddelbart opstilles en generel liste, som præcist beskriver omkostninger for oversvømmelse af el-skabe, kældre, huse m.m. Det anbefales derfor først at opgøre antallet af skader fordelt på typer og derefter at prissætte skaderne.

For at opgøre tabet ved oversvømmelser er det hensigtsmæssigt at have en geografisk oversigt over, hvilke værdier der er beliggende hvor der kan ske oversvømmelser. Typisk findes der i kommunerne opgørelser over, hvor bygningerne i kommunen er placeret, og i BBR er der forskellige detailoplysninger, f.eks. om en bygning har kælder. Sammenligningsgrundlaget etableres f.eks. ved, at bygningstemaet og BBR-oplysningerne kombineres. Offentlige bygninger som f.eks. institutioner vil ofte have en højere værdi end et parcelhus, hvorfor det kan være relevant at have specificeret, hvilke bygninger der er institutioner, og det kan være relevant at have større detaljeringsgrad, så det vides, om der er tale om en børnehave eller et plejehjem.

Gader og veje vil nogle steder transportere vand under regnhændelser, hvor afløbssystemets kapacitet overskrides. Det er i disse situationer vigtigt at kende estimater på vanddybder, vandhastigheder og have viden om, hvor vandet flytter sig hen. Bemærk i øvrigt, at veje oftest er designet til at bortlede regnvand hurtigt og effektivt, dvs. at når der forekommer signifikante mængder vand på veje, er det muligvis i konflikt med det oprindelige design af vejen. Viser en analyse, at en vej under fremtidige klimaforhold vil blive oversvømmet ofte, bør det hensigtsmæssige i dette forhold afklares med vejmyndigheden. Eventuelt kan vejens konstruktion tilpasses. I forbindelse med skadesvurderinger af veje er det relevant at undersøge kriterierne for driften: hvor meget vand på vejen tillader myndigheden, før vejen lukkes? Og at undersøge vejens beskaffenhed, så det kan fastslås, hvor meget vand der skal til, for at vejkanterne ødelægges, og hvor længe oversvømmelsen skal vare, før der sker skader. Der findes eksempler på, at man regner med, at 40 cm er skadesvoldende, men det kan variere.

Værdisætning

Følgende parametre kan anvendes ved værdisætning af oversvømmelserne:

- Boliger
- Vuggestuer
- Børnehaver
- Aldersintegrerede institutioner
- Plejehjem og beskyttede boliger
- Vandforsyning – oversvømmelse af selve vandværkets bygninger, eventuelt med forurening af rent vand til følge
- Vandboringer, hvor der kan ske forurening af boringen
- Tankstationer hvor der kan være risiko for, at vandet kan løbe ned i tankene, så benzinen løber ud (Servicestationer med kiosksalg, Autoservice i øvrigt)
- Områder med oplag af olie og farligt affald tæt på recipienter
- Virksomheder med olie- og benzinudskillere koblet til spildevandssystemet og regnvandssystemet. Her vil olie/benzinen enten flyde op inde i en bygning eller udenfor. (Der vil løbe ca. 50-100 l ud fra hver udskiller)
- Specielt for spildevandssystemer:
 - Forebygge, at pumpestationer med spildevand løber over – det kan i nogle tilfælde være aktuelt i separerede systemer
 - Forebygge, at svømmehaller ikke bliver forurenede med spildevand.

Opgørelsen af skader afhænger naturligvis i høj grad af, hvad der findes af værdi i de forskellige områder. Det er derfor vigtigt, at de, som har størst kendskab til det område, der undersøges, tages med på råd, når opgørelserne over værdier skal planlægges. I nogle tilfælde vil GIS-medarbejdere have et godt overblik over de informationer, der findes. Grænserne for, hvad der kan illustreres og beregnes ud fra GIS, afhænger primært af, hvilke informationer der er til rådighed. Herunder vises et par eksempler til inspiration.

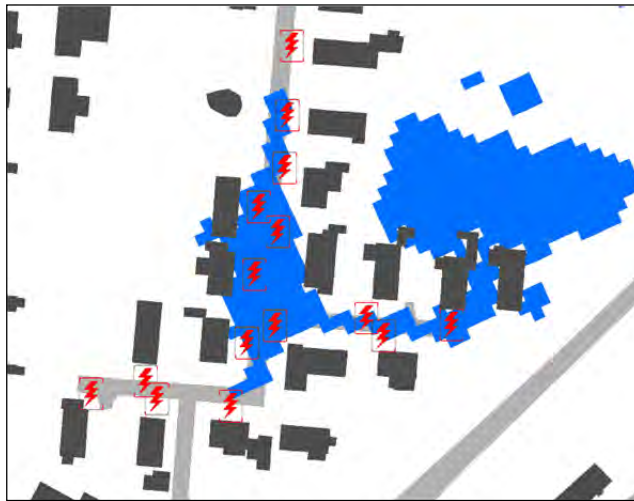
Figur 6.4 viser et tema over, hvilke huse der oversvømmes ved hvilke gentagelsesperioder. GIS-laget for beregnede oversvømmelser er kædet sammen med GIS-laget for huse under hensyntagen til sokkelniveau.

På Figur 6.5 er el-skabe illustreret sammen med oversvømmelser over 40 cm, hvorved skabe kan kortlægges og optælles.

Figur 6.6 og Figur 6.7 viser særlige bygninger plottet sammen med henholdsvis oversvømmelsernes udbredelse og dybde. I eksemplet er skoler, børnehaver og servicestationer vist. Denne type GIS-illustration viser, hvor der kan opstå problemer af sundheds- eller miljømæssig art.



Figur 6.4 Eksempel på GIS-tema over huse der oversvømmes ved forskellige gentagelsesperioder.



Figur 6.5 Eksempel på GIS-tema over el-skabe, der beskadiges. Placering af el-skabe er afbilledet sammen med vandstande over 40 cm.



Figur 6.6 Eksempel på GIS-tema over særlige bygninger. Oversvømmelsens udbredelse er afbilledet sammen med placering af skoler og børnehaver samt tankstationer.



Figur 6.7 Eksempel på GIS-tema over særlige bygninger. Oversvømmelsens niveau er afbilledet sammen med placering af skoler og børnehaver samt tankstationer.

For værdisætning vedrørende en ny vejkasse skal bemærkes:

- at den varierer efter tykkelse mv.
- dyrest er asfaltbærelagene, som ligger ovenpå, og som det alt andet lige vil være nødvendigt at fjerne og deponere forinden etablering af ny vejkasse – efterfulgt af en ny asfaltbelægning
- i dele af vejassen vil der være ledningsanlæg, og udgifterne forbundet med håndtering heraf samt eventuelle reparationer grundet beskadigelser som følge af vejkasseudskiftningen er umulige at estimere. Worst case = meget dyrere end vejkasse og asfaltudskiftningen

6.2 Prioritering af indsatsen imod oversvømmelser og klimatilpasning

Som det fremgår, kan risikoanalysen danne grundlag for at prioritere indsatsen mod oversvømmelser og klimatilpasningen, men i mange tilfælde vil det ikke være nødvendigt at gennemføre den fulde risikoanalyse for at komme i gang.

Analysen af klimatilpasning kan gennemføres på mange forskellige niveauer (som beskrevet i indledningen til afsnit 4). Disse analysemetoder kan naturligvis anvendes til forskellige grader af prioritering: prioritering af etablering af grundlag for at komme i gang, prioritering af hvor skal der opstilles modeller, prioritering af måleprogrammer, prioritering af konkret klimatilpasning i form af anlæg, prioritering af beredskabstiltag osv.

I forbindelse med den konkrete klimatilpasning bliver det nødvendigt at gennemføre prioriteringer af såvel økonomi som tekniske tiltag, hvilket i høj grad er politiske beslutninger, men de politiske beslutninger skal naturligvis tages på et solidt teknisk grundlag.

Prioriteringer kan gennemføres på vurderinger af risici for oversvømmelser, men kan naturligvis også gennemføres baseret på økonomiske vurderinger: hvor får man størst reduktion i oversvømmelsesrisikoen eller mest klimatilpasning for pengene? De to hænger langt hen ad vejen sammen.

Prioritering af klimatilpasning kan indpasses på klimametre som endnu et spor, der afspejler, hvilken prioritering man kan gennemføre på de forskellige tekniske niveauer. F.eks. vil det være muligt at prioritere, hvor man skal ledningsregistrere, hvis det ikke foreligger på grundlag af et relativt enkelt hulkort eventuelt kombineret med en skønnet hydraulisk model, jf. afsnit 4.2.

I Greve Kommune er det politisk besluttet, at hele byens afstrømningssystem skal opgraderes, således at vandstanden i systemerne kun 1 gang hvert 10. år når terræn. På baggrund af erfaringer fra oversvømmelserne i juli 2007 og et sårbarhedskort udarbejdet ved hjælp af det såkaldte kvalitetssikrede hulkort er hele kommunen opdelt i 42 byområder og klimatilpasningen prioriteret over de næste 12-15 år.

Prioriteringen er gennemført ud fra deisen: de, som har været hårdest ramt, skal klimatilpasses først. En fremgangsmåde som er politisk vedtaget.

6.2.1 Prioritering af Greve Kommunes byområder

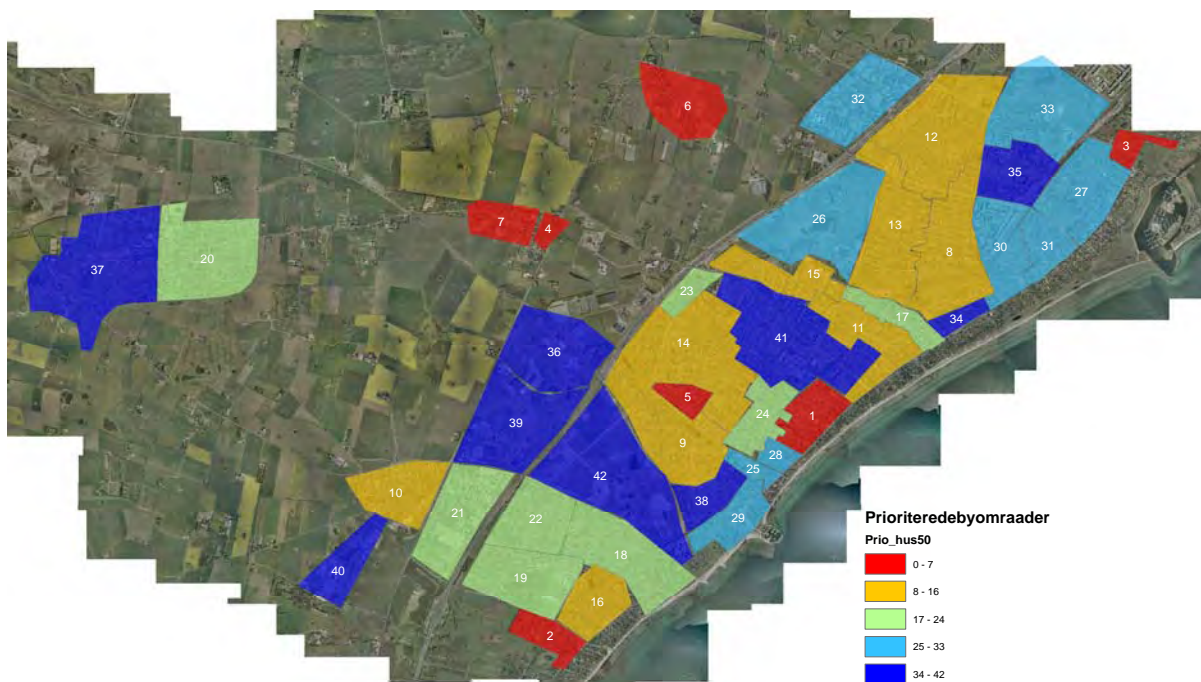
Det er valgt at opdele byområder, således at de stort set følger opdelingen af regnvandsoplandene. Sådan sikres det, at der kan gennemføres hensigtsmæssige hydrauliske analyser ved klimatilpasningen af afstrømningssystemet.

Til prioriteringen anvendes:

- Erfaringer fra oversvømmelserne i juli 2007, som er oplyst direkte fra borgere eller grundejerforeninger. Der var også oversvømmelser i 2002, men da denne nedbør var ulige fordelt over kommunen med ekstrem nedbør i den centrale del af kommunen er data svære at anvende, og oplysninger fra dengang udelades derfor
- Digitaliseringen af regnvandssystemet.
- Den digitale terrænmodel for Greve Kommune, som er anvendt til at beregne dybden af huller i terrænoverfladen, kaldet "Hulkortet"
- GIS-temaer over bygninger i kommunen samt tema for erhverv og offentlige bygninger

6.2.2 Beskrivelse af metoden for prioriteringen i Greve

Byområderne rangordnes ved hjælp af erfaringerne fra oversvømmelsen 2007.



Figur 6.8 Prioriteringen af byområderne. Område nr. 1 er det første område, der klimatilpasses. Derefter kommer nr. 2, osv.

For at give et indtryk af oversvømmelsesrisici for erhverv og offentlige bygninger er antallet af disse, som er beliggende i hullerne, angivet for hvert byområde men endte med ikke at indgå i den politiske beslutning om prioriteringen af klimatilpasningen.

6.2.3 Kvalitetssikring af prioriteringen

De hydrauliske modeller vil blive udviklet og forbedret gennem måleprogrammer og erfaringer. Hvis disse modeller viser, at der er grund til at prioritere anderledes, end det er gjort her, vil det blive præsenteret politisk, og administrationen vil give en indstilling til en omprioritering.

Økonomiske aspekter kan tilsvarende give anledning til, at det kan vise sig nødvendigt at omprioritere, f.eks. hvis det viser sig, at et relativt let og billigt tiltag vil have stor positiv effekt på klimatilpasningen (som det f.eks. er gjort med etableringen af en udløbspumpe på et hovedudløb eller etablering af terrænreguleringer).

En tilsvarende prioritering, hvor antallet af berørte ejendomme undersøges, gennemføres p.t. ved hjælp af 1D-1D overfladeberegninger som beskrevet i afsnit 4.2.5. Efter den hydrauliske beregning tælles huse m.m. indenfor de oversvømmede områder, og en prioritering gennemføres og sammenlignes med den første prioritering.

6.3 Muligheder for tilpasning af afløbssystemer

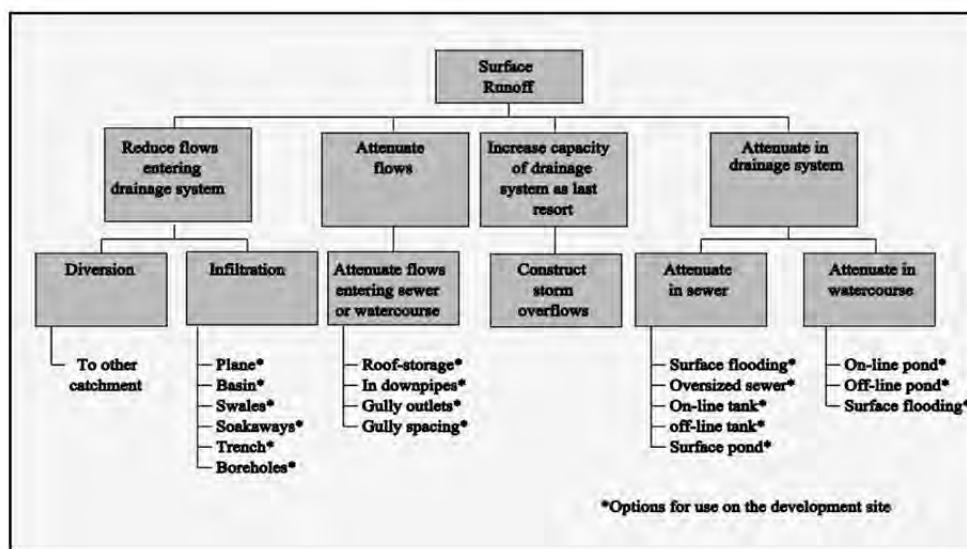
De forventede større nedbørsmængder i byerne skal enten kunne bortledes eller magasineres for at undgå oversvømmelser. Eventuelt kan en del af vandet nedsive lokalt, så det ikke ledes til afløbssystemet. Der findes en lang række tekniske muligheder til at løse dette. Der kan f.eks. nedlægges større eller supplerende rør, og der kan bygges bassiner til magasinering. Der gives eksempler på disse indgrebsmuligheder nedenfor.

Hovedgrupperne af indgrebsmuligheder er:

- Aktiv reducere af tilstrømning af regnvand til afløbssystemet, f.eks. gennem forøget nedsivning af regnvand
- Midlertidig, kontrolleret opmagasinering af regnvand, f.eks. ved brug af vådområder
- Tiltag i afløbssystemet, som forøger kapaciteten, f.eks. større rør, bassiner, m.m.

6.3.1 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. Der findes tre typer løsninger: at undgå, at den forøgede vandmængde ledes til afløbssystemet; at forøge bortledningen i afløbssystemet 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 eventuelt spildevand til renseanlæg. Opmagasineringsanlæg kan enten være traditionelle bassiner som betonkasser eller rørbassiner, eller det kan være søer og vandhuller. Ud over de fysiske forhold i oplandet, renseanlæggets kapacitet og recipienttilstanden, 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 6.9 ses en oversigt over mulige metoder til regulering af regnvandsafstrømningen i et afløbssystem.



Figur 6.9 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.

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 der etableres nedsivning af overfladevand/vejvand.

6.3.2 Nedsivning af regnvand

Hvor det er geologisk og hydrologisk muligt kan der vælges løsninger, hvor vandet infiltreres på hver enkelt ejendom, eller der kan laves samlede løsninger for mindre byområder. Vejevand 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 ikke forurenede regnvand, da det i stor udstrækning svarer til den naturlige måde og kun medfører begrænsede indgreb i det naturlige vandkredsløb. Anlæg bør indrettes, således at der er nødoverløb fra infiltrationsanlæggene til det offentlige regnvandssystem. Herved reduceres risikoen for oversvømmelser, og størrelsen af nedsivningsanlæggene begrænses. Dette har dog den uheldige konsekvens, at under kraftig regn kan faskinerne blive fyldt op, og derefter afledes regnafstrømningen ret uforsinket og uujævnet til afløbssystemet, som 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, og for ekstremregn er det derfor ikke sikkert, at oversvømmelser reduceres betydeligt. Hvorimod faskiner kan reducere årsafstrømningen betragteligt og øge grundvandsdannelsen.

Kombination af infiltration og magasinering

Infiltrationsanlæg for regnvand vil som nævnt normalt have en begrænset kapacitet, således at der vil skulle opmagasinere 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.

6.3.3 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 forurenede, 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.

Separering gennemføres en del steder i mindre bysamfund, men sjældent i de gamle bykerner, hvor behovet ofte er størst. Der er derfor behov for andre løsninger på problemerne disse steder. Der findes ikke i dag nogen universalløsning på disse cityproblemer.

6.3.4 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. 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.

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. på grund af pladmangel 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.

6.3.5 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, 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 i det mindste 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.

6.3.6 Bassiner

Mange steder, hvor man vælger at neddrogse den videreførende ledningskapacitet, 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 renseanlæg 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 beregning med historiske regn 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 af tilladelig vandspejlsvariation samt f.eks. af krav om grænser for opholdstiden i bassinet. Opholdstiden må ikke være for kort, da det giver for ringe stoftilbageholdelse, og den må ikke være for lang, da det kan give for stor algevækst i bassinet. Denne type bassiner kan i øvrigt anbefales, fordi de ofte er meget fleksible over for øgede tilstrømninger bl.a., fordi overbelastninger på grund af bassinernes placering ikke giver anledning til store skader eller gener.

6.3.7 Lokal magasinering

Overalt, hvor der er mulighed for det, vil det være godt med magasinering af regnvandet i ekstrem-situationer. 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 neddrogling 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 ekstrem regn der ligger ud over serviceniveauet.

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.

6.3.8 Styling og regulering af afløbssystemet

Afløbssystemer dimensioneres til at kunne klare dimensioneringsregn og derved opfylde funktionskravene. Da regn tit falder ujævnt over et opland, og bassinkapaciteten i ledningssystemet ofte er varierende, kan der være gode muligheder for at forbedre udnyttelsen af et afløbssystem ved at indføre dynamisk styling 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 styling undersøges og måske indføres. I forbindelse med udbygning af systemer kan det være relevant at undersøge, om styling 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.

6.3.9 **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 gadeprofilen 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 og i situationer, hvor den dimensionsgivende regn er overskredet (dvs. i beredskabssituationer).

6.3.10 **Tiltag på privat ejendom**

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. 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.

Betragtes en parcel med et relativt lille befæstet areal på 150m² svarer det til, at grundejeren skal kunne tilbageholde og bortskaffe 7,5 m³ regnvand i en 5 års situation (nedbør lig 50mm), hvis der ikke er tilslutning af regnvand til kloakken. Denne mængde svarer til 30 regnvandstønder eller et bassin på grunden på 5mx5m og er 30 cm dybt. Håndteres denne mængde og falder der mere regn end dette skal hver grundejer have en plan for hvordan det ekstra vand skal håndteres for at undgå oversvømmelser på egen eller andres grunde.

Håndtering af regnvand på egen grund uden afløb til det fælles afstrømningssystem, kan derfor primært anbefales af miljøhensyn og af hensyn til grundvandsdannelse. Ses der på den hydrauliske balance er disse anlæg ikke løsningen, men et supplement til klimatilpasningen.

Det anbefales ikke at basere en klimatilpasning alene på indsatser fra private grundejere af mange grunde. Alene det, at det ikke er muligt at styre hvornår borgerne er klar til at koble sig fra regnvandssystemet er grund nok til ikke at basere sig på denne metode set ud fra et hydraulisk synspunkt.

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. Faskiner udføres ofte i en størrelse svarende til 20-30 mm regn, men der er ikke sikkerhed for, at hele denne kapacitet er til rådighed ved regnens start.

Anvendes f.eks. græsarmeringsten eller tilsvarende belægninger på P-pladser, m.m., kan en stor del af regnen nedsives på stedet afhængigt af jordtypen. Men ved intens regn vil vandet løbe på overfladen og skal ledes til et afløbssystem.

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. Volumen, der kan opsamles, er dog ofte yderst begrænset, 200-500 l ses ofte, og dette er kun en beskedent andel af volumen 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 m³ til sådanne anlæg, og det beregnes, at en ganske stor del af årsnedbøren kan bruges i boligen til WC-skyl og vaskemaskiner. Ved ekstrem regn er det nødvendigt med overløb til andre afledningsformer idet en 5 års hændelse alene som minimum kræver 7,5 m³ for et almindeligt parcel hus. 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. Magasineringsvevnen af vækstlaget er imidlertid begrænset, 6-10 mm, så som ovenfor, er effekten under ekstremregn beskedent. På årsbasis kan der derimod opnås ganske god effekt i form af reduceret tilstrømning til afløbssystemer.

Grønne tage kan derfor kun anbefales af hensyn til æstetiske forhold og har meget begrænset effekt på det hydrauliske system i situationer med regn.

Som det fremgår af de omtalte eksempler på tiltag på privat grund, er det 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.

Privates forebyggelse af kælderoversvømmelse

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

Administrative tiltag overfor privat ejendom

Der er mulighed for i betalingsvedtægten, at kommunen tilbyder, at private 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.

6.3.11 **Afvanding af vejarealer**

Afvandingen af vejarealer fungerer de fleste steder meget effektivt. Dette er også målet fra vejmyndighedernes side, idet vand på kørebane udgør en fare for trafikken, og 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.

6.3.12 **Eksempler på lokal håndtering af regnvand**

I det følgende vises eksempler og illustrationer på lokal håndtering af regnvand.

Det skønnes, at vand i bymiljøet vil medvirke til at øge den rekreative værdi. Opbevaring af vand i bymiljøet vil i mange tilfælde kræve en landskabsmæssig udformning, som involverer grønne områder, og derved opnås positive sidegevinster som køligere bymiljøer om sommeren, større herlighedsværdi.

Projekter i Odense og København har vist, at løsning med nedsivning sandsynligvis ikke er tilstrækkelig både på grund af grundvandsstigninger og plads til etablering. Det vil være nødvendigt med yderligere tiltag som opmagasinering af regnvand i terrænet, og til dette formål er modellering nødvendig. I Odense er etableret en beredskabsløsning til håndtering af regnvandet ved Idrætsparken.



Figur 6.10 *Aflastningskanal til reduktion af oversvømmelser ved Idrætsparken i Odense, etableret i 2008.*

Baggrunden for etablering af kanalen var beregninger med overflademodellen, så både størrelsen og placering førte til den ønskede effekt. Kanalen har efterfølgende været i funktion ved flere regnskyl og har fungeret efter hensigten. Der har ikke siden den blev etableret, været skader på bygninger mv. Det er hensigten, at afløbssystemet skal udbygges, og der skal etableres alternativ regnvandshåndtering i området, således at kanalen i højere grad bliver en del af afstrømningsløsningen, der kun kommer i funktion for regn med en gentagelsesperiode på ca. 10 år og derover.

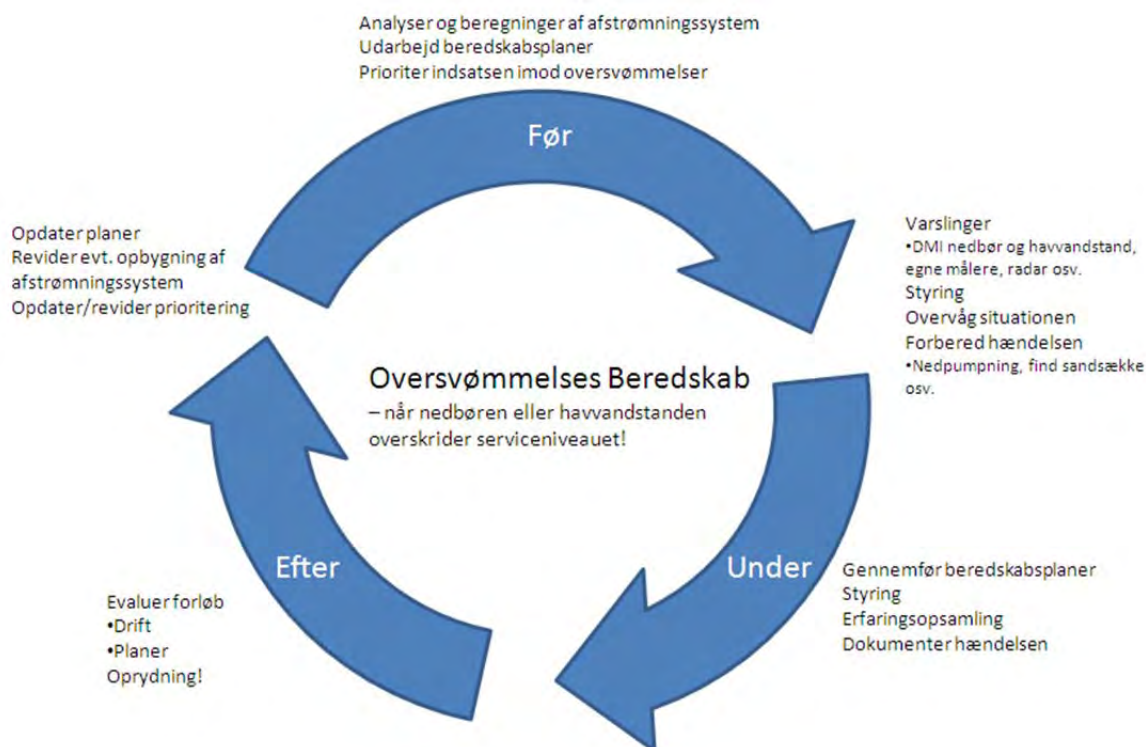
6.4 Oversvømmelsesberedskab

Kommunerne fastsætter det serviceniveau, som de vil tilbyde borgerne, men under forhold, der er mere ekstreme end det fastlagte serviceniveau, kan oversvømmelser ikke undgås. Det er derimod muligt at minimere skader og gener ved etablering af et beredskab, men der skal træffes en række valg af, hvor meget man vil sætte ind, og den økonomiske indsats skal afvejes (jf. afsnit 6.1 Risikoanalyse).

Beredskab omfatter en lang række tiltag og analyser, der kan beskytte værdier og personer mod skader forårsaget af vand. I beredskabsplaner bør der naturligvis også være oplyst vigtige telefonnumre og andre vigtige administrative oplysninger, men i nærværende rapport er det udelukkende de hydrauliske aspekter ved beredskab, der vil blive diskuteret.

Beredskab kan opdeles i før, under og efter, idet situationen for beredskab skal undersøges og planlægges, **før** den opstår, der skal handles **under** situationen, og der kommer et efterspil **efter** situationen, hvor erfaringerne skal evalueres og eventuelt indbygges i nye planer.

På 6.11 er vist mulige elementer i oversvømmelsesberedskabet.



Figur 6.11 Illustration af et oversvømmelsesberedskab.

I de følgende afsnit er oversvømmelsesberedskabet uddybet.

6.4.1 Før nedbørshændelsen

Etablering af beredskabsplaner eventuelt i forbindelse med klimatilpasning

Alle kommuner skal – som en del af det generelle civile beredskab – have en beredskabsplan. Der er dog i dag ingen krav om, at der skal laves en specifik beredskabsplan for drift af afløbssystemer og renseanlæg. En del kommuner har dog lavet sådanne planer. En beredskabsplan for afløbssystemer og renseanlæg kan tage højde for en række forhold, der er kritiske for driften af afløbssystemet, f.eks. nedbrud af elforsyning, stormflodsskader ved udsatte lokaliteter, personale/entreprenørberedskab til i nødsituationer at kunne opretholde en minimumsdrift.

Beredskabsplaner er planer for, hvordan man skal/kan reagere, når et afstrømningssystem kommer under pres, og vand løber ud på terræn:

- Egentlige fysiske foranstaltninger til at reducere effekterne af en ekstremregnsituation og deraf følgende oversvømmelser – eksempelvis jordvolde og skodder til opstuvning af vand i forud udpegede lavninger
- Beredskab til akut ad hoc-indsats – eksempelvis placering af sandsække og brug af mobile pumper
- Information/varslinger både internt i kommunens drift og eksternt

Der skal derfor gennemføres et forberedende arbejde, hvor alle detaljer i forbindelse med fysiske foranstaltninger, akut ad hoc-indsats og information og varslinger gennemgås.

Prioritering af beredskabsplaner

Beredskabsplaner bør foreligge for alle byområder og eventuelle landområder, hvor det er vurderet, at oversvømmelser kan give væsentlige gener - enten menneskelige eller omkostningstunge.

Når der er etableret beredskabsplaner for et stort område f.eks. en kommune eller region, må beredskabsplanerne for alle oplande i området prioriteres, inden en kritisk situation opstår, idet der ikke nødvendigvis er personale og materiel nok til at gennemføre indsatsen i alle delområder på én gang. En prioriteret beredskabsplan vil være et godt beslutningsstøtteværktøj for indsatslederen.

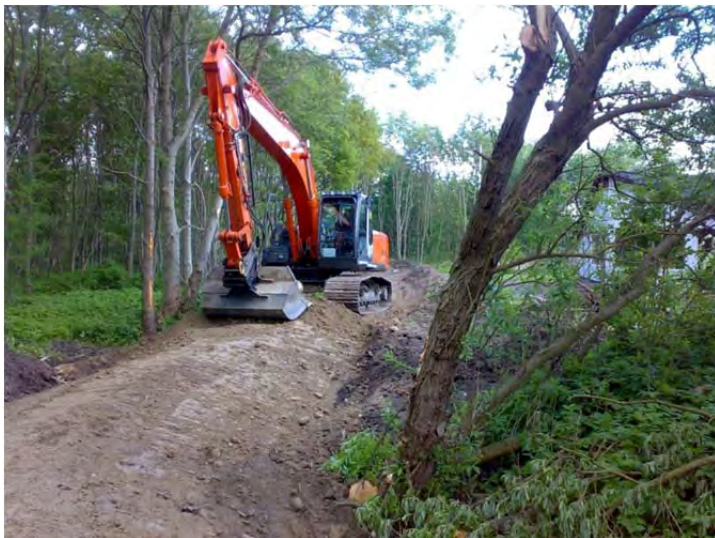
Prioriteringen af beredskabsplaner kan gennemføres efter samme principper som prioriteringen af klimatilpasningen.

Stationære beredskabstiltag

I forbindelse med opnåelse af et klimatilpasset serviceniveau for et opland vil analyser og detailprojekter afdække, hvilke kritiske punkter der er i området. De løsninger, der findes, vil i nogen grad kunne udvides uden væsentlige meromkostninger, men der kan også være mulighed for at beskytte udsatte boligområder ved hjælp af jordvolde eller at terrænregulere via volde eller afgravninger, så vand ledes til mindre kritiske områder.

Som eksempler på blivende tiltag kan nævnes volden ved Godsparken i Greve, som forhindrer et vandløb i at løbe ind i et byområde, og renden ved idrætsparken i Odense, som leder vand ned på løbebanen for at undgå ødelæggelse af gulve i bygninger, se appendiks C.

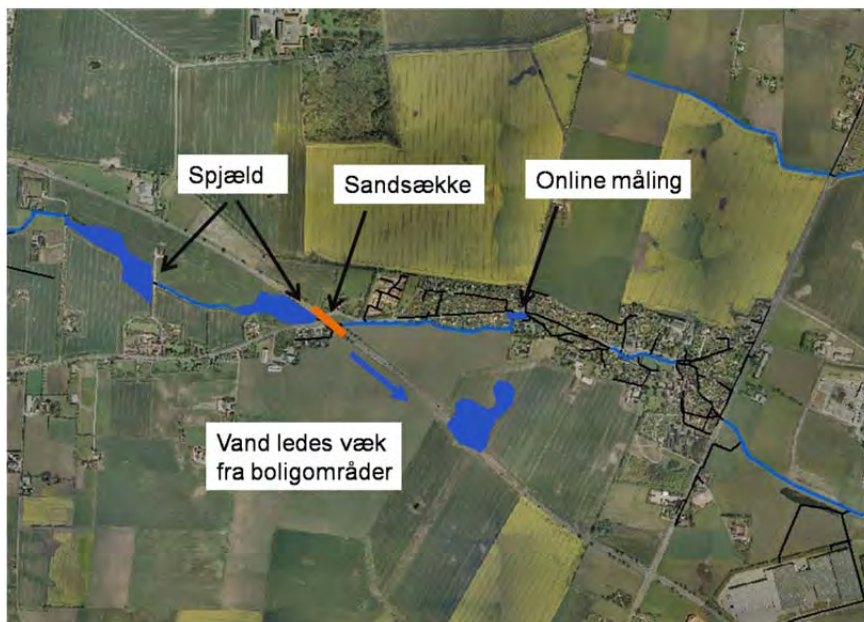
Volden ved Godsparken koster ikke alverden, men sikrer byområdet ikke alene ved ekstrem langvarig regn, men også mod ekstrem vandstand i havet.



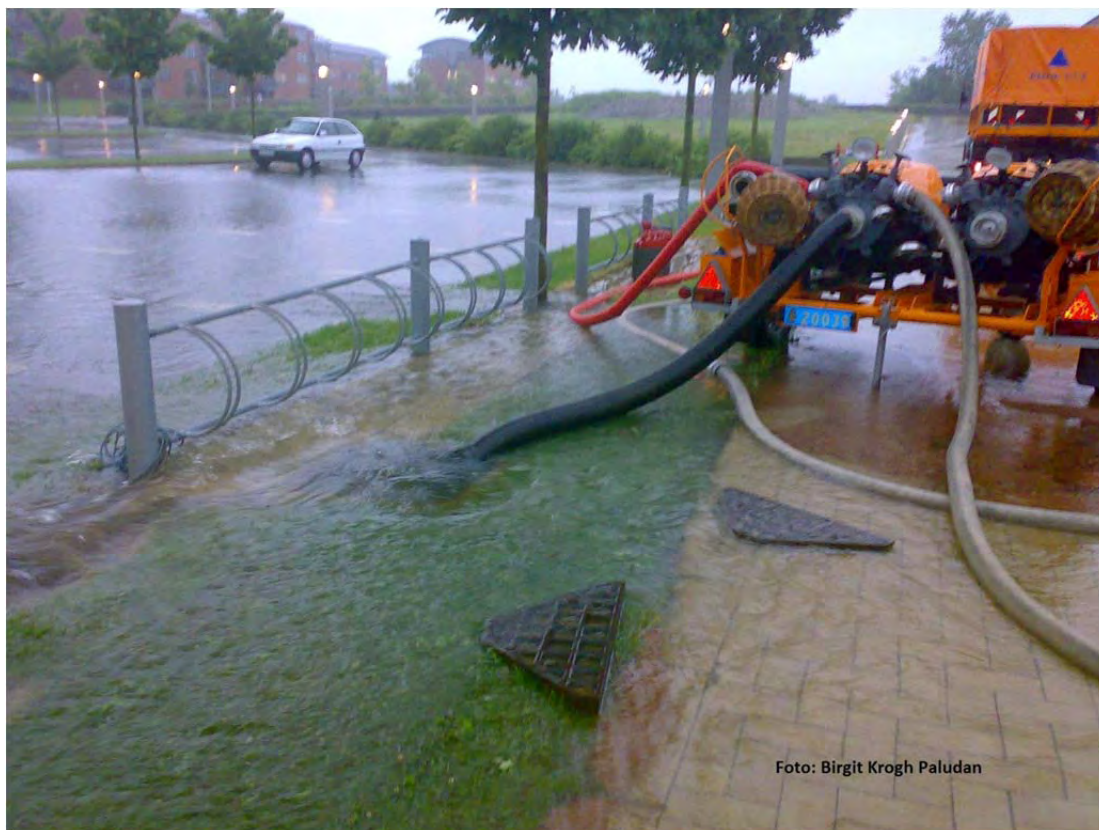
Figur 6.12 Etablering af vold ved Godsparken i Greve.

Mobile beredskabstiltag

Ud over de stationære beredskaber findes en lang række muligheder for mobile beredskabstiltag, f.eks. mobile pumper, sandsække og skodder. Via terrænanalyser, beregninger og erfaringer kan der på forhånd laves en strategi for, hvor overfladevand kan ledes hen under en beredskabssituation, og de nødvendige dimensioner for pumper og mobile volde kan vurderes. Det er væsentligt, at antallet af f.eks. sandsække og præcis beliggenhed er kendt, og at alt er tilgængeligt på lager og forberedt, inden situationen opstår.



Figur 6.13 Eksempel på forslag til mobilt beredskab i kombination med online-måling.



Figur 6.14 Mobilpumpe anvendt ved Greve Gymnasium under ekstremnedbøren i Greve 5. juli 2010.

Varsling

Det er væsentligt, at kommune og spildevandsforsyning varsles omkring mulige uønskede hændelser, der bør reageres på. Samtidig er det også hensigtsmæssigt, at borgere varsles om, at ”nu går det galt: flyt værdier”.

DMI varsler i dag i Danmark for kraftige regnhændelser, men vurderingen af risikoen for efterfølgende oversvømmelser i byer er ofte baseret på erfaringstal for Danmark som helhed. Dette er utilstrækkeligt, da de lokale forhold i afløbssystemerne er altafgørende for, om der kommer oversvømmelser eller ej. Varsling anvendes i dag på udvalgte steder i udlandet til at reducere omkostningerne forbundet med oversvømmelser. F.eks. kan afløbssystemet tømmes delvist, før regnen kommer, eller trafikradio kan bruges til at informere befolkningen om at blive væk fra byområder med risiko for oversvømmelser, f.eks. Chumchean *et al.* 2005, Rene 2011.

Nogle oversvømmelser kan man godt leve med, hvis man sikrer sig, at befolkningen er informeret i god tid og på passende måde om, hvordan de skal forholde sig. Dette kræver dog, at kommunen er i besiddelse af en relevant handlings- og beredskabsplan, som kan effektueres, når en ekstremregn varsles. Hvis en analyse viser, at der vil forekomme oversvømmelser i et område under fremtidige klimaforhold, som ikke er acceptable, går der noget tid fra analysen er udført, til en eventuel ny infrastruktur er bygget. I denne periode kan et varslingsystem være nyttigt.

Når varslingen træder i kraft, er det vigtigt, at spildevandsforsyningen har et medium, gennem hvilket der kan oplyses om de tiltag, som har indflydelse på borgernes hverdag. Borgerne må allerede inden situationen være klar over, hvor de skal søge information: hjemmeside, radio eller lignende.

I Danmark kan det være relevant at have et beredskab baseret på en varsling af kraftig regn for f.eks. viadukter eller lignende udsatte steder. Ved brug af varsling kan sådanne steder afspærres i god tid, før oversvømmelsen er så stor, at folk kommer i fare i forsøget på at forcere vandet. Om varsling vil være relevant og økonomisk rentabelt, må vurderes i hvert enkelt tilfælde.

Uanset hvilken varslingsform der anvendes og på hvilket niveau, kan der gennemføres en række tiltag, som forebygger mod oversvømmelser, herunder:

- Eksisterende bassiner, kanaler, vandløb og søer kan tømmes, inden situationen opstår, så der sikres et optimalt volumen i systemerne
- Driftspersonale kan adviseres, så de er klar til at gennemføre beredskabsplaner
- Eksisterende riste, udløb, kontraklapper osv. gennemgås, så det er sikkert, at alt fungerer, når regnen kommer

Styring og overvågning

Styring kan implementeres i afløbssystemet, hvis der er uudnyttet bassinvolumen eller lange transporttider.

Der kan opstilles en plan for styring, når der er skabt et godt overblik over systemet, og der er etableret den tilstrækkelige systemforståelse. De koblede modeller beskrevet i kapitel 4 kan med fordel anvendes til at give et overblik over, hvor det er hensigtsmæssigt at styre vandet, f.eks. ved at implementere spjæld eller pumper. Analysen har måske identificeret et kritisk område, hvor der med fordel kan holdes vand tilbage opstrøms ved at oversvømme mindre kritiske områder. Ved hjælp af målere opsat strategiske steder i systemet kan spjæld eller pumper indstilles til at gå i funktion på de rigtige tidspunkter. Der kan endvidere skabes mere volumen i systemerne ved at tømme eksisterende bassiner, kanaler, vandløb og søer, inden situationen opstår.

Etablering af overvågning kritiske steder i systemerne er særdeles relevant for beslutningsgrundlaget under en oversvømmelsessituation. Således vil det være muligt at gennemføre en styring af pumper og spjæld i en kritisk situation og kunne prioritere indsatsen.

En kombination af varsling og styring kan anvendes til at skabe mest muligt plads de steder i systemet, hvor der forventes at blive mest behov for det. Se Appendiks F.

6.4.2 Under nedbørshændelsen

Under den ekstreme nedbør og i tiden lige efter (afhængig af nedbørens karakter) overvåges afstrømningssystemerne, og beredskabsplaner igangsættes, når det er nødvendigt.

Dokumentation og erfaringsopsamling

For at sikre, at hele organisationen bliver klogere af de erfaringer, der høstes under hændelsen, er det meget vigtigt, at der gennemføres en detaljeret dokumentation af hændelsen. Dokumentationen bør som minimum indeholde logbog over justeringer og drift af afstrømningssystemet (hvem har gjort hvad og hvornår) og meget gerne med noter af, hvorfor og på hvilket grundlag tiltag er gennemført. Observationer i marken - gerne med billeder - er meget værdifulde, når erfaringerne skal bruges i det videre analysearbejde og eventuelt ved opdatering af beredskabsplaner.

Efterspillet til en oversvømmelse kræver meget stor viden om, hvad der præcis skete under hændelsen. Dokumentationen vil i den forbindelse også kunne anvendes i eventuelle udredninger af ansvarsforhold efter oversvømmelsen.

Styring

Styringen gennemføres, jf. planerne, som er beskrevet før hændelsen.

6.4.3 Efter nedbørshændelsen

Efter oversvømmelser skal der naturligvis ryddes op både i systemerne og på terræn. Det skal sikres, at anlæg ikke har lidt overlast, og at funktionen ikke er forringet af ting der sidder fast og i klemme.

Opdatering af beredskabsplaner

Er der udarbejdet en god dokumentation og erfaringsopsamling af oversvømmelsen/hændelsen, kan denne bruges til at evaluere, om beredskabsplaner skal opdateres, om prioriteringen af planerne er i orden, og hydrauliske modeller kan eventuelt kalibreres efter hændelsen og anvendes til at finde løsninger på udfordringerne eller tjekke, om serviceniveauet er overholdt.

Driftserfaringer

Sammenlign erfaringer med forventninger og konkluder, om oversvømmelser skyldes driftsproblemer eller for lille kapacitet i systemerne.

7 SAMMENFATNING OG KONKLUSION

Klimakogebogen er en opdatering af den tidligere udgave fra 2007 og indeholder status på viden om klimaændringer, som er rapporteret fra staten og som anbefales anvendt til at beregne oversvømmelsesrisici fra havet i byerne. Når det gælder beregninger af effekter fra ændret nedbør, anbefales det at anvende anbefalingerne i skrifterne fra Spildevandskomiteen under ingeniørforeningen.

Metoder til analyser af oversvømmelser og oversvømmelsesrisici i byer fra såvel regn som fra havet er beskrevet i rapporten. Metoderne er differentierede fra den helt simple GIS metode til den mest avancerede hydrauliske model der inkluderer flere elementer i det hydrauliske kredsløb.

Beregningsmetoderne indgår i flere sammenhænge til vurdering af tiltag mod oversvømmelse som følge af klimaforandringer. Der vises konkrete eksempler på dette fra Greve og Odense.

De metoder, som er beskrevet i denne rapport, er generiske og kan således også anvendes, når de eksisterende klimascenarier opdateres med nye estimater for nedbør og havspejlsvariation.

Formidling af serviceniveau på afstrømning fra byer er meget vigtig når det skal besluttes om der skal analyseres for klimaændringer og ikke mindst når der skal tages beslutninger om konkret klimatilpasning af afstrømningssystemer, som er meget omkostningstunge. Klimakogebogen indeholder en beskrivelse af serviceniveau på regnvand og havvandstand, og et forslag til hvordan dette kan formidles.

En udfordring i håndteringen og prioriteringen af klimaændringer er opgørelse af skader på samfundet på grund af oversvømmelser. I nærværende projekt er der taget hul på denne problemstilling, og principperne bag opgørelse af skader på grund af oversvømmelser er beskrevet sammen med metoder til at reducere skaderne. Der foreligger endnu en del uafklarede spørgsmål, bl.a. om prissætning af skader, før der kan foretages mere end blot en optælling af de enkelte skadestyper.

Metoderne, som er beskrevet i klimakogebogen, kan bruges som grundlag for udarbejdelse af risikoanalyser og –kort, og giver dermed beslutningsstøtte på mange forskellige niveauer og til prioritering af klimatilpasningsindsatsen. Der er givet en beskrivelse af hvordan der kan gennemføres en detaljeret risikoanalyse af oversvømmelser, hvordan der kan prioriteres og endelige er der givet eksempler på hvilke løsninger der kan tages i anvendelse ved den konkrete klimatilpasning.

De senere års oversvømmelser i danske byer viser, at der er helt konkrete behov for at have et godt beredskab på regnvandsafstrømningen, når der falder mere regn end systemerne kan klare. I klimakogebogen er en overordnet tilgang til nedbørsberedskab beskrevet og der er givet eksempler på beredskabstiltag ”før, under og efter” ekstreme nedbørshændelser

Således udgør klimakogebogen et værktøj for såvel teknikere som skal gennemføre analyserne og det grundlæggende hydrauliske arbejde, som planlæggere der skal etablere beslutningsgrundlag og til orientering af beslutningstagere om klimatilpasning og arbejde med indsats imod oversvømmelse i byer.

Beskrivelserne af metoderne er understøttet af konkrete eksempler i Odense og Greve. Klimakogebogen viser, at der ikke længere er grundlag for at udskyde analyserne af risiko for oversvømmelser pga. regn og havvandstandsstigning, men at der tværtimod findes konkrete metoder til analyser af udfordringerne, så det er bare at komme i gang, så der kan tages bevidste valg på løsninger til kendte udfordringer.

8 **REFERENCER**

Akademiet for de Tekniske Videnskaber (ATV), (2003)
Effekter af klimaændringer - tilpasninger i Danmark
ISBN: 87-7836-031-5

Chumchean, S., Einfalt, T., Vibulsirikul, P., Mark, O. (2005)
To prevent floods in Bangkok: An operational radar and RTC application - Rainfall forecasting
10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen, Denmark, August 2005

DANVA (2005)
Funktionspraksis for afløbssystemer under regn – Baggrundsrapport for Skrift 27

Domingo, N.D.S., Paludan, B., Madsen, H., Hansen, F., Sunyer, M., Mark, O. 2010.
Climate Change and Storm Surges: Assessing Impacts on Your Coastal City Through MIKE FLOOD Modeling. 2010 MIKE by DHI Conference, Copenhagen, Denmark, 6-8 September 2010. DHI ref. 41/10

Domingo, N.D.S., Paludan, B., Hansen, F., Madsen, H., Sunyer, M., Mark, O. "MODELING OF SEA LEVEL RISE AND SUBSEQUENT URBAN FLOODING DUE TO CLIMATE CHANGES". SimHydro 2010:Hydraulic modeling and uncertainty, 2-4 June 2010, Sophia Antipolis

Domingo, N.D.S., Refsgaard, A., Mark, O., Paludan, B. "Flood analysis in mixed-urban areas reflecting interactions with the complete water cycle through coupled hydrologic-hydraulic modeling. IWA Publishing 2010, Water Science & Technology—WST | 62.6 | 2010.

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

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2001)
Climate Change 2001: The Scientific Basis

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007)
Climate Change 2007: The Physical Science Basis

Kystdirektoratet, (2008)
"Klimaændringers effekt på kysten"

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

Mark, O., Djordjević, S., (2006)
While waiting for the next flood in your city...
7th International Conference on Hydroinformatics – Nice, France

Miljøstyrelsen – Miljø- og Energiministeriet (2006)
Afløbssystemer under påvirkning af klimaændringer – Hovedrapport
Miljøprojekt nr. 1123, 2006
<http://www.mst.dk/udgiv/publikationer/2006/87-7052-253-7/Html>

Miljøstyrelsen – Miljø- og Energiministeriet (2006)
Katalog over tiltag til reduktion af effekten fra klimaændringer på afløbssystemer – Til-lægsrapport
Miljøprojekt nr. 1124, (2006)
<http://www.mst.dk/udgiv/publikationer/2006/87-7052-255-3/html>

Nascimento, N., Baptista, M., Silva, A., Machado, M. L., (2005)
Flood-damage curves: Methodological development for the Brazilian context
10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen, Denmark, August 2005

Paludan, B., Brink-Kjær, A., Nielsen, N.H., Linde, J. J., Jensen, L.N., Mark, O. “Climate change management in drainage systems – A “Climate Cookbook” for adapting to climate changes. Novatech, France 2010

Parkinson, J., Mark, O. (2005)
Urban Stormwater Management in Developing Countries
A book - 225 pages published by “The International Water Association” (IWA)
ISBN: 1843390574

PH-Consult (2003)
Hydrauliske undersøgelser af opland F7 i Odense
PH-Consult for Odense Vandselskab

Regeringen (2008)
Strategi for tilpasning til klimaændringer i Danmark
ISBN: 978-87-7844-720-3

Sonnenborg, T.O., Christensen, B.S.B., van Roosmalen, L., H.J. Henriksen (2006).
Klimaændringers betydning for vandkredsløbet i Danmark.
GEUS rapport

Speight, L., (2006)
Analysis of the causes of flood risk in urban areas
The University of Newcastle upon Tyne

Spildevandskomiteen (1995)
Skrift 25 - Nedsivning af regnvand - dimensionering

Spildevandskomiteen (1999)
Skrift 26 - Regional variation af ekstremregn i Danmark

Spildevandskomiteen (2005)

Skift 27 - Funktionspraksis for afløbssystemer under regn

Spildevandskomiteen (2006)

Skift 28 – Regional variation af ekstremregn i Danmark – ny bearbejdning (1979-2005)

Spildevandskomiteen (2008)

Skift 29 – Forventede ændringer i ekstremregn som følge af klimaændringer

Sørensen, S., Adeler, O. F., Bentsen, L., (2005)

Risikoanalyse på vej ind i spildevandsbranchen
(NO-DOG-info 4/2005)

Teknologirådets rapport (2005)

Nyt klima – nyt liv

<http://www.tekno.dk/subpage.php3?article=870&toppic=kategori7&language=dk>

Thodsen, Hans (2007)

The effect of climate change on the transport of water, sediment and nutrients in Danish rivers

PhD Thesis at Institute of Geography, University of Copenhagen

Vand og vejr om 100 år (2006)

Klimaforandringer og det danske vandmiljø

Redigeret af Morten Søndergård, Brian Kronvang, Morten Pejrup og Kaj Sand-Jensen.

Udgivet på Forlaget Hovedland 2006. ISBN 87-7739-889-0

A P P E N D I K S A

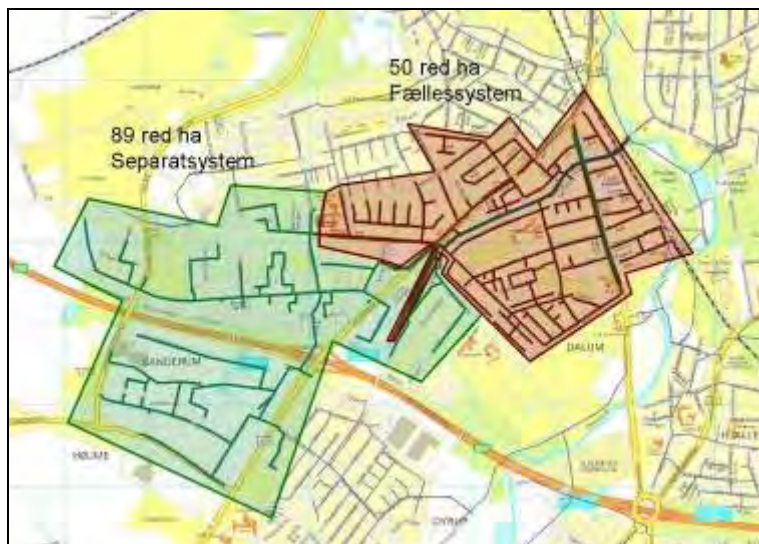
Odense – Sorgenfribækken

(Projektet er udført 2005-2006)

A.1 Appendiks A. Odense – Sorgenfribækken

A.1.1 Opland

Sorgenfribækken er et rørlagt vandløb i Dalum i den sydvestlige del af Odense. Oplandet afvander 89 red. ha separat regnvand til Sorgenfribækken. I en ledning parallelt med Sorgenfribækken afvandes 50 red. ha fra fællessystemet, jf. Figur A.1.



Figur A.1 Sorgenfribækken – oversigt.

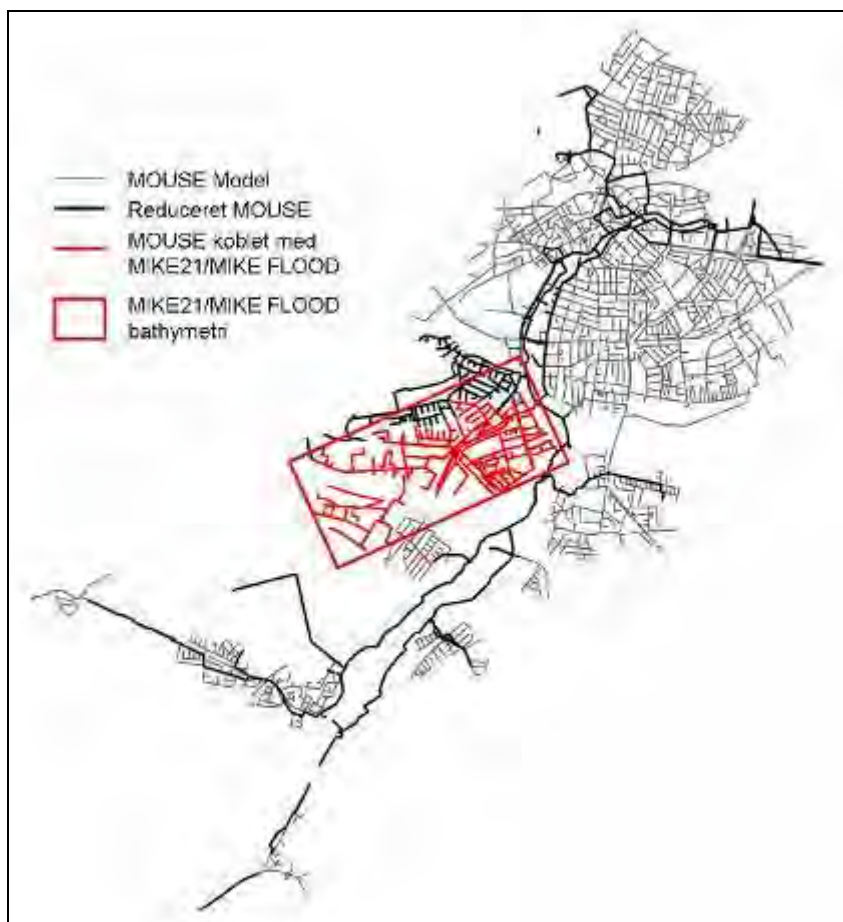
I oplandet er der rapporteret om stuvningsproblemer både til kælder og til terræn (se Figur A.2). Nogle af de største problemer er blevet konstateret ved Tingløkkehaven og Ejersmindevej. Ved en institution på Tingløkkehaven står der jævnligt vand fra fællessystemet på terræn, og på Ejersmindevej er kældre flere gange blevet oversvømmet af separat regnvand, der er trængt ind gennem nedgange i terrænniveau.



Figur A.2 Områder med stuvningsproblemer.

A.1.2 Model setup

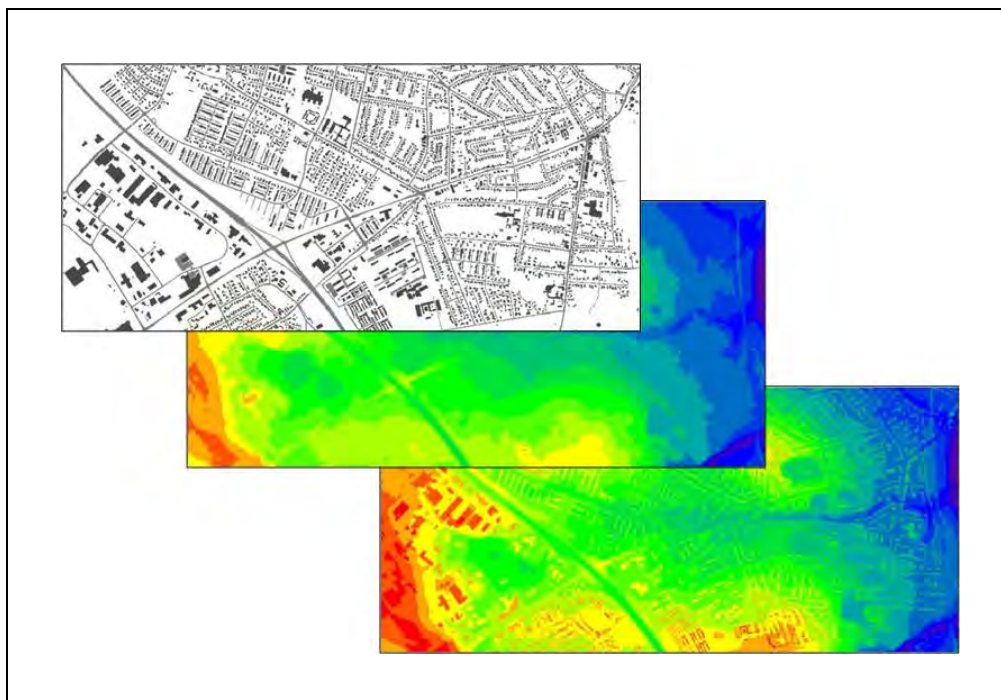
For oplandet til Sorgenfribækken foreligger en velkalibreret MOUSE model. Nedstrøms er afløbssystemet via overløbsbygværker forbundet til samleloakken langs Odense Å. Samleloakken fører vandet frem til Ejbymølle Renseanlæg. Ved model setup til beregning af Sorgenfribækkens opland reduceres en stor del af det omkringliggende afløbssystem, og der opsættes kun en MIKE 21 model for det aktuelle område. Af beregningstekniske årsager drejes MIKE 21 bathymetrien, så det kvadratiske grid i videst mulig udstrækning ligger parallelt med vejene i området, jf. Figur A.3.



Figur A.3 Oversigt over model.

MIKE 21 bathymetrien er genereret ud fra en terrænmodel, hvor tætheden af data (xyz-målinger) er 5-10 m. Modelområdet er med et areal på 6,3 km² forholdsvis stort, så af hensyn til beregningstiden har det været væsentligt at vælge en hensigtsmæssig gridstørrelse. Detaljeringsgraden for terrænmodellen går kun ned til 5 m, mens huse og veje er beskrevet mere detaljeret. Det indikerer at gridstørrelser på 2-4 m er rimelige i og med, at detaljeringen af inputdata ikke reduceres væsentligt. Af hensyn til beregningstiden er der valgt et grid på 4 m. Det giver selvfølgelig enkelte unøjagtigheder i form af huse, der flyder sammen i modellen, samt veje der ikke er helt forbundet. Disse detaljeringsproblemer er håndteret manuelt.

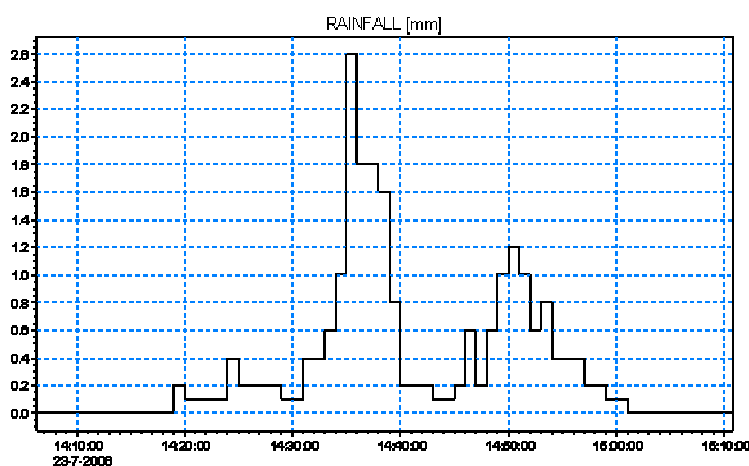
Huse er hævet 4 m, og veje er sænket 20 cm i forhold til terrænmodellen.



Figur A.4 MIKE 21 bathymetrien genereres ud fra terrænmodel samt huse og veje.

A.1.3 Kalibrering

Der findes ingen direkte målinger af vandstande under ekstreme regnhændelser. Til gengæld findes der en række informationer om, hvor ofte der er observeret vand på terræn samt en meget detaljeret billedserie fra en enkelt regnhændelse d. 23. juli 2006. Billedserien koncentrerer sig om Ejersmindevej, der ligger i den nedstrøms del af separatsystemet og dermed modtager vand fra 89 red. ha. Den 23. juli faldt der 21,8 mm på 45 minutter, hvilket svarer til en gentagelsesperiode på 10 år (se Figur A.5).

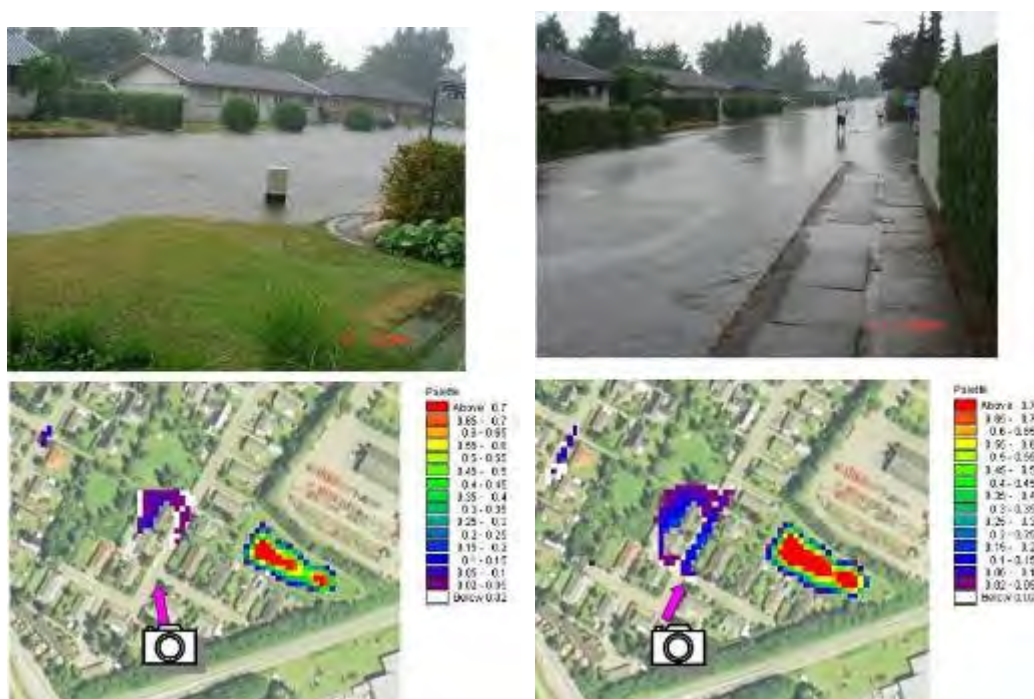


Figur A.5 Regnhændelse d. 23. juli 2006 – GMT tid.

Figur A.6 viser simulering og tilhørende fotografier under regnhændelsen og ved regnhændelsens ophør samt efter regnhændelsen. Under regnhændelsen (venstre Figur A.6) er der ikke overensstemmelse mellem model og reel vandstand. Dette skyldes en lokal faktor, der ikke er beskrevet i modellen: I modellen tilføres overfladevand direkte til brønde i afløbssystemets hovedledninger. I virkeligheden skal vandet først ned igennem riste på stikledninger. Under hændelsen har der enten været

for lille kapacitet i stikledningerne, eller ristene i vejen har været tilstoppet. Resultatet er, at der under regnhændelsen lå en del vand på vejen. På højre foto og på Figur A.6 og på begge foto på Figur A.7 *figur a.7* er der god overensstemmelse mellem reel vandstand og vandstand i model. Ved hændelsens ophør er en stor del af det lokale regnvand løbet ned gennem stikledningerne ud i hovedledningerne (figur a.6, højre foto). Samtidig er bassinet ved Ejersmindevej blevet fyldt op, men der tilføres stadig mere vand fra opstrøms områder, end den videreførende kapacitet kan afhænde. Det resulterer i stigende vandstand, hvor vand fra hovedledningen stoves tilbage op gennem stikledningerne og op på vejen igen.

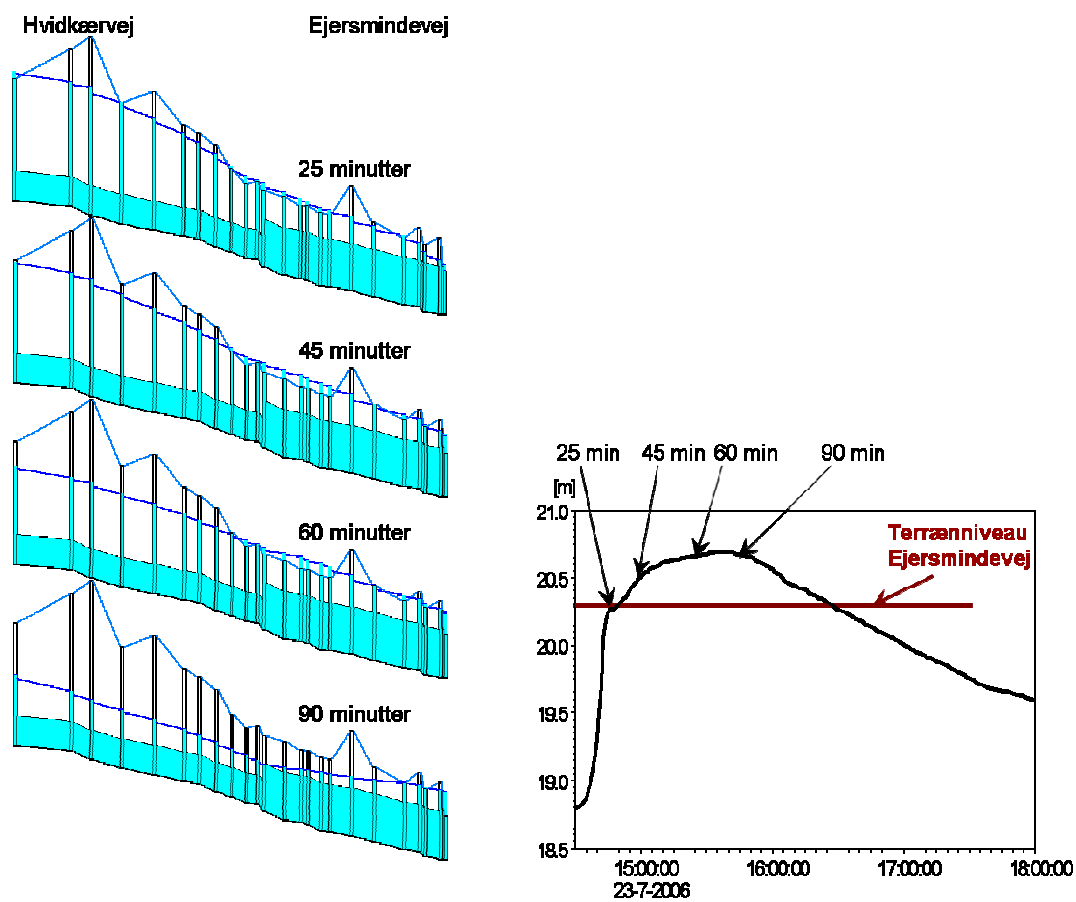
Figur A.8 viser længdeprofil mellem Hvidkærvej og Ejersmindevej samt en tidsserie for vandstanden ved Ejersmindevej. Det illustrerer, hvordan vandstanden ved Ejersmindevej forsat stiger lang tid efter regnhændelsens ophør.



Figur A.6 Ejersmindevej efter 25 og 45 minutter.

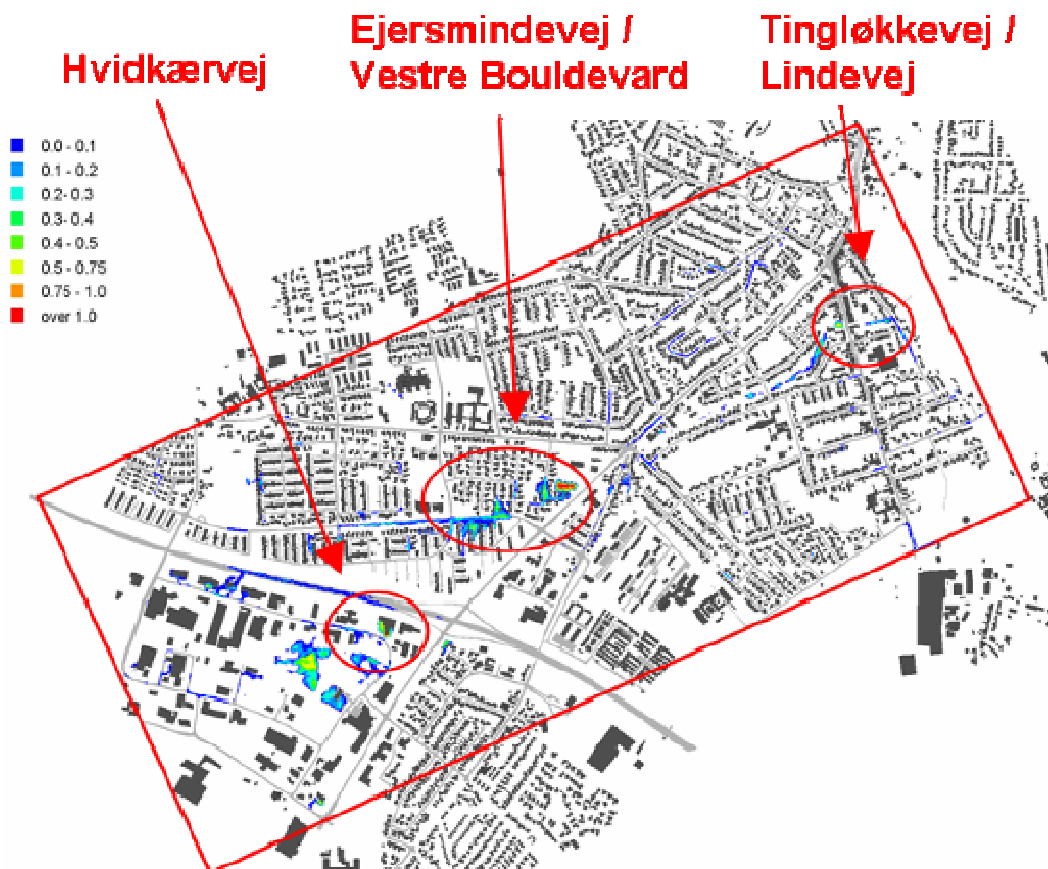


Figur A.7 Ejersmindevej efter 60 og 90 minutter.



Figur A.8 Længdeprofil fra Hvidkærvej til Ejersmindevej og tidsserie for vandstand ved Ejersmindevej.

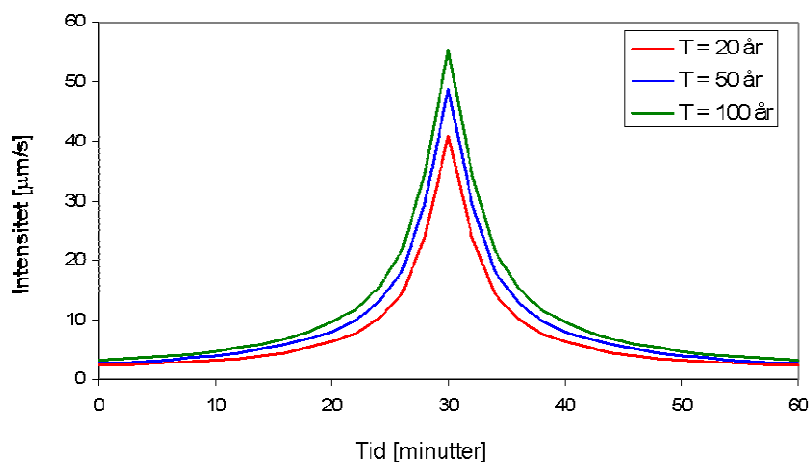
Figur A.9 viser maksimum vandstande over terræn for simulering med CDS regn for gentagelsesperioden 10 år. Kendte problemområder er markeret. Det ses, at der er en god overensstemmelse mellem model og virkelighed.



Figur A.9 Beregnede vandstande over terræn for CDS regn, $T = 10$ år, samt de vigtigste kendte problemområder.

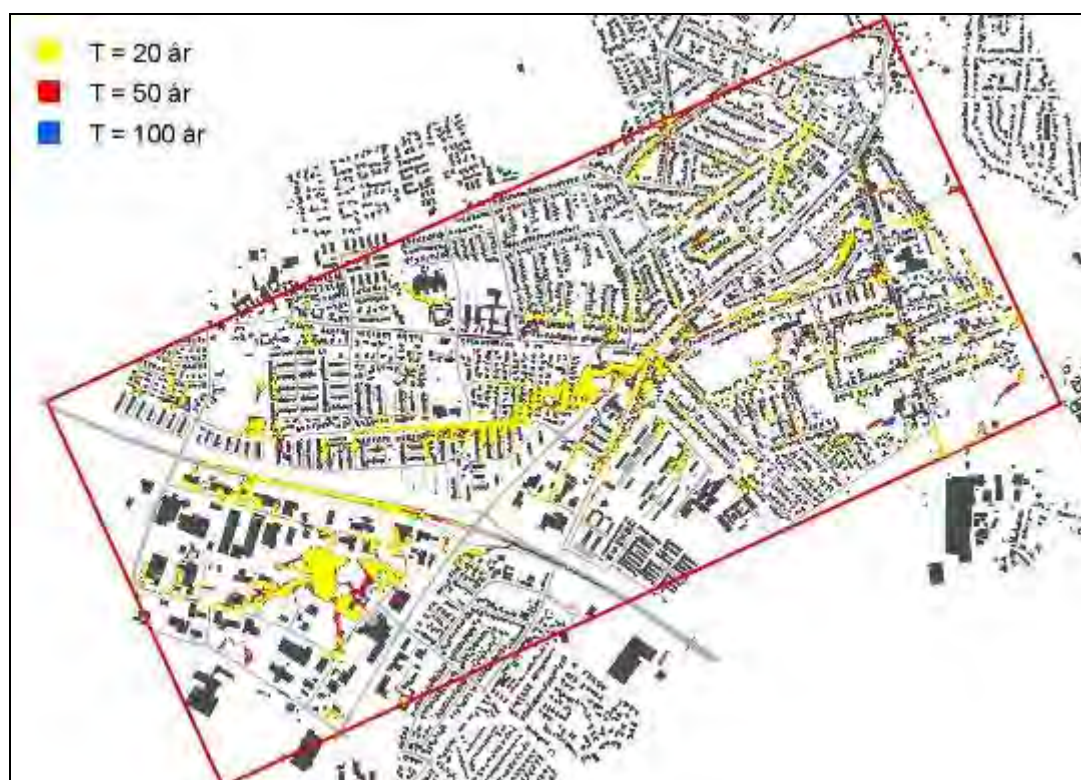
A.1.4 Beregninger

Der er gennemført beregninger for det eksisterende system. Beregningerne er gennemført for CDS regn med gentagelsesperioder på 20, 50 og 100 år. Der er endvidere indbygget en sikkerhedsfaktor på 1,2 og en klimafaktor på 1,2 – i alt en faktor på 1,44. Der er desuden gennemført en beregning uden klimafaktor.



Figur A.10 CDS regn for gentagelsesperioder på 20, 50 og 100 år.

Resultaterne af beregningerne illustreres på Figur A.11 og Figur A.12. To typer af plot er vist. Den ene type viser de maksimale vanddybder på terræn for en enkelt simulering, mens den anden type sammenligner oversvømmelsernes udbredelse for flere simuleringer. Illustrationerne tydeliggør bl.a., at de største problemer i separatsystemet findes i området Vestre Boulevard og Ejersmindevej.



Figur A.11 Udbredelse af oversvømmelser for simuleringer med det eksisterende system og klima- og sikkerhedsfaktor 1,44.



Figur A.12 Niveau for oversvømmelser for simuleringer med det eksisterende system og klima- og sikkerhedsfaktor 1,44 for gentagelsesperiode på 100 år.

A.1.5 Skadesopgørelse

Af forskellige tekniske og administrative årsager foreligger der på nuværende tidspunkt kun få data vedrørende bygninger for Odense. Men selv med meget få data er det muligt at beregne overslag over antallet af skader og til en vis grad prissætte umiddelbare omkostninger.

Tabel A.1 giver en oversigt over størrelsen af de oversvømmede arealer. Tabellen viser, at der i virkeligheden kun er ret få områder, der oversvømmes med en vanddybde på mere end 10 cm, og de fleste af de områder, der oversvømmes med mere end 10 cm, er grønne, hvor der ikke forvoldes nogen større materielle skader.

I Tabel A.2 er oversvømmede vejarealer opgjort. Det er individuelt, ved hvilken dybde der forvoldes skade på den enkelte parkerede bil, og ved hvilken dybde at kørsel umuliggøres, men generelt opstår der problemer ved en vanddybde på omkring 40 cm. Området omfatter ca. 65 ha vej, og som det fremgår af tabellen, er det kun ganske få ha vej, der oversvømmes i så høj grad, at det giver problemer for trafikken. Af illustrationerne fremgår det, at problemerne kun vil være markante i et lille område af Vestre Boulevard, på Ejersmindevej og et lille område af Fåborgvej.

Tabel A.1 Oversvømmede arealer i ha.

T	Vandstand	Faktor 1,20	Faktor 1,44
20 år	Over 0 cm	23,0	30,6
20 år	Over 5 cm	15,5	20,8
20 år	Over 10 cm	10,4	14,0
20 år	Over 40 cm	1,6	2,2
50 år	Over 0 cm	32,0	40,8
50 år	Over 5 cm	21,9	28,1
50 år	Over 10 cm	14,8	18,9
50 år	Over 40 cm	2,4	3,4
100 år	Over 0 cm	39,4	48,6
100 år	Over 5 cm	27,1	34,0
100 år	Over 10 cm	18,3	22,9
100 år	Over 40 cm	3,3	4,6

Tabel A.2 Oversvømmede vejarealer i ha.

T	Vandstand	Faktor 1,20	Faktor 1,44
20 år	Over 20 cm	1,4	2,0
20 år	Over 40 cm	0,2	0,5
20 år	Over 60 cm	0,0	0,1
50 år	Over 20 cm	2,1	2,9
50 år	Over 40 cm	0,5	0,7
50 år	Over 60 cm	0,1	0,1
100 år	Over 20 cm	2,7	3,7
100 år	Over 40 cm	0,7	0,9
100 år	Over 60 cm	0,1	0,2

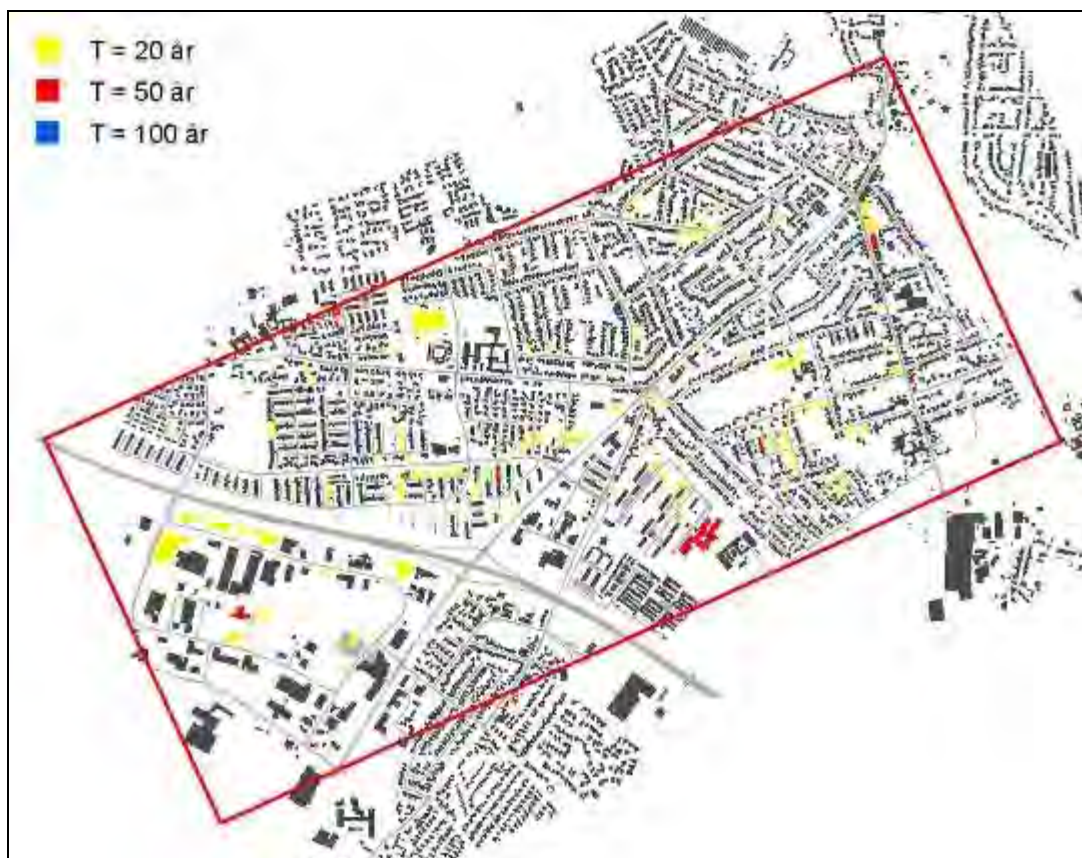
Herunder vises en opgørelse af antal kældre og huse, der oversvømmes. Der foreligger ikke data for kælderniveau og eventuelle tilslutninger, sokkelniveau, niveau for lyskasser osv. Der er således primært tale om gennemsnitsbetragtninger for huse og potentielle oversvømmelser af kældre, såfremt disse eksisterer og er tilsluttet systemet.

For at kompensere for manglende data er der gjort en række antagelser. For hvert hus benyttes det gennemsnitlige terrænniveau for ejendommen, og sokkelniveau antages at ligge 10 cm over terræn. Hver bygning knyttes til den nærmeste brønd i fællessystemet, men antages kun at være tilsluttet i kælderniveau, hvis kælderen ligger 1 m over bunden af brønden. Kælderniveau sættes til 1,5 m under terræn.

Figur A.13 illustrerer oversvømmede huse under ekstremregn beregnet med faktor 1,44. Tabel A.3 giver en oversigt over antallet. Figur A.14 illustrerer huse med potentiel kælderoversvømmelse, og Tabel A.4 giver tilsvarende information i form af antal.

Tilsvarende beregninger for antal oversvømmede huse og kældre kan gennemføres for el-installation, specielt sårbare områder osv.

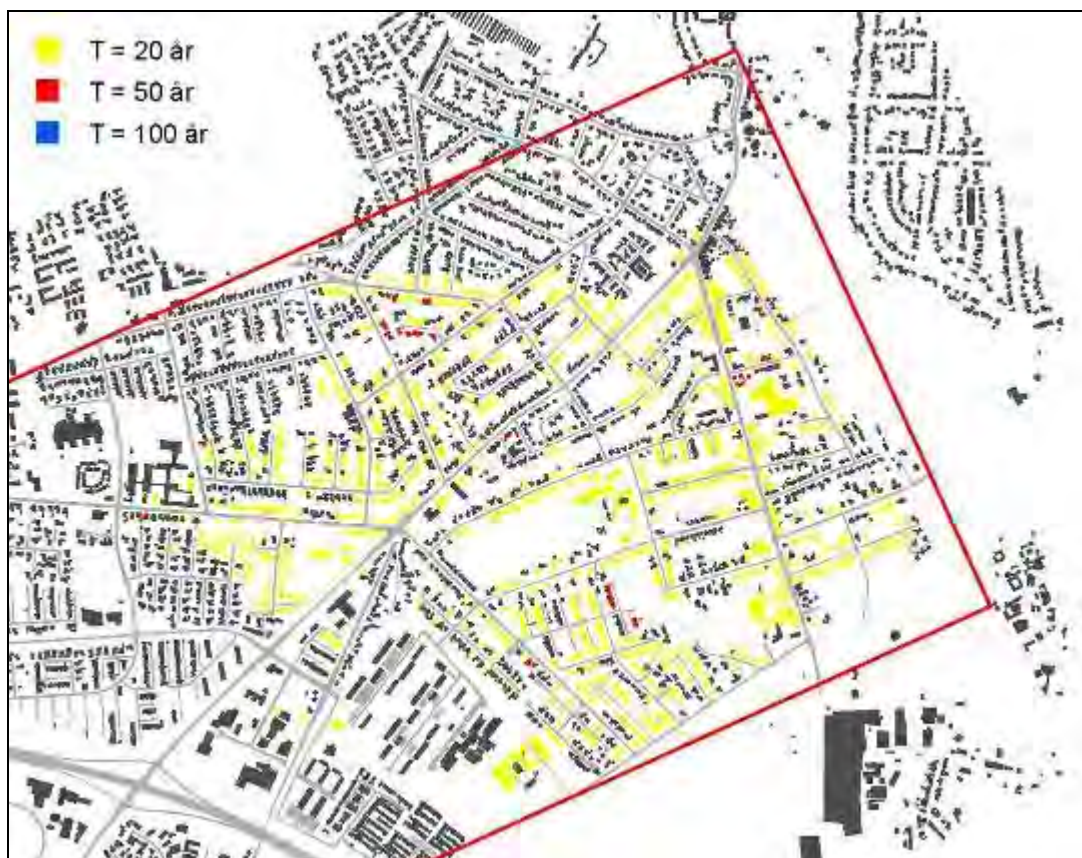
Tabel A.5 viser eksempelvis resultatet for antallet af oversvømmede el-skabe.



Figur A.13 Oversvømmede huse for simuleringer med det eksisterende system og klima- og sikkerhedsfaktor 1,44.

Tabel A.3 Oversigt over antal oversvømmede huse.

T	Faktor 1,20	Faktor 1,44
20 år	134	179
50 år	187	233
100 år	225	276



Figur A.14 Oversvømmede kældre i fællessystem for simuleringer med det eksisterende system og klima- og sikkerhedsfaktor 1,44.

Tabel A.4 Oversigt over antal oversvømmede kældre.

T	Faktor 1,20	Faktor 1,44
20 år	738	817
50 år	826	868
100 år	864	887

Tabel A.5 Antal el-skabe.

T	Faktor 1,20	Faktor 1,44
20 år	8	16
50 år	18	24
100 år	23	29

Det er ikke trivielt at fastsætte priser på skader, og der findes ikke mange offentliggjorte undersøgelser. I tabel A.6 er skaderne i forbindelse med oversvømmede huse forsøgsvis prissat ud fra en funktion med en fast grundpris på 30.000 kr. og yderligere 1.150 kr. pr. cm over sokkel. Tilsvarende kan samtlige materielle skader beregnes.

Tabel A.6 Eksempel på fastsættelse af pris for skader på huse i millioner kr. for tre ekstremregn.

T	Faktor 1,20	Faktor 1,44
20 år	6,9	8,6
50 år	8,9	10,3
100 år	10,1	11,9

Ud over de direkte materielle skader er det væsentligt at fokusere på særligt sårbare bebyggelser, hvor der er risiko for personskade eller miljøskade – f.eks. institutioner, hospitaler, tankstationer eller særlige industrier. Figur A.15 illustrerer institutioner og tankstationer i et mindre område. For to institutioner er der væsentlige problemer med opstuvet vand fra fællessystemet.



Figur A.15 Eksempel på bygninger med specielle hensyn.

Med eksemplet er vist, hvordan man ved at benytte egnede modeller og beregningsgange kan arbejde med skadesvurderinger under ekstremregn i et byområde.

A P P E N D I K S B

Odense – Ejersmindevej

(Projektet er udført: 2007-2009)

B.1 Appendiks B. Odense – Ejersmindevej

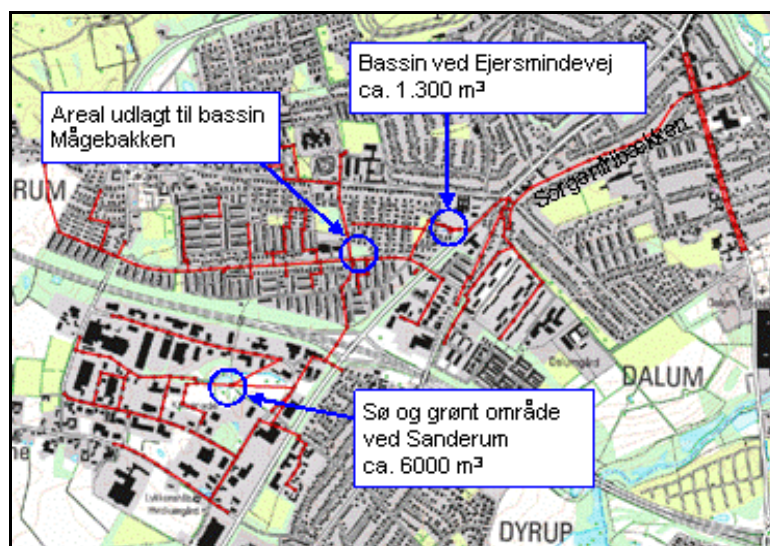
B.1.1 Baggrund

Baggrunden for dette appendiks er gentagne oversvømmelser af et villaområde ved Ejersmindevej (se også Appendiks A). Under kraftig regn er der flere gange observeret opstuvning på villaveje samt opstuvning til kronekanten i regnvandsbassinet eller ind i tilstødende haver, se figur b.1. Umiddelbart opstrøms for bassinet stuver vandet op af rendestensbrøndene og oversvømmer vejen og forhaverne. Dæksler er forsøgt boltet fast, men vandtrykket har været så stort, at asfalten blot er blevet revet med op. Beboere i området har været fraflyttet deres huse igennem længere perioder på grund af oprydning og renovering efter oversvømmelserne. Første gang i august 2006 og siden atter i august 2007.



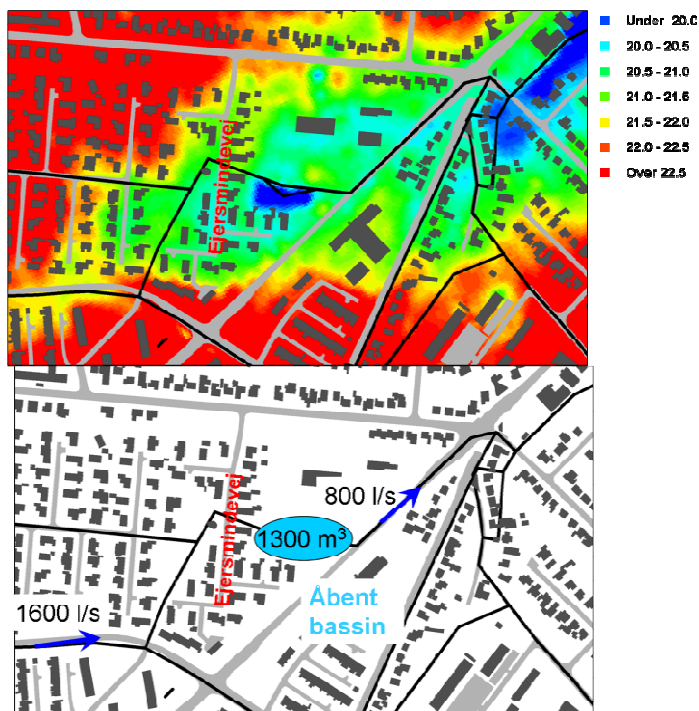
Figur B.1 Fyldt bassin ved Ejersmindevej.

Området ligger i opland F7 og F8, som afvander ca. 89 red ha gennem Sorgenfribækken (rørlagt) til Odense Å, se Figur b.2. Der findes to regnvandsbassiner i oplandet ved Sanderum og Ejersmindevej, og der er reserveret plads til yderligere et regnvandsbassin ved Mågebakken.



Figur B.2 Oversigt over model af regnvandssystemet i F7/F8.

Undersøges området nærmere, ses, at kvarteret er placeret i en lavning (figur b.3). Når magasineringsvolumenet er opbrugt, og tilledningen til området overstiger 800 l/s, vil vand samles i området.



Figur B.3 Terræn- og afvandingsforhold omkring Ejersmindevej.

B.1.2 Beregninger af oversvømmelser

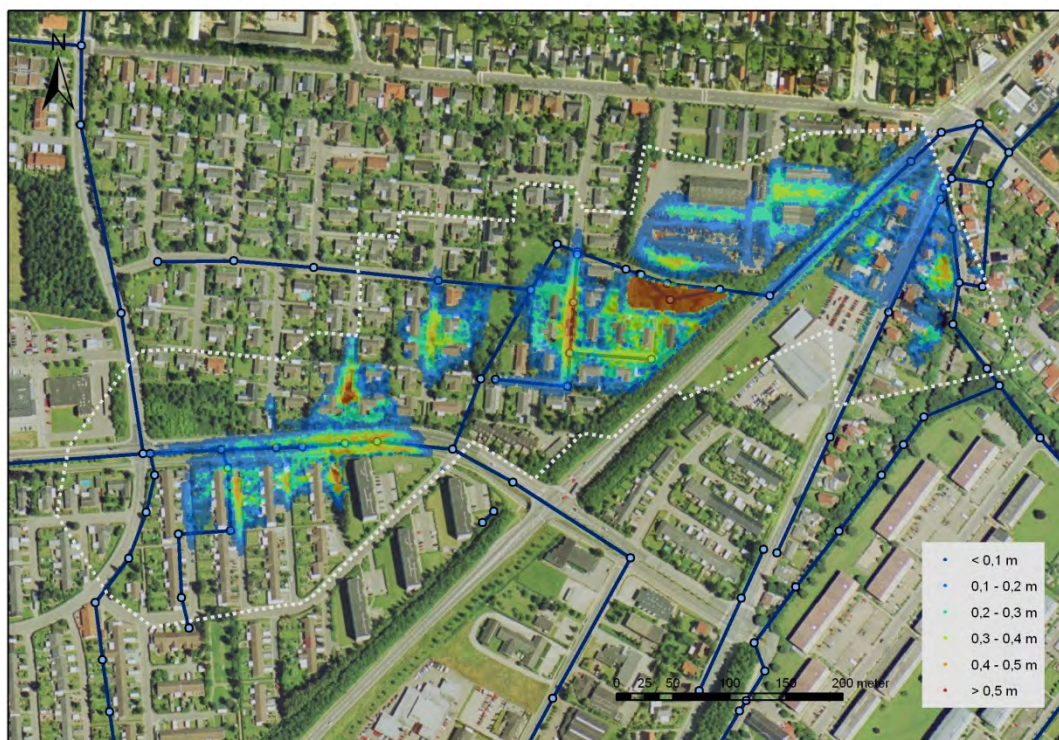
Datagrundlaget er en digital terrænmodel med opløsning på 1,6 x 1,6 m og en højdenøjagtighed bedre end 10 cm. Modellen er baseret på laserscanninger udført i perioden april 2006 – maj 2007. Matrikelgrænser, veje og huse er endvidere anvendt.

Der er opstillet en koblet 1d-1d model, hvor lavninger i området er beskrevet som bassiner og forbundet via overløbskanter, se figur b.4.



Figur B.4 Område der er undersøgt med hensyn til oversvømmelse.

Model er anvendt til beregninger af oversvømmelser i området. Resultatet fra en beregning med en CDS regn T=50 år er vist i figur b.5.



Figur B.5 Maksimale vanddybder for en CDS regn T = 50 år (status). Den stiplede linje afgrænser den del af terrænet, der er medtaget i modellen for afløbssystemet (Mouse).

B.1.3 Løsninger

Vandcenter Syd har siden august 2006 arbejdet intenst med at finde løsninger på problemet og har undersøgt en lang række alternativer. Alle alternativer er gennemregnet med den koblede model. De løsninger, der har været arbejdet med, omfatter:

- Mikro håndtering af regnvandet, f.eks. anvendelse af regntønder og faskiner
- Nedsivning i vejen/grøfter, f.eks. Vester Boulevard ved ændring til miljøveje. Alternativt bassin lagt under vejen og i rabatter, f.eks. i regnvandskassetter
- Anvendelse af større grønne områder opstrøms ved Gl. Sanderum frem for bebyggelse, således at belastningen ikke øges på området
- Magasinere/nedsive vand ved Gl. Sanderum
- Traditionelle bassiner
- Eventyr Golf har ytret ønske om mere vand på deres område. Dette kunne f.eks. gøres ved at etablere søer med regnvand fra området
- Pumpning af vand væk fra området
- Opkøb af arealer til magasinering af vand
- Øgning af afløbet fra området ved udvidelse af den rørlagte del af Sorgenfribækken, eventuelt frilæggelse af bækken gennem naturgenopretning
- Flersidig anvendelse af friarealer, f.eks. kombineret skater-park/bassin ved areal udlagt til regnvandsbassin ved Mågebakken. Anvendelse af grønne områder til kombineret fodboldbane/bassin

- Tilbageføring af afstrømning fra mose i området syd for Fynske Motorvej til det naturlige niveau (1 l/s·ha)

Mange af løsningerne skal ligge på grønne områder, hvilke der er underskud af i Sanderum i forhold til det ønskelige. Ligeledes er mange af de arealer, Odense Vandselskab havde kig på, belagt med lovgivning, som kræver dispensationer for, at de kan gennemføres, heriblandt naturbeskyttelse.

Projektet "Udvidelse af regnvandsbassin på Ejersmindevej" blev herefter valgt som den endelige løsning, eftersom projektet vurderes at have følgende fordele frem for de andre bearbejdede løsningsforslag:

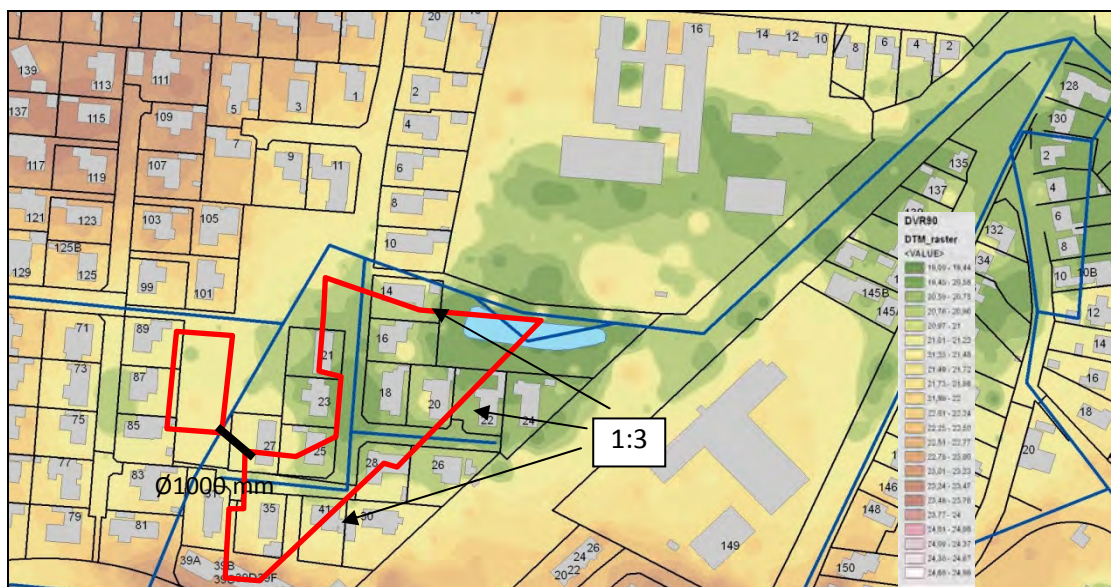
- Projektet støtter overordnet Odense Vandselskabs filosofi om bæredygtig og økonomisk "best practise" i håndtering af regnvand
- Bassinet på Ejersmindevej udvides til at kunne rumme ca. 7.000 m³ regnvand
- Projektet giver større serviceniveau for hele Sanderum og større sikkerhed mod fremtidige klimaforandringer og deraf følgende mindre risiko for oversvømmelse i forhold til alternative løsninger
- Projektet kan gennemføres inden for kort horisont (færdig sommeren 2009)
- Projektet giver større sikkerhed mod oversvømmelser på terrænniveau, idet projektet følger terrænets lavninger og flytter ejendomme, der ligger på laveste sted, væk fra risikozonen
- Projektet kombineres med to andre delprojekter fra de alternative løsninger:
 - Regulering af regnvandstilstrømning fra højt befæstet industriområde i Højme
 - Etablering af supplerende bassin på grund udlagt hertil på Mågebakken ca. 3.000 m³
- Samlet set kan løsningsforslaget rumme en regnhændelse, der statistisk set (anno 2008) i gennemsnit sker hvert 50. år

For at kunne udvide bassinets kapacitet har syv af de berørte grundejere foreslået, at Odense Vandselskab opkøber deres ejendomme. Fem af ejendommene støder direkte op til eksisterende bassin, og to ejendomme ligger på den anden side af villavejen. Med opkøbet kan det eksisterende bassin udvides til ca. 7.000 m³.

Områdets rekreative værdi bliver med løsningen forbedret med regnvandsbassiner, beplantninger og nye stier langs kanten af de nye regnvandsbassiner. I projektet indgår desuden etablering af et nyt regnvandsbassin på Mågebakken på ca. 3.000 m³. På den måde opnås der et samlet bassinvolumen på 10.000 m³. Etableringsomkostninger ca. 30. mio. kr.

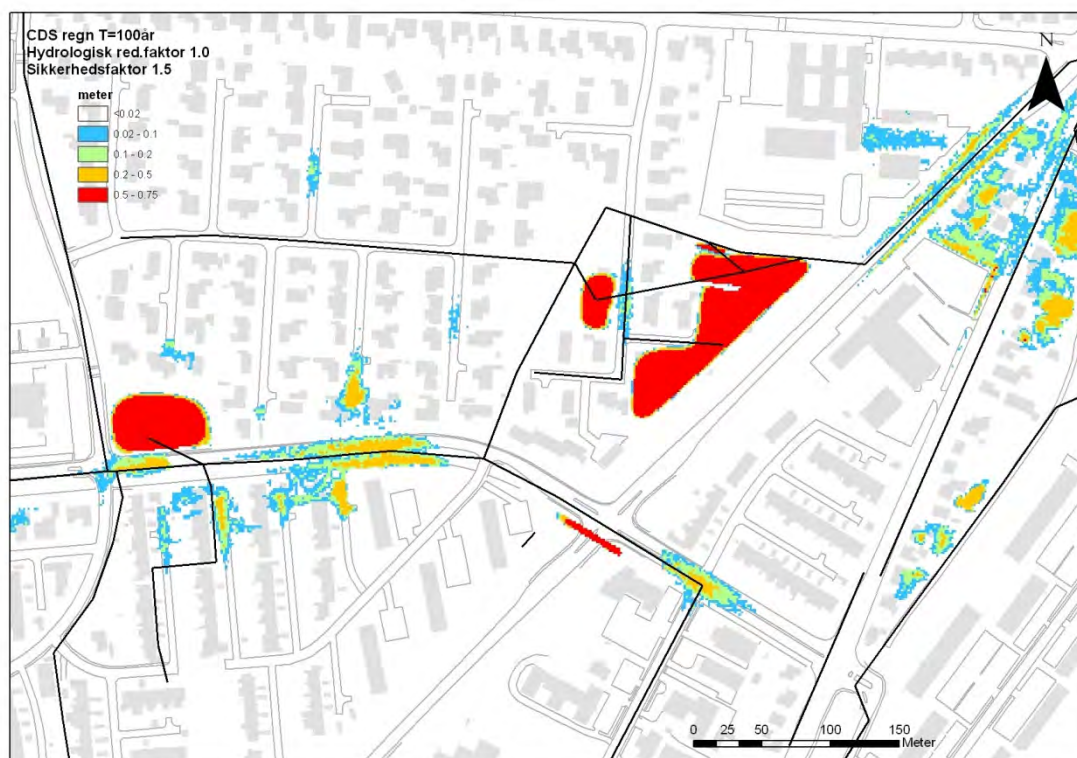
Beregningsforudsætninger, se figur b.6:

- Der etableres 7.000 m³ bassin ved Ejersmindevej
- Der etableres 3.000 m³ bassin ved Mågebakken
- Udformes som åbent jordbassin med permanent vandspejl i kote 18,75 m DNN, svarende til 500 m³. Skråninger udføres med hældning 1:5 dog 1:3 mod Assensvej og busholdeplads
- De to områder, der udgør bassinet, forbindes med en ø1000 under Ejersmindevej
- Der etableres en 2 m zone mellem matrikelgrænse og bassinkant, hvor terrænet ikke ændres, dvs. så kanten af bassinet starter en afstand fra beboelse. Ved Assensvej og matrikel nord for bassinet etableres ikke 2 m zone.



Figur B.6 Inddragelse af 7 matrikler ved Ejersmindevej.

Resultatet fra en CDS regn T=50 år inkl. en sikkerhedsfaktor på 1,5 er vist i figur b.7. Beregninger på systemet med udvidet bassinvolumen ved Ejersmindevej og Mågebakken viser, at bassinet har tilstrækkelig kapacitet til at klare en 50-års regn med sikkerhedsfaktor.



Figur B.7 Maksimale vanddybder for CDS regn T=50 år med sikkerhedsfaktor 1,5.

For at undgå vand på vejen syd for bassinet ved Mågebakken er der etableret riste i vejen, se figur b.8.



Figur B.8 Etablering af riste i vejen syd for bassin ved Mågebakken for at undgå opstuvning under ekstrem regn.

B.1.4 Udførelse

Det har været et ønske fra start, at bassinerne blev rekreative, og at man havde mulighed for at færdes ved dem, da der jo netop er underskud af grønne områder i Sanderum. Det har derfor været vigtigt for Vandcenter Syd, at inddrage de nærmeste naboer til de to nye bassiner, således at deres ønsker kunne blive hørt. Der har derfor i forbindelse med udformningen af bassinerne, været afholdt borgermøder i efteråret 2008, hvor især placering af stier og bænke er blevet diskuteret.

Bassinet stod færdig sommeren 2009. Billeder fra området er vist i figur b.9.



Figur B.9 Billeder af bassiner ved Mågebakken og Ejersmindevej.

A P P E N D I K S C

Odense – Idrætsparken

(Projektet er udført: 2007-2009)

C.1 Appendiks C. Odense – Idrætsparken

C.1.1 Terrænregulering ved Odense Idrætspark

Den nye idrætshal på ca. 1.400m² ved Odense Idrætspark er blevet oversvømmet tre gange siden færdiggørelsen i 2005, senest 30/6 2007. Billeder fra en af oversvømmelses-hændelserne er vist i figur c.1.



Figur C.1 Kort over området ved Odense Idrætspark.

I det følgende anvendes en 2-D model til simulering af overfladeafstrømning som følge af opstuvende vand fra afløbssystemet. Der foretages beregninger for oversvømmelsessituationen d. 13/8 og 17/8 2006 samt en 100 års CDS regn, og der foretages beregninger med løsningsforslag ved hjælp af en terrænregulering.

Sammenholdes regnhændelsen d. 13/8 med landsregnrækkerne, findes det, at regnhændelsen ligger på $T = 5-7$ år for de høje intensiteter, op til en varighed på ca. 15 minutter. Det bør i denne sammenhæng nævnes, at august 2006 har haft rekordstor nedbør. Fra d. 1/8 til d. 13/8 var der faldet 78,2 mm, heraf 42 mm kun to dage forinden, d. 11/8. Drænsystemet i Idrætsparken har d. 13/8 givetvis stadig været i gang med at aflede vand fra hændelsen d. 11/8. Bolbrorenden har formentlig også haft forhøjet vandspejl også på grund af højt grundvandspejl.

D. 17/8 faldt der 17,8 mm på 28 minutter. Højeste intensitet var 30 $\mu\text{m/s}$. Regnen var en 4 års regn for 5-minutters intensiteterne men en 2 års regn for 10 minutters intensiteterne, dvs. en mindre kraftig regn end regnen d. 13/8, men den medførte dog alligevel skader i form af oversvømmelser.

Der er modtaget tegningsmateriale fra Odense Vandselskab over afvandingen af Idrætsparken, og det viser følgende, se figur c.2:

Afledning til regnvandssystemet:

- Hele området omkring idrætshallen har afløb af overfladevand til regnvandsledningen. Den nye gymnastikhal afleder formentlig også til ø1000 regnvandsledningen
- Isstadion og skøjtehal afleder overfladevand til ø1000 regnvandsledningen
- Kabinehuset i cykelstadion afleder også til ø1000 regnvandsledningen via en ø300 ledning, der går under Møllemarksvej
- Der er ifølge kommunens oplysninger fire tilslutninger af drænledninger til regnvandsledningen i dens forløb i Idrætsparken. Der er formentlig også et vist antal tilslutninger opstrøms Idrætsparken. Formentlig drænes af størrelsesordenen 20-30 ha til regnvandsledningen

Afledning til fællessystemet:

- Der passerer en ø400 bt fællesledning gennem den østlige del af fodboldstadion. Den ligger for højt til at atletik- eller fodboldbanerne kan aflede til den
- Bowlinghallen afleder overfladevand til fællesledningen i Møllemarksvej
- Tunnellen under cykelstadion kan tømmes med en pumpe, der leder til fællesledningen i Møllemarksvej



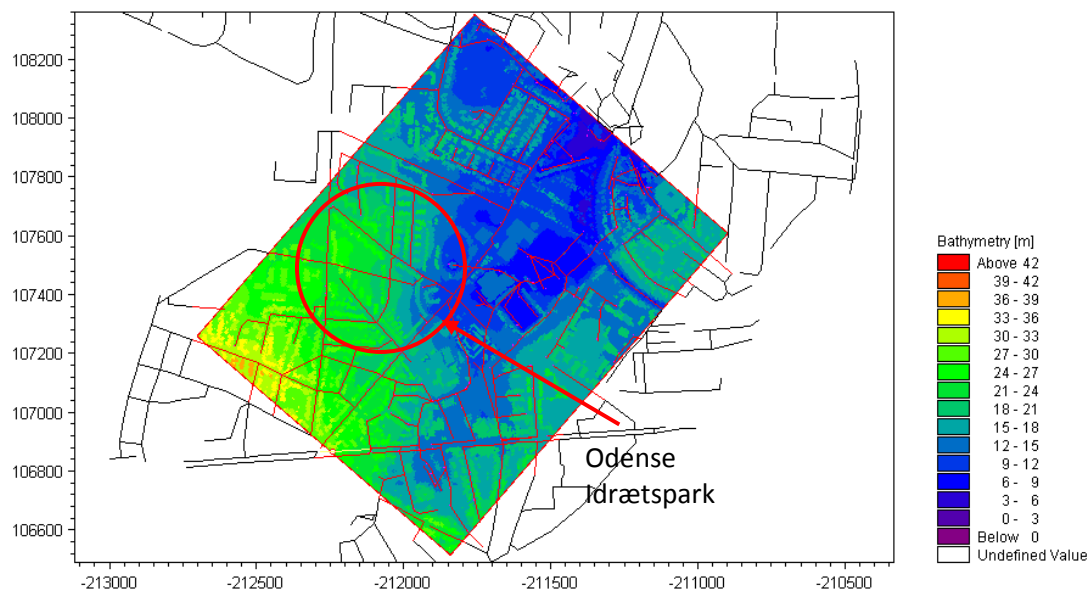
Figur C.2 Oversigtskort over Idrætsparken.

I figur c.3 ses afløbssystemet omkring Idrætsparken. Den blå ledning i figur c.3 er en ø1000 regnvandsledning, der udleder til Bolbrorenden. Ledningen starter i Ole Worms Gade. Den modtager overløb fra fællessystemet i de brønde, der er markeret med en rød cirkel. Det er brønd J50O025 og J51F16X.



Figur C.3 Afløbssystemet i Idrætsparken.

Figur C.4 viser MOUSE model og overflade (koteforhold) for området omkring Idrætsparken.



Figur C.4 MOUSE model og overflade ved Odense Idrætspark.

C.1.2 Beregningsforudsætninger

Der anvendes beregningsværktøjet MIKE Flood som er et koblingsmodul mellem programmerne MOUSE (afløbssystem), MIKE21 (overflade 2D) og MIKE11 (vandløb, etc.). Sidstnævnte kan undlades og anvendes ikke i det følgende. Opsætningen af disse programmer foregår hver for sig. MOUSE og MIKE21 eksekveres simultant fra koblingsmodul MIKE Flood. Der er anvendt et tidsskridt på 2 sekunder, hvilket resulterer i en hastighed for modelkørslerne, jf. overfladeudsnit figur c.4, på ca. 5-6 timer pr. real time (2.6 GHz Pentium)

Tilløbshydrografer og afløbssystemet beregnes i MOUSE. Den anvendte model er suppleret med drænledninger og øvrige ledninger i området ved Idrætsparken, bl.a. er der drænsystemer under fodboldstadion (Fionia Park) og atletikstadion. Oplysningerne stammer fra udleverede kloakplaner.

Ved beregning af de eksisterende forhold er benyttet nedbørsdata fra SVK regnmåler 28181 Bolbro Vandværk på grund af den geografiske placering i forhold til Idrætsparken.

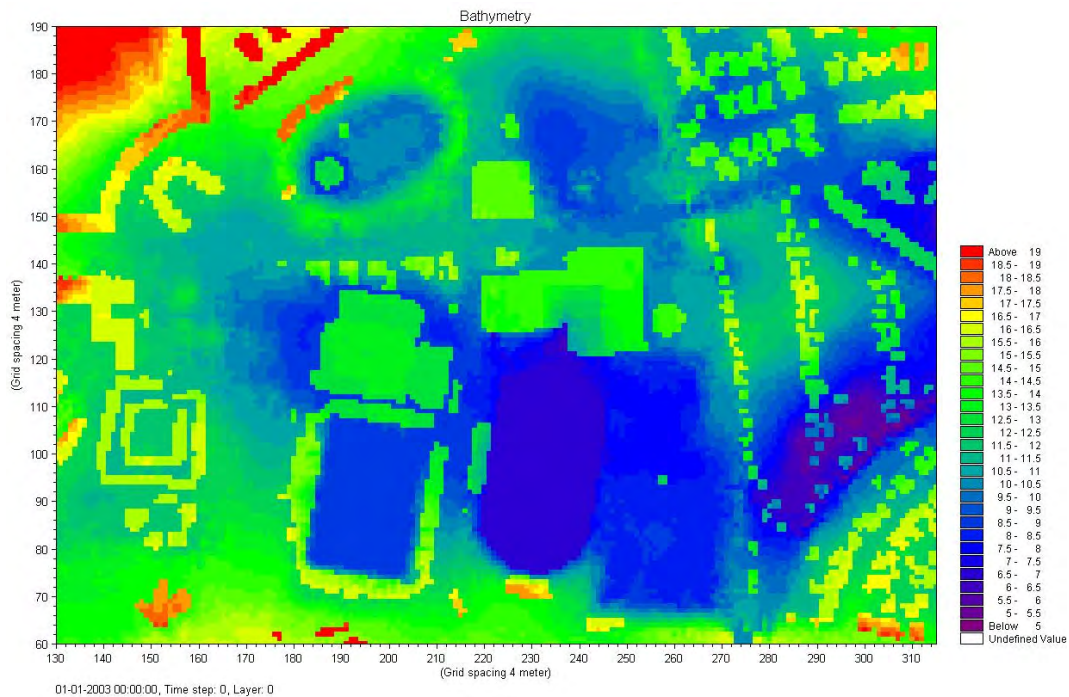
Terrænmodellen er leveret i DVR90, og derfor er alle koter i MOUSE modellen omregnet fra DNN til DVR90, jf. afsnit 1.2.2.

Datagrundlaget for at kunne beregne strømningerne på overfladen er en såkaldt digital terrænmodel (DTM). DTM indeholder i modsætning til DTH (digital højdemodel) ikke veje, huse, etc. Den anvendte DTM er baseret på et 5 m grid, hvor usikkerheden på højden er 35 cm. Referencesystemet er System34/DVR90. I Bilag A er vist et udsnit fra DTM-modellen i området ved Idrætsparken. Figuren viser tætheden af terrænkoter, som er grundlaget for MIKE21 beregningerne.

Interpolationen mellem højdekoterne medfører, at terrænet bliver udjævnet f.eks. på fodboldstadion og atletikstadion. Terrænkoterne er derfor manuelt justeret ind, så de skønsomt svarer til virkeligheden.

MIKE21 modellen sættes op i et j,k-system med en valgt gridstørrelse på 4 meter roteret 50.65° i forhold til MOUSE modellen, således at bl.a. de relevante veje (Møllemarksvej og Højstrupvej) ligger tilnærmelsesvist parallelt med akserne i j,k-systemet. Dette er mest hensigtsmæssigt, da fluxen mellem gridpunkterne kun kan foregå parallelt med j-, eller k-aksen. Overfladen dækker et område på 1.448 m gange 1.140 m svarende til 362 j-punkter og 285 k-punkter. Gridstørrelsen på 4 m er valgt dels på grund af opløsningen på den digitale terrænmodel, dels af hensyn til beregningshastigheden.

Vej, huse og øvrige befæstede arealer foreligger som shape filer (ArcGIS). Shape filerne konverteres og eksporteres til terrænmodellen i MIKE21. Vejene og de befæstede arealer digitaliseres særskilt i ArcMap inden eksport, idet emnerne ikke ligger som lukkede polygoner (områder). Veje og øvrige befæstede arealer importeres i terrænmodellen fratrukket 20 cm, og huse hæves 4 m i forhold til terrænmodellen.



Figur C.5 Overfladen for området omkring Odense Idrætspark. Kortet er drejet som udsnittet på figur c.4.

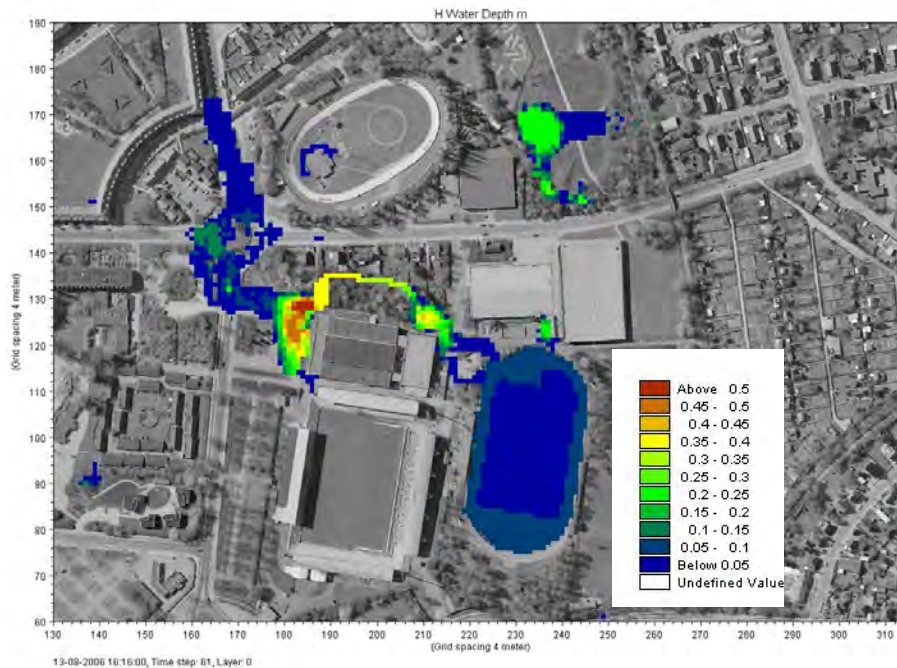
C.1.3 Statusberegninger

Der foretages indledningsvist beregninger for hændelserne d. 13/8 og 17/8 2006 for at verificere modellen i forhold til observationerne samt for at vise, hvordan de to hændelser medførte skader i Idrætsparken på grund af overfladeafstrømningen. Desuden er foretaget en beregning for et scenarie med en 100 års regn (CDS).

Den 13/8 blev der registreret 40,6 mm nedbør i løbet af 4 timer og 50 minutter ved regnmåleren ved Bolbro Vandværk, 28181. Der blev observeret 30-40 cm vand i den nye gymnastiksal, 10 cm vand i isstadions klublokaler og 30-40 cm vand i atletikstadions omklædnings- og depotrum.

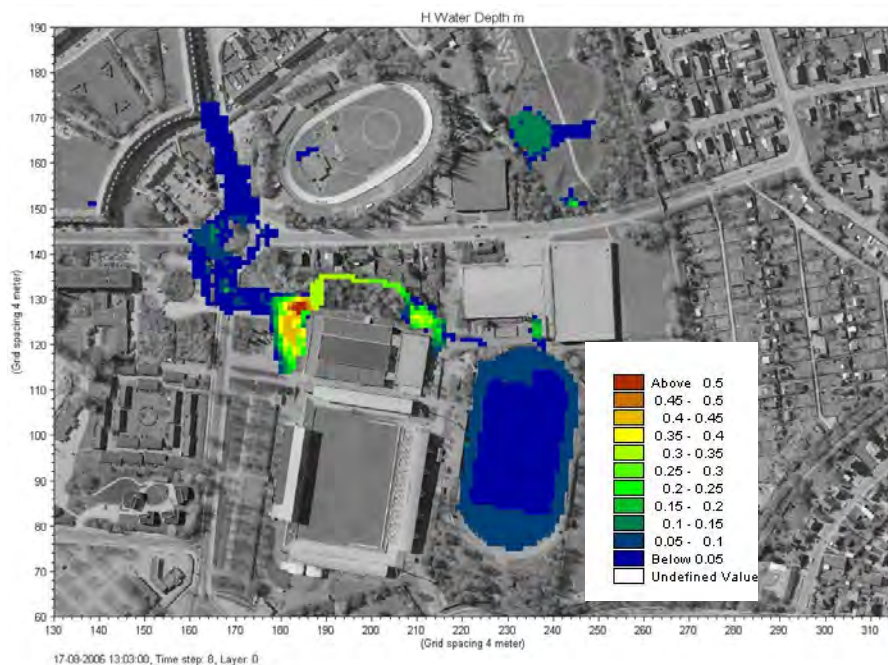
Figur C.6 viser et øjebliksbillede kl. 16:16 (GMT), hvor vanddybden foran indgangen til gymnastiksalen er beregnet til ca. 35-40 cm (gul farve). Dette er den maksimale vanddybde foran gymnastiksalen, og det svarer nogenlunde til observationen som nævnt ovenfor. Regnen startede kl. 11.11 (GMT), så det er først efter ca. 5 timer, det maksimale vandspejl forekommer.

Det bemærkes, at den nye idrætshal (gymnastikhallen) opført i 2005 ikke er med på luftfoto, men den er lagt ind i overfladen.



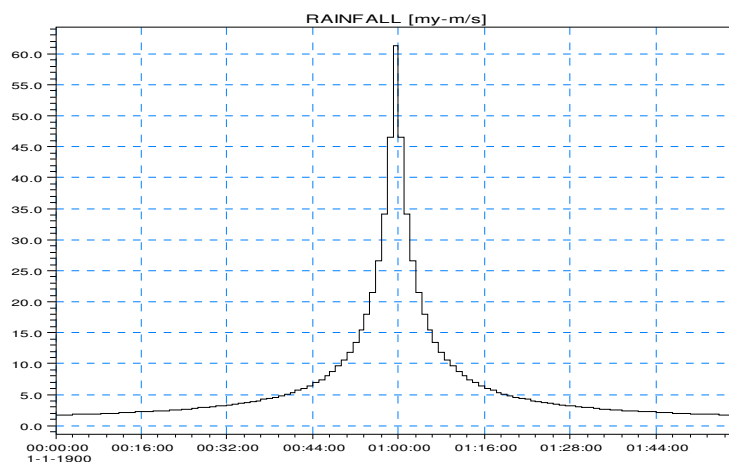
Figur C.6 13/8 2006. Statusberegning med regndata fra 28181 Bolbro Vandværk. Vanddybder kl. 16:16 GMT er vist.

Den 17/8 blev der registreret 17,8 mm regn i løbet af 28 minutter ved regnmåleren ved Bolbro Vandværk, 28181. Regnen startede klokken 12:23 (GMT). Resultatet er stort set det samme som d. 13/8, dog er de maksimale vanddybder en anelse mindre. Figur C.7 viser situationen klokken 13:03.



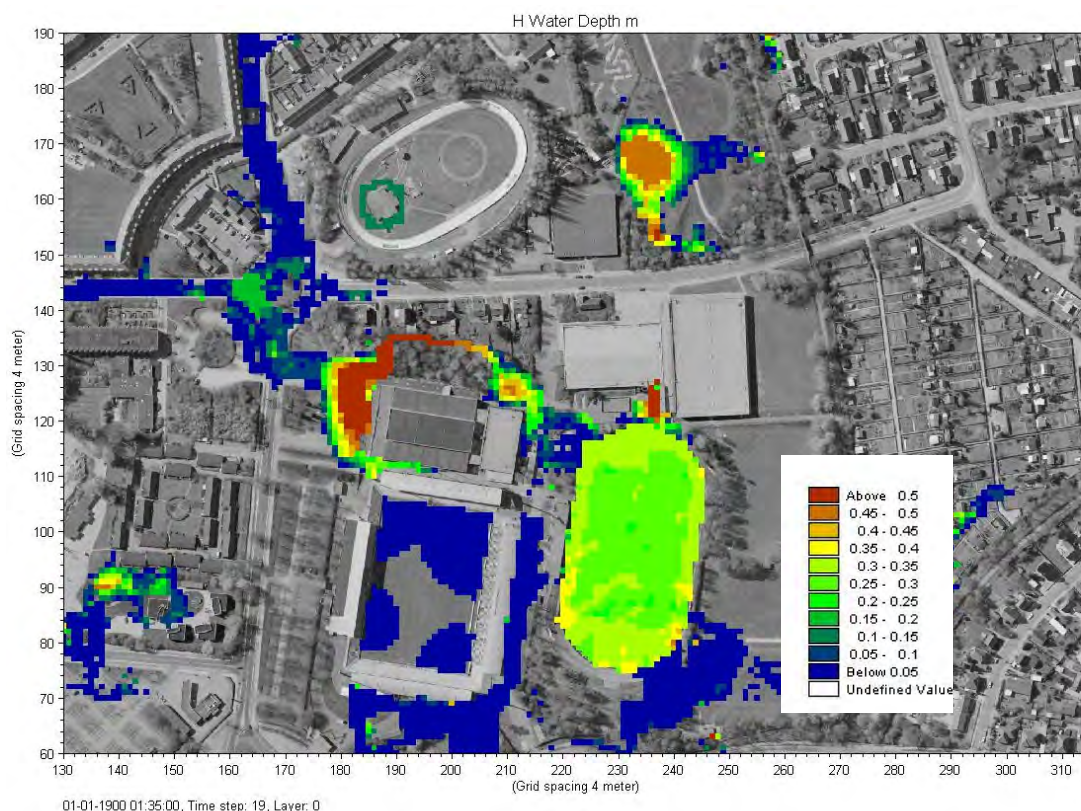
Figur C.7 17/8 2006. Statusberegning med regndata fra 28181 Bolbro Vandværk. Vanddybder d. 17/8 kl. 13:03 GMT er vist.

Der er foretaget en beregning med en 100 års CDS regn (**Chicago Design Storm**) med en varighed på 2 timer. Dette giver en maksimal intensitet på 61,4 $\mu\text{m}/\text{sek}$ (3,7 mm/min) og en regndybde på 48,9 mm, jf. figur c.8.



Figur C.8 100-års CDS regn med stormvarighed på 2 timer.

Regnen medfører vanddybder på terræn foran idrætshallen på op mod 70 cm og vanddybder på ca. 50 cm på atletikstadion.



Figur C.9 100 års CDS regn. Vanddybder 1 time og 35 minutter efter regnens start er vist.

C.1.4 Løsningsforslag

Der er ca. 2 meters højdeforskel mellem gymnastikhallens gulvkote og græsset på atletikstadion. Dette kan udnyttes til at anlægge en grøft eller en kanal, der lægges med gennemsnitlig 6,4 promilles fald med udløb et ikke nærmere fastlagt sted i området ved atletikstadion, som er områdets laveste punkt (kote 6.85 DVR90). Strækningen fra Idrætshallens forside til græsset på atletikstadion er små 300 m. Atletikstadion udnyttes dermed som magasineringsvolumen. Arealet drænes herefter til Bolbrorenden. Der må anlægges diger forskellige steder for at holde vandet væk fra bygningerne, bl.a. ramperne ved isstadion, lokalerne ved atletikbanen og øvrige lokaliteter, hvor vandet kan trænge ind.

Odense Kommunes ejendoms kontor har udarbejdet en skitse af ovenstående forslag til terrænregulering ved Odense Idrætspark, se figur c.10. Planen med terrænreguleringen er, at vandet dirigeres til områdets laveste punkt, som er atletikstadion. Oversvømmelse af atletikstadion er ikke kritisk i forhold til, at trægulvet i Idrætshallen bliver ødelagt af vandindtrængningen.



Figur C.10 Odense Kommunes forslag til terrænregulering.

Kommunens forslag hæver gentagelsesperioden for oversvømmelse af idrætshallens gulv fra ca. 1-2 år til sjældnere end ca. hvert 5.år. Forslaget optimeres ved at vælge en overflade med lille modstand (flisebelægning), en stejlere gradient i starten inden profilet snævrer ind ved hjørnet rundt om idrætshallen og et bredere profil langs idrætshallens husmur mod nordvest. Den færdige kanal er vist i figur c.11. Kanalen har været i brug to gange og har forhindret oversvømmelse af gymnastiksalen.



Figur C.11 Billeder fra området efter terrænregulering.

A P P E N D I K S D

Klimaanalyse for Greve Midt og Karlslunde

D.1 Appendiks D. Klimaanalyse for Greve Midt og Karlslunde

D.1.1 Indledning

Den 1. august 2002 fik Greve Midt en nedbør på 100 mm fordelt på tre timer. Episoden betød, at der skete skadesvoldende oversvømmelser af rådhuset og gymnasiet. Nedbørshændelsen er estimeret til at være en hændelse, der statistisk set forekommer sjældnere end hver 500 år.

Den 3. august 2002 fulgte 30 mm, som ligeledes blev skadesvoldende på grund af, at alle voluminer i kommunen var fyldt fra den forrige regn.

Greve Kommune har siden denne hændelse arbejdet hårdt på at optimere regnvands-systemerne, det gælder såvel driften af systemerne, som opnåelse af funktionskravet og om at være på forkant med problemerne, inden de opstår på trods af, at det er ud over, hvad funktionskravet beskriver, kommunen skal opfylde.

Greve Kommune har valgt at bruge mange ressourcer på arbejdet, da det med ovennævnte hændelser blev klart, at det ikke er et spørgsmål, om der kommer ekstreme nedbørshændelser, men om hvornår de kommer. Hvad der giver de oftere ekstreme hændelser, er for så vidt ligegyldigt for Forsyningsvirksomheden.

I august 2002 var Greve Midt hårdest ramt, da nedbørsskyens centrum var lige over Greve Midt, hvor rådhus og gymnasium er beliggende.

På daværende tidspunkt var det ikke klart, hvem der skulle hvad, f.eks. hvem skulle pumpe hvor og hvorhen. Set i bakspejlet ville det have været en hjælp at have kortlagt, hvem der skulle gøre hvad, hvis der kom en så ekstrem hændelse. Greve Midt bruges derfor i denne case, så det kan illustreres, hvordan overbelastning af afløbssystemer kan analyseres.

Afløbssystemet i Greve Midt er separatkloakeret. Alt regnvand afstrømmer til en hovedregnvandskanal kaldet Streget, som afvander til Køge Bugt via et gravitationsudløb med bundkoten i Streget i kote 0m DNN og et kombineret gravitationsudløb samt en pumpe, der i 2005 blev opgraderet til at kunne yde 1 m³/s, og som er styret af vandstanden i Streget. I denne case fokuseres der udelukkende på separat regnvand.

Forsyningsvirksomheden arbejder p.t. på at opgradere regnvandssystemet i Greve Midt, så det lever fuldt op til de nye funktionskrav for nyanlagte afløbssystemer. Denne case beskriver, hvilke løsninger der arbejdes med for at opnå funktionskravet og fokuserer på at beskrive, hvilke skader der kan forventes, hvis der ikke gøres tiltag på systemet, og hvilke tiltag der kan afhjælpe en del af problemerne ved ekstrem nedbør.

I Greve Kommune er der fra 2003 til 2007 arbejdet på at få en god forståelse af de fysiske forhold i afløbssystemerne gennem anvendelse af kontinuerte målesystemer, hvor vandstand, hastighed og nedbør måles samtidigt i forskellige oplande. Målingerne anvendes til kalibrering af modeller, analyse af driftssituationen og i nogen grad til varsling af afstrømning. I denne case vil mulige varslingsystemer for Greve blive beskrevet.

I den anvendte model er regnvandssystemet opstrøms gymnasiet kalibreret ved hjælp af vandstands-, hastigheds- og nedbørsmålere. I casen følges kagebogens koncept.

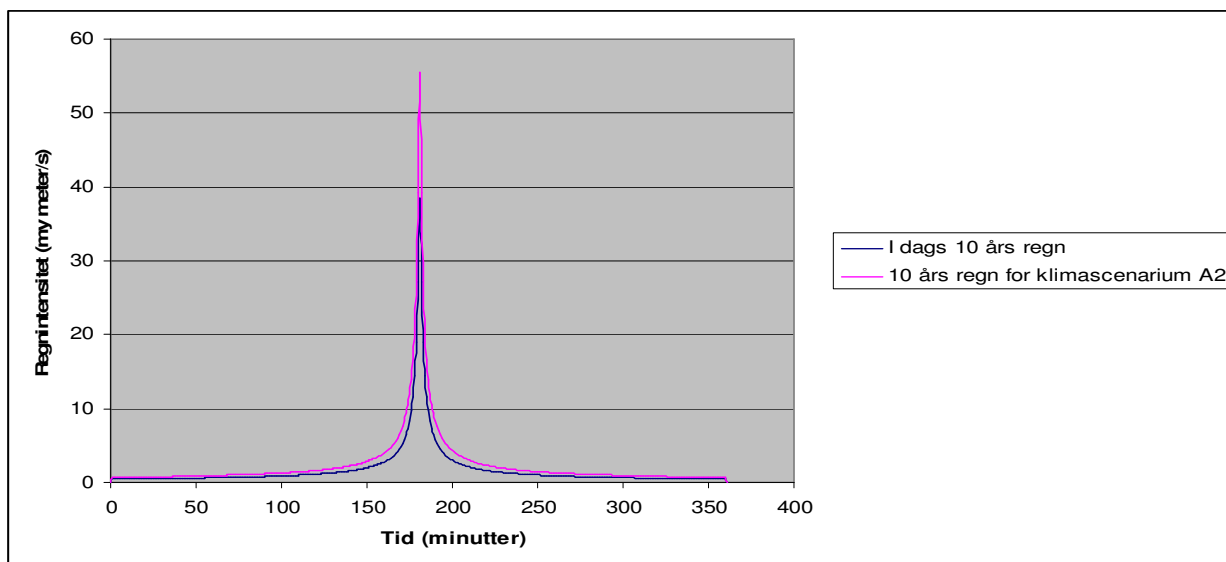
D.1.2 Oplandsbeskrivelse

Byområdet, Greve Midt, er separatkloakeret og har et areal på 520 ha fordelt på 11 oplande, som i alt afvander 260 reducerede ha til hovedregnvandskanalen "Streget". Streget afvander ved gravitation gennem en aflastningsledning og ved gravitation og pumpning ved selve kanalens udløb til Køge Bugt. Området er meget tæt bebygget, hvilket også fremgår af den gennemsnitlige befæstelsesgrad. I området er der: otte bassiner, 50 km regnvandsledninger og ca. 1.250 regnvandsbrønde.

D.1.3 Fremtidig regn over Greve

Ifølge DMI's klimaprognoser forventes i løbet af dette århundrede både en ændret årsfordeling af nedbør og ændrede intensiteter af de enkelte regnhændelser. Der forventes en signifikant vækst i de ekstreme nedbørsmængder og regnintensiteter, specielt om sommeren. I DMI's (p.t. "værste") klimascenarium A2 (for perioden: 2071-2100) bliver årsnedbøren lidt større, og de kraftige regnhændelser om sommeren bliver flere og kraftigere. Sommernedbøren forventes dog totalt set at blive lidt mindre.

På DTU's Institut for Miljø & Ressourcer har man i nogle projekter beregnet, hvor stor stigning klimamodellerne forudsiger for de ekstreme regnhændelser (gentagelsesperioder på 5 og 10 år). For klimascenarium A2 er fundet, at der for disse gentagelsesperioder kan forventes stigninger i regndybden på ca. 20-50%. Modelleringen viser ikke, at der kan forventes ændret intensitetsfordeling i nedbøren. Det vurderes derfor, at stigningen i nedbøren bedst indregnes ved hjælp af en faktor (klimafaktor) på regn som de, der anvendes i dag. For Greve er det på grund af usikkerhed om klimaændringer valgt at benytte en klimafaktor på 1,2. Hertil kommer, at MOUSE modellen for Greve er delvist kalibreret, hvorfor der vælges en modelusikkerhed på 20%, dvs. den samlede faktor på den fremtidige CDS regn bliver 1,44. En nuværende og en klimafremskrevet 10 års CDS regn (inkl. modelusikkerhed) for Greve ses på Figur D.1.



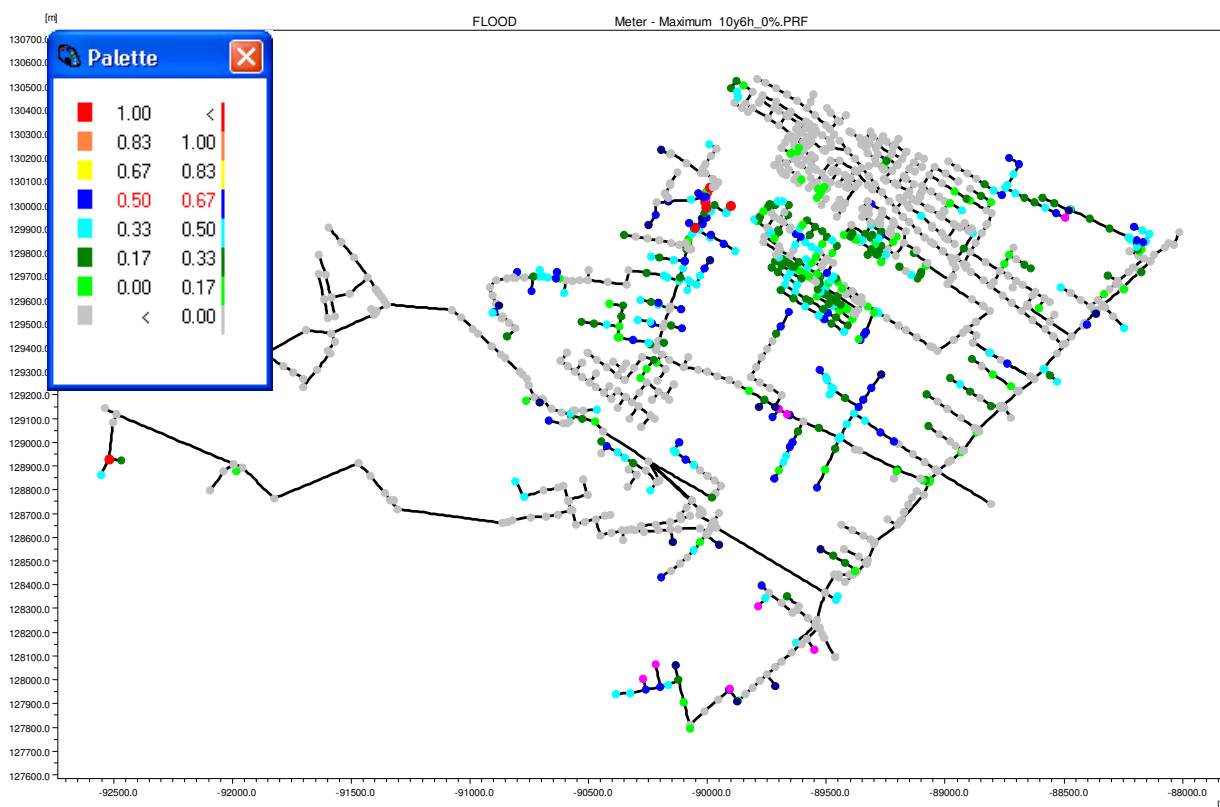
Figur D.1 Nuværende dimensionsgivende og klimafremskrevet 10 års CDS regn for Greve. Tidsskridt = 1 minut. Klimafaktor = 1,2. Den klimafremskrevne regn er baseret på scenariet A2.

D.1.4 Udviklingen i overholdelse af funktionskrav i Greve

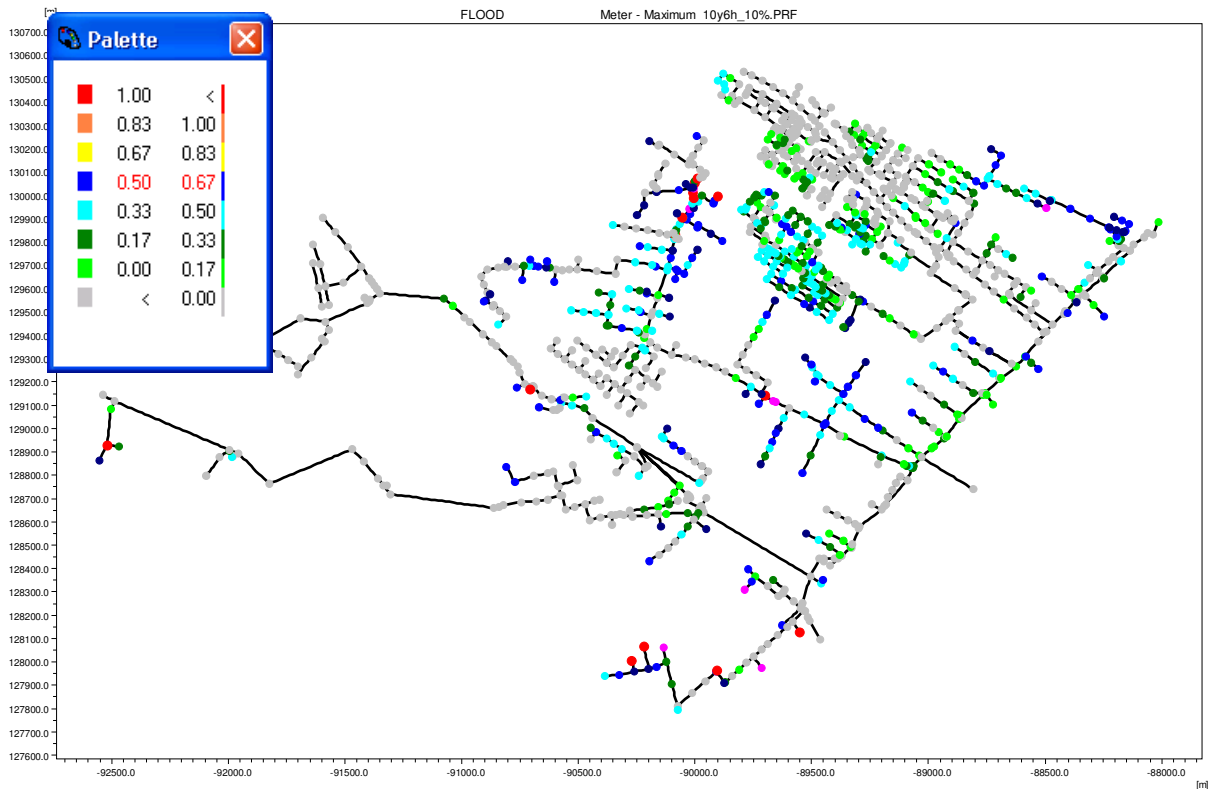
Greve Kommune er interesseret i at analysere udviklingen i, hvordan afløbssystemet overholder nuværende funktionskrav under påvirkning af klimaændringer. For at prioritere tiltag på afløbssystemet simuleres den tidlige udvikling i klimaændringer ved lineært at fremskrive en 10 års CDS regn og vandstanden i Købe Bugt for klimascenarium A2. Dette giver følgende simuleringer:

Tidshorisont	Forventet havspejlsstigning	Regn
I dag	0 cm	10 års CDS regn
Om 10 år	3 cm	10 års CDS regn x 1,22
Om 25 år	7,5 cm	10 års CDS regn x 1,26
Om 100 år	50 cm	10 års CDS regn x 1,44

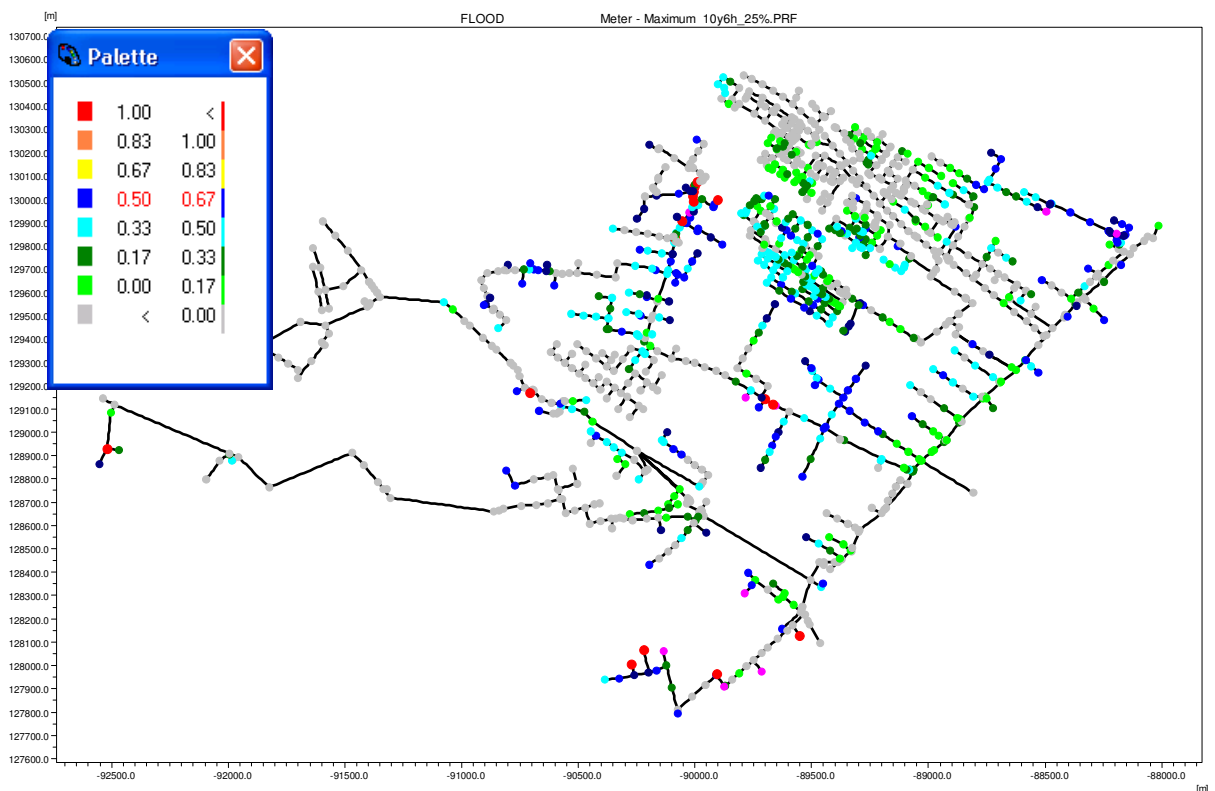
Dvs. der foretages en problemlidentifikation først. Identifikationen foretages ved at køre almindelige MOUSE rørberegninger og ved at identificere steder med oversvømmelser. Da terrænet ikke er beskrevet i de mest almindelige MOUSE modeller, er angivelsen af oversvømmelsesdybden kun indikativ. Resultatet af de fire simuleringer er vist på Figur D.2 til Figur D.5.



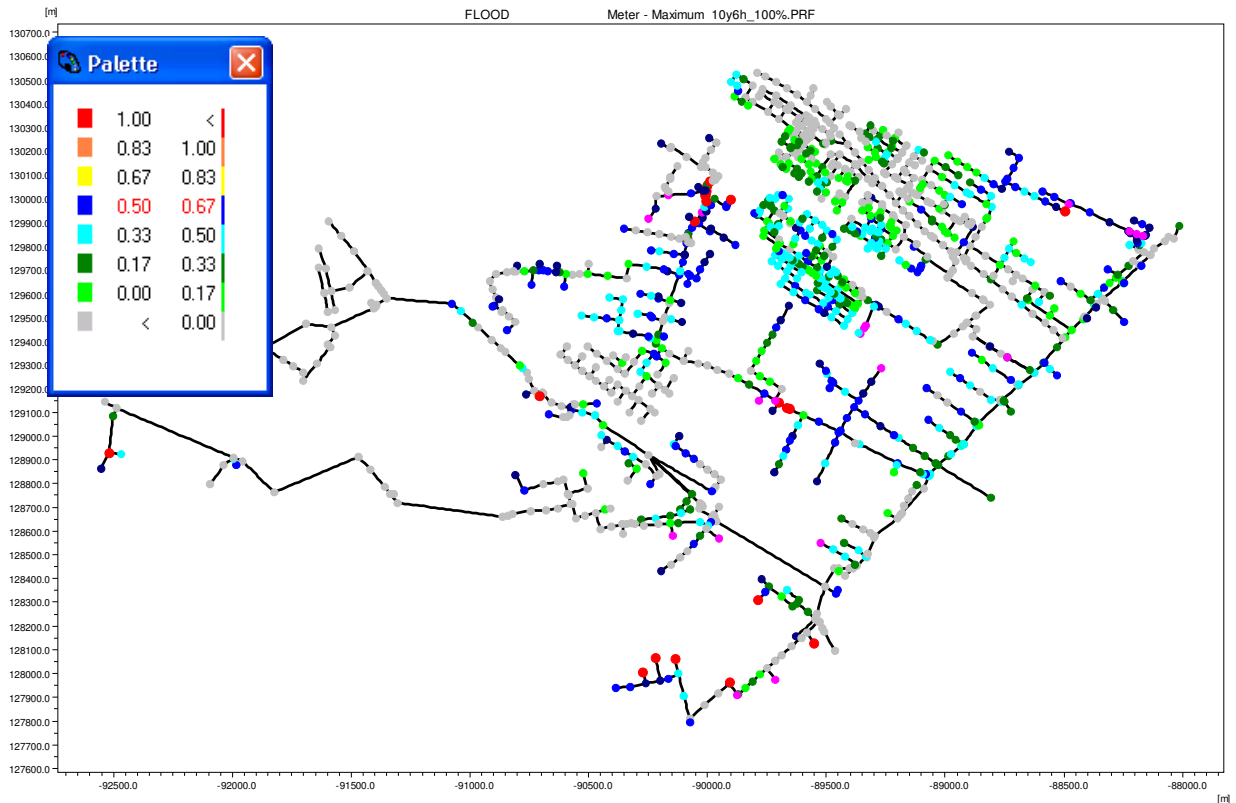
Figur D.2 Indikation af oversvømmelsesdybder, dvs. steder hvor afløbssystemet i dag får problemer for en 10 årsregn. Regninput: 10 års CDS regn.



Figur D.3 Indikation af oversvømmelsesdybder, dvs. steder hvor afløbssystemet om 10 år får problemer for en fremskrevet 10 årsregn. Regninput: 10 års CDS regn og vandstand i Køge Bugt fremskrevet for klimascenarium A2.



Figur D.4 Indikation af oversvømmelsesdybder, dvs. steder hvor afløbssystemet om 25 år får problemer for en fremskrevet 10 årsregn. Regninput: 10 års CDS regn og vandstand i Køge Bugt fremskrevet for klimascenarium A2.



Figur D.5 Indikation af oversvømmelsesdybder, dvs. steder hvor afløbssystemet om 100 år får problemer for en fremskrevet 10 årsregn. Regninput: 10 års CDS regn og vandstand i Køge Bugt fremskrevet for klimascenarium A2.

Efter der er foretaget en probleidentifikation, skal oversvømmelsernes omfang kvantificeret, og omfanget af skader skal vurderes. Til kvantificeringen af oversvømmelser opstilles der en digital terrænmodel, der bruges som overflademodel til MOUSE/MIKE URBAN. Til illustration af metoden vælges det at fokusere på området ved Greve Gymnasium og Greve Rådhus, dvs. de to områder som blev ramt af oversvømmelsen i 2002. Som det fremgår af Figur D.2, forventes der en hel del oversvømmelser i dette område for en 10 års CDS regn i dag. Den kombinerede MOUSE og hydrodynamiske overflademodel (MIKE FLOOD) bruges til at beregne oversvømmelserne i detaljer. Det ses fra Figur D.6, at der kan forventes oversvømmelser (på op til 33 cm ved gymnasiet) om 10 år, hvis klimændringerne følger klimascenarium A2. Bemærk i øvrigt modelusikkerhedsfaktoren, som er sat til 20%. Figur D.7 viser de beregnede oversvømmelsesdybder for klimascenarium A2 om 100 år. Det ses, at klimændringerne nu giver anledning til oversvømmelser på op til 83 cm ved gymnasiet. En sammenligning af de beregnede udbredelser af oversvømmelserne for en 10 årsregn ved Greve Gymnasium om 10 år og om 100 år er vist på Figur D.8 og Figur D.9. Det ses, at udviklingen i en 10 årsregn og i vandstande i havet giver anledning til større oversvømmelser, der forventes at forøges kraftigt, som tiden går.

Der anvendes ikke en sikkerhedsfaktor på området i den eksisterende situation (i dags 10 årsregn), da modellen er kalibreret for den eksisterende situation. For den fremtidige situation med klimændringer og f.eks. udbygning anvendes en sikkerhedsfaktor på 1.2.

Således afspejler ovenstående beregning afløbssystemets funktion for to forhold: 1) Udviklingen i opfyldelsen af funktionskravet og 2) forholdene i ekstreme hændelser hvor den dimensionsgivende nedbør og vandstand i Køge Bugt er overskredet. 2) vil danne grundlaget for beslutningstagen om, hvordan der skal reageres, når hændelserne bliver meget ekstreme, og afløbssystemet ikke kan og ikke skal kunne tage regnvandet. Der kan blive tale om varslingsystemer, som udnytter eksisterende systemer mere optimalt, og en beredskabsplan der beskriver, hvordan driftsforhold skal håndteres, så skader minimeres, og vandet ledes dertil, hvor det gør mindst skade – f.eks. i grønne områder.

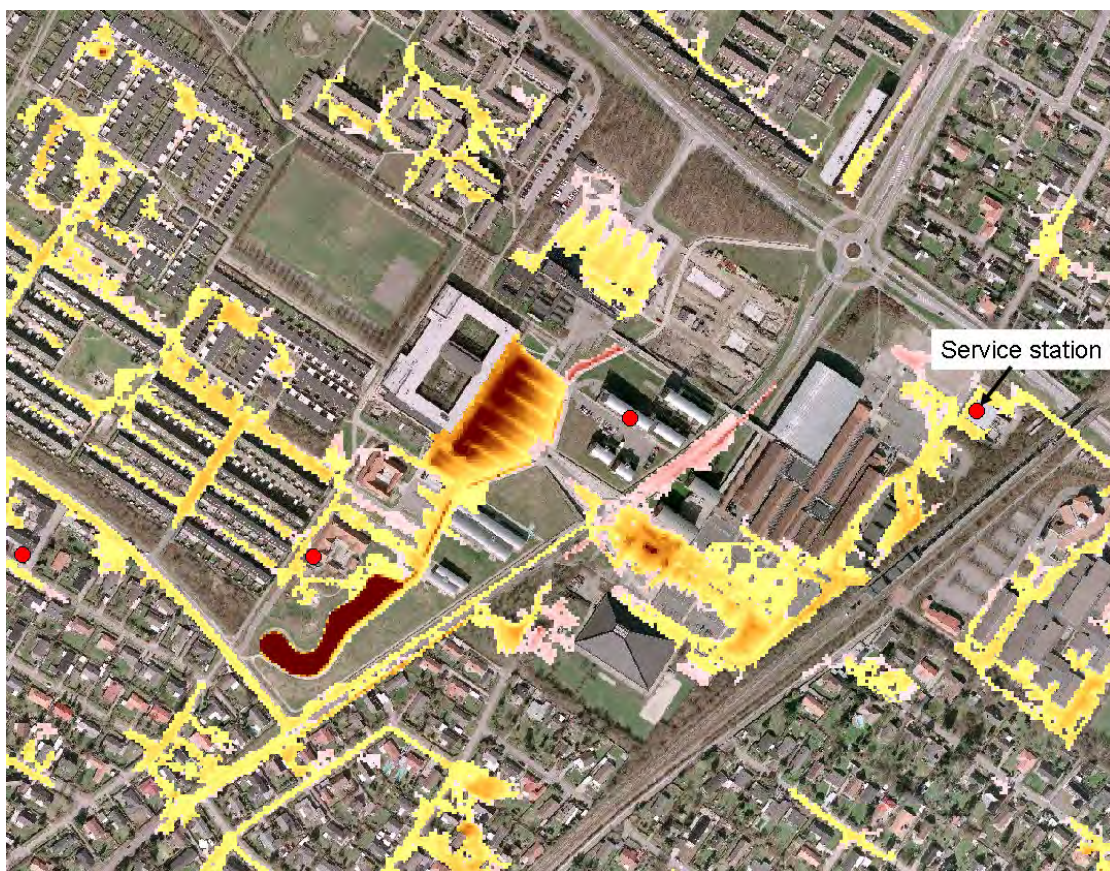


Figur D.6 Maksimale oversvømmelsesdybder beregnet for en 10 års CDS regn, fremskrevet med 10 år. Regninput: 10 års CDS regn og vandstand i Køge Bugt fremskrevet for klimascenarium A2.

Greve Kommune er i dag i besiddelse af en hel del digitaliseret information om kommunens infrastruktur. Denne information ligger bl.a. i kommunens GIS-system, hvilket gør det muligt let at estimere omfanget af skader under de beregnede forhold. Af information om infrastruktur, som er af betydning i forbindelse med oversvømmelser, kan nævnes: Forsyningskabe (de skabe som sidder ved alle matrikler); Fiberpunkt (de steder hvor der er skabe, hvori der sidder samling af fiberledninger); Stationer der samler forsyningskabe; bygninger med kældre; offentlige bygninger og miljøtunge virksomheder. Eksempler på sammenstillinger af kommunens GIS-data med de beregnede oversvømmelser kan ses på Figur D.8. På Figur D.8 ses det f.eks., at oversvømmelsen i området omkring rådhuset forventes at udvikle sig fra en del vand på vejene til, at der på lang sigt også vil ske oversvømmelse af en institution. Samtidig ses det, at servicestationen, vil blive oversvømmet allerede om 10 år, og derfor bør konsekvenser af en sådan oversvømmelse overvejes.



Figur D.7 Maksimale oversvømmelsesdybder beregnet for en 10 års CDS regn, fremskrevet med 100 år. Regninput: 10 års CDS regn og vandstand i Køge Bugt fremskrevet for klimascenarium A2.



Figur D.8 Gul/brun farve indikerer oversvømmelser beregnet for en 10 års CDS regn, fremskrevet med 10 år. Lyserøde farver viser oversvømmelser beregnet for en 10 års CDS regn, fremskrevet med 100 år. Regninput: 10 års CDS regn og vandstand i Køge Bugt fremskrevet for klimascenarium A2.

D.1.5 Alternative løsninger til at reducere skader fra oversvømmelser i Greve

Lige bag rådhuset og gymnasiet ligger der en fodboldbane, som hører til gymnasiet. Under oversvømmelsen i 2002 blev dette område ikke oversvømmet, da det ligger højere end gymnasium og rådhus. Figur D.9 viser fodboldbanen.



Figur D.9 Fodboldbanen bag Greve Gymnasium, som måske kan bruges til opmagasinering af regnvand under ekstremregn.

Da der allerede i dag eksisterer jordvolde omkring fodboldbanen, blev det undersøgt, om det er muligt at lukke jordvolden helt og så under kraftige regn benytte fodboldbanen som et regnvandsbassin. Vand fra afløbssystemet skal så i givet fald pumpes derind. Modellen af afløbssystemet fik tilføjet to pumper, hver med en kapacitet på 0,5 m³/s. Hertil kommer, at der i terrænmodellen er gravet 1,2 m af terræn over hele boldbanen for at skaffe ekstra bassinvolumen under kraftig regn.

Resultatet af beregningen viser, at oversvømmelsens omfang og dybder reduceres kraftigt. Resultatet af denne beregning er vist på Figur D.10, hvor det ses, at den maksimale vanddybde på terræn uden for gymnasiet er reduceret fra ca. 83 cm til 17 cm. Hertil kommer, at udbredelsen af oversvømmelserne i området er reduceret meget kraftigt, se Figur D.9. På Figur D.9 ses det også, at udnyttelsen af fodboldbanen som magasin yderligere har den effekt, at tankstationen og institutionen nu ikke længere oversvømmes for det valgte klimascenarium. Der skal her gøres opmærksom, at effekten på fodboldbanens kvalitet efter en eventuel afgravning af 1,2 m jordlag ikke er undersøgt i dette projekt. For at sikre gymnasiet i ovennævnte situation skal kantstenen foran gymnasiets indgang altså hæves med knap 20 cm.



Figur D.10 Blå/lilla farve indikerer oversvømmelser efter installation af to $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ pumper og anvendelse af fodboldbanen som regnvandsbassin. Røde farver viser omfanget af oversvømmelser før installation af de to pumper. Regninput: 10 års CDS regn og vandstand i Køge Bugt fremskrevet for klimascenarium A2.



Figur D.11 De maksimale vandstande efter installation af to 0,5 m³/s pumper og anvendelse af fodboldbanen som regnvandsbassin. Referenceberegning er vist i Figur D.6. Regninput: 10 års CDS regn og vandstand i Køge Bugt fremskrevet for klimascenarium A2.

D.1.6 Effekter af klimaændringer på vandstanden i Køge Bugt

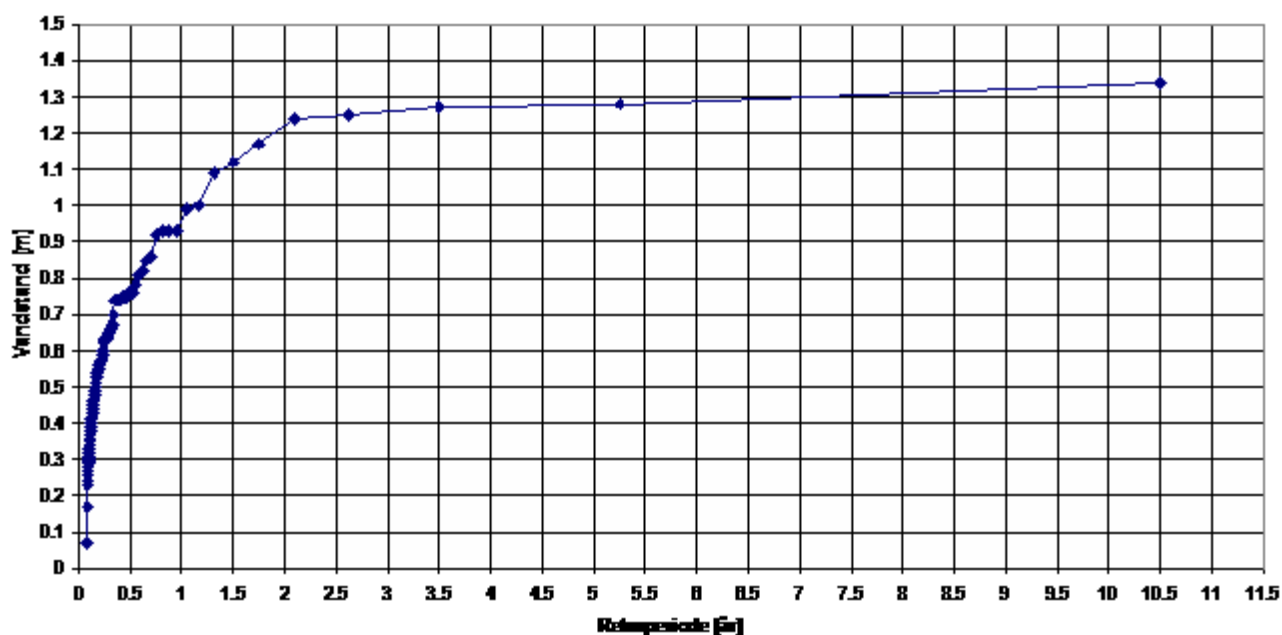
De forventede klimaændringer vil give anledning til øget vandstand i Køge Bugt. Som beskrevet i afsnit 7.2, forventes den tidlige udvikling i middelvandstand at være:

Tidshorisont	Forventet havspejlsstigning
I dag	0 cm
Om 50 år	15 cm
Om 100 år	50 cm

Der kan med fordel gennemføres en relativ hurtig analyse af, hvilken ”direkte effekt” en øget vandstand i havet har på en kystnær kommune som f.eks. Greve. Ved ”direkte effekt” menes, om der kan ske tilbagestuvning fra havet til byen ved ekstremt højvande.

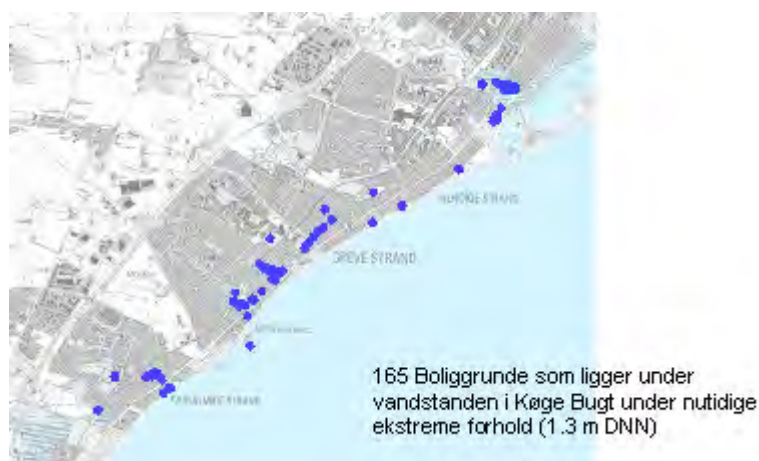
I Greve Kommune er der gennemført en GIS-analyse, hvor terrænniveauet på samtlige matrikler i byen er sammenlignet med den eksisterende ekstreme vandstand og den fremtidige (som er skønnet til at være 0,5 m højere, hvilket formentlig er i underkanten af, hvad der kan forventes, da de ændrede vindstuvningsfelter formentlig vil øges). På Figur D.12 ses gentagelsesperioderne for vandstanden på Drogden Fyr, som har vist sig at være repræsentative for Mosede Havn i Greve. Det ses, at en 10 års hændelse svarer til en vandstand på godt 1,3 m.

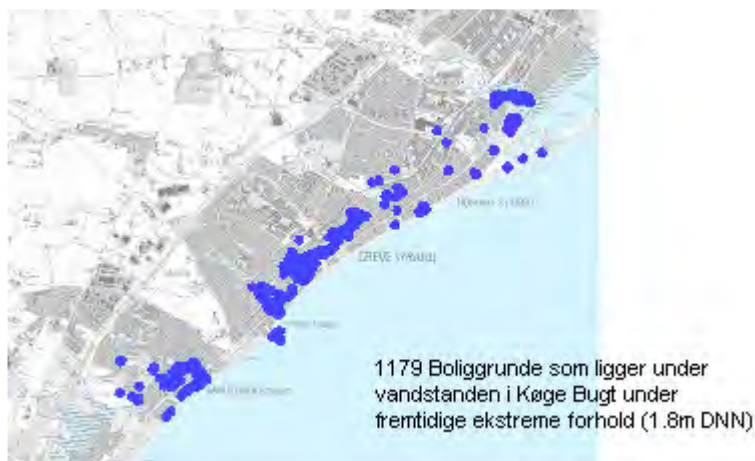
Returperiode for vandstanden målt på Drogden Fyr 1992-2002



Figur D.12 Gentagelsesperiode for maksimal vandstand ved Drogden Fyr, data fra 1992-2002.

I den eksisterende situation viser GIS-analysen, at 165 matrikler ligger under denne vandstand og derfor er potentielt truede ved ekstremt højvande. Øges koten til 1,8 m (1,3 + 0,5 m), øges antallet af potentielt truede grunde til 1.179, se Figur D.9. Denne analyse kan udvides til også at inkludere antal matrikler, som har boliger med kældre; koter til stuegulv, m.m.





Figur D.13 Antal boliggrunde, som ligger under havspejl i dag og under fremtidige klimaændringer pga. stigning i ekstrem vandstand i Køge Bugt.

Hvorvidt der i fremtiden vil ske sammenfald mellem ekstrem vandstand og ekstrem nedbør, vides på nuværende tidspunkt ikke. Af hensyn til en afklaring af forholdene i afløbssystemet er det en yderst relevant analyse, der bør gennemføres. Under eksisterende forhold er der ikke sammenfald mellem ekstremregn og ekstrem vandstand i Køge Bugt.

D.1.7 Sammenfatning

Dette eksempel viser, hvordan man kan fremskrive klimaregn og dermed analysere afløbssystemet for, hvor problemer kan opstå, og man kan kvantificere omfanget af oversvømmelsen og det potentielle omfang af skader.



Prioritering af klimatilpasningen af regnvands- og vandløbssystemer i Greve Kommune



I denne rapport beskrives forslag til prioritering af klimatilpasningen af Greve Kommunes regnvands- og vandløbssystem.

Det er besluttet at klimatilpasse regnvandssystemerne i henhold til serviceniveauet på regnvand og vandløb, så byens borgere ikke skal opleve en øget hyppighed af oversvømmelser fra regnvandssystem og vandløb i fremtiden ved klimaændringer.

Da ikke alle byområder kan tilpasses samtidig prioriteres byområderne på baggrund af oversvømmelserne i 2007, som primært skyldtes ekstreme vandføringer i vandløb.

Udgangspunktet for denne prioritering er: de byområder der er potentielt hårdest ramt skal klimatilpasses først og jo flere oversvømmelser der kan forebygges hurtigst muligt jo bedre

Rapporten er udarbejdet af Forsyningsvirksomheden og kvalitetssikret af DHI Vand · Miljø · Sundhed, ved Forretnings- og Udviklingschef Ole Mark

Prioritering af klimatilpasning i Greve Kommune baseret på erfaringer fra oversvømmelserne i 2007 og terrænforhold i byen

INDHOLD

1.	Baggrund.....	2
2.	Diskussion og konklusion	3
3.	Datagrundlag for prioriteringen	5
4.	Beskrivelse af metoden for prioriteringen	6
5.	Det videre arbejde med klimatilpasning	8
5.1.	Klimatilpasning af hovedregnvandssystemerne på tværs af de prioriterede områder	8
5.2.	Klimatilpasning af de enkelte byområder	8
6.	Tidsplan.....	9
7.	Relationer	10
7.1.	FNs internationale klimapanel (IPCC).....	10
7.2.	Staten.....	10
7.3.	Forslag til Kommuneplan 2009-2021	10
7.4.	Nabokommunerne	10
8.	Fremtiden/Visionen.....	11
8.1.	Grundvandsmodel	11
8.2.	Hav	11
9.	Referencer	11

BILAG

1. Registreringer af oversvømmelser i 2007.
2. Pointgivning af byområderne.
3. Placering og antal af bygninger større end 50m², som ligger i et hul indenfor hvert byområde.
4. Erhverv og offentlige bygninger (større end 50m², som er beliggende i et hul).
5. Tabel med samtlige data anvendt til prioriteringen. Herunder: Navne på klimatilpasningsbyområder (i det følgende kaldet ”byområderne”, bemærk byområderne har navne efter større kvarterer eller veje i byområdet som ikke beskriver alt areal som er med) og særlige bemærkninger til byområder i relation til rangordningen
6. Prioriteringen af byområderne.

Rapporten er udarbejdet af Forsyningsvirksomheden og kvalitetssikret af DHI Vand · Miljø · Sundhed, ved Forretnings- og Udviklingschef Ole Mark.

1. BAGGRUND

Greve Byråd har besluttet et nyt serviceniveau for afledning af regnvand via regnvandssystem og vandløb, som omfatter hensynet til øget nedbør og vandstand i Køge bugt pga. klimaændringer, se reference 1.

I det følgende anvendes betegnelsen: "Klimatilpasning af afstrømningssystemerne". Når afstrømningssystemerne (regnvandsledninger, vandløb, regnvandsbassiner osv.) i et byområde er klimatilpasset, betyder det, at der kan garanteres imod oversvømmelser for en 5-10 års nedbørshændelse i dette område i henhold til serviceniveauet (reference 1). Byrådet har dertil besluttet, at ikke kun kommende systemer, men også de eksisterende afstrømningssystemer i Greve Kommune skal klimatilpasses, dvs. skal opnå det nye serviceniveau. Der skal derfor foretages en analyse af samtlige afstrømningssystemer, og hvor de nye servicekrav ikke er opfyldt skal der etableres anlæg som sikrer det nye niveau. Som en konsekvens heraf er spildevandstaksten hævet i 2008, se reference 2.

Spildevand og regnvand er separeret i størstedelen af kommunen, dog er byområderne mellem strandvejen og Køge Bugt på strækningen mellem Lille vejle Å og Mosede Havn ikke kloakeret til at aflede regnvand. Kun i Tune findes der et fælleskloakeret system hvor regnvands og spildevand blandes i de samme ledninger. Prioriteringen af klimatilpasningen, som beskrives her, omfatter derfor kun regnvandssystemet i alle byområder og fællessystemet i Tune. Håndteringen af indsatsen imod kælderoversvømmelser fra spildevandssystemet behandles i andre projekter (herunder etableringen af en aflastning af spildevandssystemet ved renseanlægget).

En gennemførelse af en fuld klimatilpasning af afstrømningssystemerne i kommunen med tilhørende analyser af de eksisterende systemer kan ikke gøres alle steder på én gang. Det er derfor nødvendigt at prioritere klimatilpasningen mellem de forskellige byområder.

I første omgang foretages en prioritering af byområderne baseret på erfaringer og højdekort. Prioriteringen foretages ved, at de områder som bliver oversvømmet først prioriteres først. Metoden er helt i tråd med beskrivelserne i EU's oversvømmelsesdirektiv.

Prioriteringen som er beskrevet her kvalitetssikres ved hjælp af en overordnet model af afløbssystemet, en hydraulisk model, (strategimodellen se reference 3), der simulerer vandstande i byområderne, når der forekommer hhv. store vandføringer fra baglandet og ekstreme nedbør. Ved denne metode sammenlignes de simulerede vandstande med højderne i terræn og potentielle oversvømmelser identificeres og sammenlignes med erfaringer.

Metoden sikrer at de borgere, som blev ramt af oversvømmelserne i 2007, får deres afløbssystemer tjekket først.

Selve klimatilpasningen gennemføres i henhold til "Klimakogebogen", som Greve har været med til at udarbejde i samarbejde med Odense, DHI og PH-Consult for Dansk Vand- og Spildevandsforening (DANVA).

2. DISKUSSION OG KONKLUSION

Samtlige byområder i Greve vil blive hydrauliske vurderet, og alt efter behov blive klimatilpasset, men prioriteringen af klimatilpasningen foretages i første omgang kun på områder, hvor der er vandløb eller regnvandssystem. En relativt stor del af kystområderne har ikke regnvandssystem og medtages derfor ikke i klimatilpasningen. På et senere tidspunkt vil der evt. blive udarbejdet politisk grundlag for beslutning om der skal etableres et regnvandssystem. Øget vandstand i Køge Bugt som følge af klimaændringer kan vise sig at give højere grundvandsspejl i byområdet langs kysten, hvilket kan betyde, at muligheden for nedsivning af regnvand reduceres i dette område og oversvømmelsesrisikoen måske øges. Analyser vha. grundvandsmodellen vil kunne afdække dette spørgsmål.

De registrerede oversvømmelser i 2007 er foretaget ved indberetninger fra byens borgere og ud fra Forsyningsvirksomhedens observationer og erfaringer fra oversvømmelserne i 2007. Det er derfor ikke 100 % sikkert, at alle oversvømmede områder er med i den her foretagne prioritering. Ligeledes kan det ikke udelukkes, at enkelte oversvømmelser kan have skyldtes tilstanden af regnvandssystemet. Regnvandssystemets funktion og vedligeholdelsesstand er pt. ved at blive gennemgået ved hjælp af TV-inspektioner. Hvor der konstateres uregelmæssigheder foretages der oprensning og/eller reovering. Dette arbejde afsluttes i 2011.

Da tilstanden af regnvandssystemet endnu ikke er fuldt gennemgået og da alle oversvømmelser ikke nødvendigvis er registreret, er en vurdering af prioriteringen med den hydrodynamiske model (strategimodellen) meget vigtig. Det foreslås, at når de hydrodynamiske modeller er færdige vil den her foreslåede prioritering blive vurderet ved hjælp af Strategimodellen. Hvis det viser sig, at prioriteringen ændrer sig væsentlig ved anvendelse af modellerne, vil der blive foretaget detaljerede vurderinger af det enkelte område, og først derefter vil prioriteringen evt. blive foreslået ændret.

Lovmæssige hensyn vil også kunne give et behov for omprioriteringer, herunder de kommende vandplaner.

Resultatet af prioriteringen af klimatilpasningen betyder, at regnvandssystemet i nogle af Greves byområder og fællessystemet i Tune, vil blive udvidet med større ledninger, nye bassiner osv., men i andre områder vil det kunne vise sig, at systemerne allerede kan aflede de fremtidige 30 % mere vand pga. klimaændringer, og der vil derfor ikke blive etableret nye anlæg i de pågældende områder. Andre steder vil det kunne vise sig, at klimatilpasningen i ét byområde også får gavnlig effekt i et andet byområde, som derfor ikke behøver yderligere anlæg.

Disse sammenhænge vil løbende blive afdækket, i takt med at Strategimodellen bliver forbedret med målinger og ved erfaringsopsamling lokalt.

Det er således ikke nødvendigvis et problem/en svaghed for et område at være prioriteret til klimatilpasning sent, men afspejler snarere at afløbssystemet er i god funktion.

I alle byområder vil der blive udarbejdet beredskabsplaner, som vil sikre, at der er en plan for hvad der skal gøres, når systemet udsættes for regnmængder, som ligger ud over det fastlagte klimasikrede serviceniveau (se beskrivelsen af serviceniveauet i reference 1). Det gælder såvel ekstrem nedbør som høj vandstand i Køge Bugt.

Når ”beredskab” bliver nævnt i det følgende er der kun tale om beredskab specifikt imod vand på terræn. Beredskabsplanerne for samtlige byområder vil blive prioriteret i en samlet beredskabsplan.

Det gælder derfor for områder som ligger sidst i prioriteringen, at de også hurtigt får glæde af klimatilpasningen i Greve, idet hovedregnvandssystemer og vandløb optimeres, der udarbejdes midlertidige beredskabsplaner for alle områder, der udarbejdes en grundvandsmodeller for hele byen og der gennemføres en analyse af havvandsstandsstigningers effekt på oversvømmelsesrisikoen for hele Greves kystområde.

Greve Kommune vil, med det foreliggende materiale kombineret med beregningerne med Strategimodellen, have implementeret EU's Oversvømmelsesdirektiv (se reference 4) i Greve for vandløb (og regnvandssystemet) og med havprojektet også for havet. Dertil vil planlægningen af indsats imod oversvømmelser fra regnvandssystemet være implementeret med samme retningslinier, som det forventes, at staten vil kræve for oversvømmelser fra vandløb og hav.

3. DATAGRUNDLAG FOR PRIORITERINGEN

Det er valgt at opdele byområderne så de stort set følger opdelingen af regnvandsoplandene, så det sikres at der kan gennemføres hensigtsmæssige hydrauliske analyser ved klimatilpasningen af afstrømningssystemet.

Til prioriteringen anvendes:

- Erfaringer fra oversvømmelserne i juli 2007, som er oplyst direkte fra borgere eller grundejerforeninger. Forsyningen har undersøgt om der er satellitbilleder af oversvømmelsen i 2007, men der er desværre ikke nogen satellitbilleder fra de dage oversvømmelsen stod på. Prioriteringen er ikke baseret på oversvømmelserne i 2002, da denne nedbør var ulige fordelt over kommunen med ekstrem nedbør i den centrale del af kommunen.
- Der er en vis usikkerhed på indsamlingen af data, da den er baseret på borgeres henvendelser og Forsynings erfaringer. "Vand i Greve" har gennemført en spørgeskemaundersøgelse hos grundejerforeningerne i Greve som er inkluderet i materialet.
- Digitaliseringen af regnvandssystemet. Indtastningen af regnvandsledningerne så de findes i digital form foretages i Forsyningsvirksomheden.
- Digital terrænmodel for Greve Kommune som er anvendt til at beregne dybden af fordybninger i terrænoverfladen. I det følgende kaldet "Hulkortet". Hulkortet er udarbejdet af rådgiver for Forsyningsvirksomheden på baggrund af terrænmodellen leveret af BlomInfo i 2005.
- Gis-temaer over bygninger i kommunen samt tema for erhverv og offentlige bygninger, som er udarbejdet af Center for IT & Digitalisering.

4. BESKRIVELSE AF METODEN FOR PRIORITERINGEN

Teknik og Miljøudvalget har bedt administrationen prioritere klimatilpasning ud fra deisen: de der er potentielt hårdest ramt skal klimatilpasses først og jo flere der kan hjælpes hurtigst mulig jo bedre.

Denne politiske udmelding kan implementeres i praksis ved følgende ingeniørmæssige fremgangsmåde:

- Klimatilpasningsområderne udvælges som de hydraulisk mest hensigtsmæssige. På bilag 5 ses klimatilpasningsbyområderne med navne.
- Byområderne inddeles i følgende kategorier ved hjælp af erfaringerne fra oversvømmelsen 2007 efter følgende princip:
 - 10: der har været oversvømmelse i stueplan
 - 5: kælderoversvømmelser (primært med regnvand på terræn)
 - 2.5: oversvømmelser på terræn nær bygninger
 - 0-2: Huldybden hvor der ligger huse bestemmer et områdes karakter (potentielle problemer med højintens regn)

På bilag 1 er oversvømmelserne fra 2007 præsenteret.

- Der gives bemærkninger til områder som ligger i samme kategori og evt. differentieres pointgivningen indenfor kategorien. Point i et område kan ændres hvis:
 - Der er få/flere huse der har været oversvømmet (10 til 7: oversvømmelser i stueplan i enkeltbolig og vand på terræn)
 - Der er delvist klimatilpasset (pumper, jordvolde osv.) (f.eks. 10 til 9 da der er gennemført hurtige tiltag)
 - Point for et område vil aldrig ændre sig mere end at de ligger i samme kategori.

På bilag 2 ses pointgivningen for byområderne. Bemærkningerne er givet i bilag 5.

- Antallet af bygninger større end 50m² som ligger i et hul optælles, se bilag 3. Det er valgt at anvende bygninger der er større end 50m², da der ellers medregnes carporte, garager, udhuse m.v.
- Prioritering:
 - Højest point prioriteres først
 - Flest huse med samme point prioriteres højst
 - Se en illustration af princippet i nedenstående tabel:

Point	Antal bygninger i huller	Prioritering
10	320	2
10	56	3
10	467	1
9	435	4
7	67	6
7	109	5
5	34	7
2	81	8

Tabel med illustration af princippet for prioriteringen vha. pointgivningen

På bilag 5 og bilag 6 ses den foreslåede prioritering af byområderne

For at give et indtryk af oversvømmelsesrisici for erhverv og offentlige bygninger er antallet af disse, som er beliggende i hullerne, angivet for hvert byområde. Se bilag 4.

De hydrauliske modeller vil blive udviklet og forbedret gennem måleprogrammer og erfaringer i de næste par år. Hvis lovmæssige hensyn eller modelberegningerne viser, at der er grund til at prioritere anderledes end det er gjort her, vil det blive præsenteret politisk og administrationen vil give en indstilling til en omprioritering.

Økonomiske aspekter kan tilsvarende give anledning til at det kan vise sig nødvendigt at omprioritere. F.eks. hvis det viser sig at et relativt let og billigt tiltag vil have stor positiv effekt på klimatilpasningen (som f.eks. det er gjort med etableringen af en udløbspumpe i Karlslunde).

Resultatet af den gennemførte prioritering ses på figur 6. Sammenlignes prioriteringen med oversvømmelsesbilledet på bilag 1, ses der en klar sammenhæng: der hvor der har været flest oversvømmelser klimatilpasses der først.

Dog er der afvigelser, f.eks. er Godsparken ikke prioriteret først, men som nr. 8, hvilket skyldes (som beskrevet i bemærkningerne bilag 5), at der allerede er etableret en vold, kontraklapper m.m. som giver en væsentlig beskyttelse af område.

5. DET VIDERE ARBEJDE MED KLIMATILPASNING

5.1. Klimatilpasning af hovedregnvandssystemerne på tværs af de prioriterede områder

Regnvandssystemerne i byen hænger sammen i hovedledninger og vandløb (hovedsystemer), dvs. store ledninger og kanaler, som transporterer regnvand fra oplandene bag byen og fra byen til kysten. Disse hovedsystemers kapacitet er naturligvis afgørende for, om der kan afvandes 30 % mere nedbør fra hvert enkelt byområde (i de tilfælde hvor der ikke kan etableres anlæg der tilbageholder den ekstra vandmængde i oplandet).

Første skridt i klimatilpasningen bliver derfor at vurdere den hydrauliske kapacitet i alle disse hovedsystemer. Der opstilles derfor vandførings-, vandstands- og nedbørsmålere i disse systemer som det første. Målerne i hovedsystemerne vil blive anvendt til en overordnet kalibrering af hovedsystemerne i Strategimodellen. Baseret på dette etableres grundlaget for klimatilpasningen af hovedsystemerne kapacitet i alle byområder.

Hovedsystemerne må klimatilpasses fra by til hav hvis det viser sig, at vand skal ledes væk fra byområderne i stedet for at vandet tilbageholdes i områderne. Det betyder, at det i nogle tilfælde vil være nødvendigt at etablere løsninger i form af anlæg, som er beliggende i et andet byområde end det som klimatilpasses – da opstrøms indgreb også har en stor betydning nedstrøms.

Målerne i hovedsystemerne vil blive anvendt til en overordnet kalibrering af hovedsystemerne i Strategimodellen. Strategimodellen vil derefter blive anvendt til at etablere midlertidige beredskabsplaner for samtlige byområder. Beredskabsplanerne vil foreligge i 2012. De vil i overordnede træk beskrive de sårbare områder i byområderne, og vil give forslag til, hvad der kan gøres i tilfælde af ekstrem regn.

5.2. Klimatilpasning af de enkelte byområder

Når alle områder er prioriteret, og når hovedledningerne er gennemgået, starter arbejdet med den hydrauliske vurdering af regnvandssystemet i det enkelte byområde.

Første skridt er en lokal detaljering af strategimodellen i det enkelte område, så den afspejler de korrekte fysiske forhold (alle øvrige byområder simplificeres i modellen). Sideløbende (eller inden) indsamles målinger, så det sikres, at den hydrauliske model svarer til virkeligheden.

Når modellen er kalibreret påtrykkes den de i servicekravet definerede randbetingelser i form af nedbør og havvandstand.

Er det nye serviceniveau ikke opfyldt, findes der løsninger for de største ledninger og derefter de mindre ledninger, som fører vand fra relativt få bygninger og veje. Udvidelse af regnvandsledningerne vil blive foretaget i tæt samarbejde med renoveringsarbejdet af regnvandssystemet.

Strategimodellen opdateres med løsningerne og påtrykkes en ekstrem nedbør, der overskrider serviceniveauet. Hermed bliver det klart og visualiseret, hvor evt. ekstremsituationer vil vise deres

effekt i form af oversvømmelser. På baggrund af disse modelresultater udarbejdes der beredskabsplaner.

Beredskab kan etableres enten som blivende anlæg, dvs. anlæg som etableres i systemet og som optimerer afløbssystemet (hvilket giver et højere serviceniveau som volden ved Godsparken er et eksempel på). Eller som instrukser til hvad der skal gøres under ekstrem regn, som er kraftigere end serviceniveauet foreskriver. Dvs. en beskrivelse af hvor sandsække bør placeres, hvorfra og – til der kan pumpes m.m. (som f.eks. beredskabsplanen ved Greve Midt).

Forslagene til løsninger og beredskabsplaner behandles politisk og der iværksættes detailprojektering. Detailprojekteringen godkendes politisk inklusive frigivelse af nødvendig anlægsbevilling.

Klimatilpasningen gennemføres i henhold til ”Klimakogebogen” som Greve har været med til at udarbejde i samarbejde med Odense, DHI og PH-Consult for Dansk Vand- og Spildevandsforening (DANVA).

Klimatilpasningen af de enkelte byområder starter med tilpasning af de store systemer som gavner flest mulig. Når disse systemer er etableret for hele kommunen etableres klimatilpasningen af de små ledninger, der afvander få bygninger og veje, efter den her gennemførte prioritering.

Ændringer indenfor regnvandssystemet er en administrativ/politisk beslutning, men næsten enhver ændring i vandløbssystemet er desuden reguleringssager med deraf følgende offentlighedshøring og myndighedsbehandling. Klimatilpasning af vandløb vil derfor foregå med en langt større træghed.

6. TIDSPLAN

Prioriteringen af klimatilpasningen er opdelt i 42 byområder. Det er besluttet, at klimatilpasningen skal foregå over de kommende 11-14 år.

Det forventes alt efter størrelsen af byområdet at der kan gennemføres klimatilpasning af ét byområde på 2 år: ét år til målinger og analyse og ét år til den fysiske implementering. Det betyder at der i det år der måles skal falde relativt meget regn for at modellerne kan kalibreres tilfredsstillende. I praksis vil kalibreringen foregå på nedbør som er observeret. Er de ”for små” med følgende usikkerhed på modelresultaterne vil det blive oplyst i den politiske behandling af de enkelte sager og det vil kræve en politisk beslutning af om klimatilpasningen alligevel skal gennemføres på det foreliggende grundlag.

Det forventes, at der kan gennemføres klimatilpasning af 4 områder per år. I 2009 gennemføres der 3 klimatilpasninger og de i prioriteringen efterfølgende områder gennemføres derefter i rækkefølge.

Som tidligere beskrevet kan der være områder hvor der ikke skal etableres deciderede anlæg i et byområde fordi serviceniveauet allerede er opfyldt. I disse områder vil klimatilpasningen i form af etablering af beredskabsplaner blive gennemført hurtigere og tidsplanen vil derfor gå hurtigere. I år hvor der er relativt små nedbør kan det blive nødvendigt at vente på mere regn og tidsplanen kan blive forsinket.

7. RELATIONER

7.1. FNs internationale klimapanel (IPCC)

IPCC står for globale beregninger af klimaændringer og melder ud hvilken effekt vi kan forvente af udledningen af CO₂. Det må forventes, at der i løbet af den periode hvor Greve Kommune klimatilpasses vil komme nye meldinger fra IPCC. Nye udmeldinger fra IPCC kan både komme til at opjustere eller nedjustere forventninger til kommende ekstrem regn og Danmark. Det foreslås, at disse udmeldinger fra IPCC, når de er omsat til praksis tages i ind i betragtningerne af afløbssystemet i Greve. Det forventes dog, at de systemer, som opgraderes i Greve er robuste for nye IPCC prognoser, idet der ved beregningerne af klimatilpasningen i Greve tages hensyn til både øget nedbør og en gennemsnitlig havvandstandsstigning på 65 cm og endelig lægges der en sikkerhedsfaktor til beregningerne. Næste IPCC rapport forventes om 4-5 år.

7.2. Staten

I arbejdet med klimatilpasningen vil der være påkrævet et tæt samspil med implementering af vandplanerne som er en del af Vandrammedirektivet. Dette er helt i tråd med formuleringerne i EU's oversvømmelsesdirektiv. Greve Kommune følger implementeringen af EU's oversvømmelsesdirektiv i lovgivningen tæt.

De kommende statslige vandplaner, vil indeholde overordnede mål og retningslinier for vandmiljøet og kan muligvis ændre på de prioriteringer der er fremsat i rapporten

7.3. Forslag til Kommuneplan 2009-2021

Under den igangværende kommuneplanrevision vil der være flere områder, som efter de viste datagrundlagskort vil være i farezonen for at blive oversvømmet.

Forsyningsvirksomheden er i samarbejde med Teknik & Miljø, Plan og Beredskabet i gang med at belyse denne problematik. Arbejdet vil givetvis medføre udpegning af områder, som det vil være uhensigtsmæssigt at bebygge og områder, som det vil være nødvendigt at udpege til vandstuvning og branddamme. Disse arealreserveringer skal skrives ind i kommuneplanens rammeområder for at sikre, at de nødvendige arealer er til rådighed, når der skal sikres mod oversvømmelse jf. prioriteringslisten.

7.4. Nabokommunerne

Klimatilpasningen af og nær Lille Vejle Å og Karlstrup Mosebæk vil blive gennemført i tæt samarbejde med hhv. Ishøj og Solrød pga. de fælles interesser i disse områder.

8. FREMTIDEN/VISIONEN

I henhold til fremgangsmåden ved klimatilpasningen af regnvandssystemet og vandløbene vil Strategimodellen, som arbejdet skrider frem, blive mere og mere korrekt (afspejle virkeligheden) og veldokumenteret. Således bliver modellerne bedre og bedre de næste 3 - 15 år. Det betyder, at der løbende etableres bedre og bedre beredskabsplaner og at der med tiden vil kunne etableres et detaljeret varslingsystem for ekstremnedbør og evt. for vandstanden i Køge Bugt.

Varsling for store afstrømninger i vandløbene og til dels også i regnvandssystemet kræver naturligvis kendskab til forholdene i grundvandszonen og til dels i havet.

8.1. Grundvandsmodel

Grundvandsmodellen for Olsbækssystemets opland er ved at blive etableret. Modellen skal anvendes til at give information om afstrømningerne fra grundvandszonen til vandløbene og give informationer om vandstanden i grundvandszonen og deraf følgende overfladisk afstrømning.

Modellen for Olsbækssystemet vil blive anvendt i kombination med målinger i grundvandszonen til at give erfaringer med i hvor høj grad der i fremtiden vil kunne varsles i situationer som juni-juli 2007.

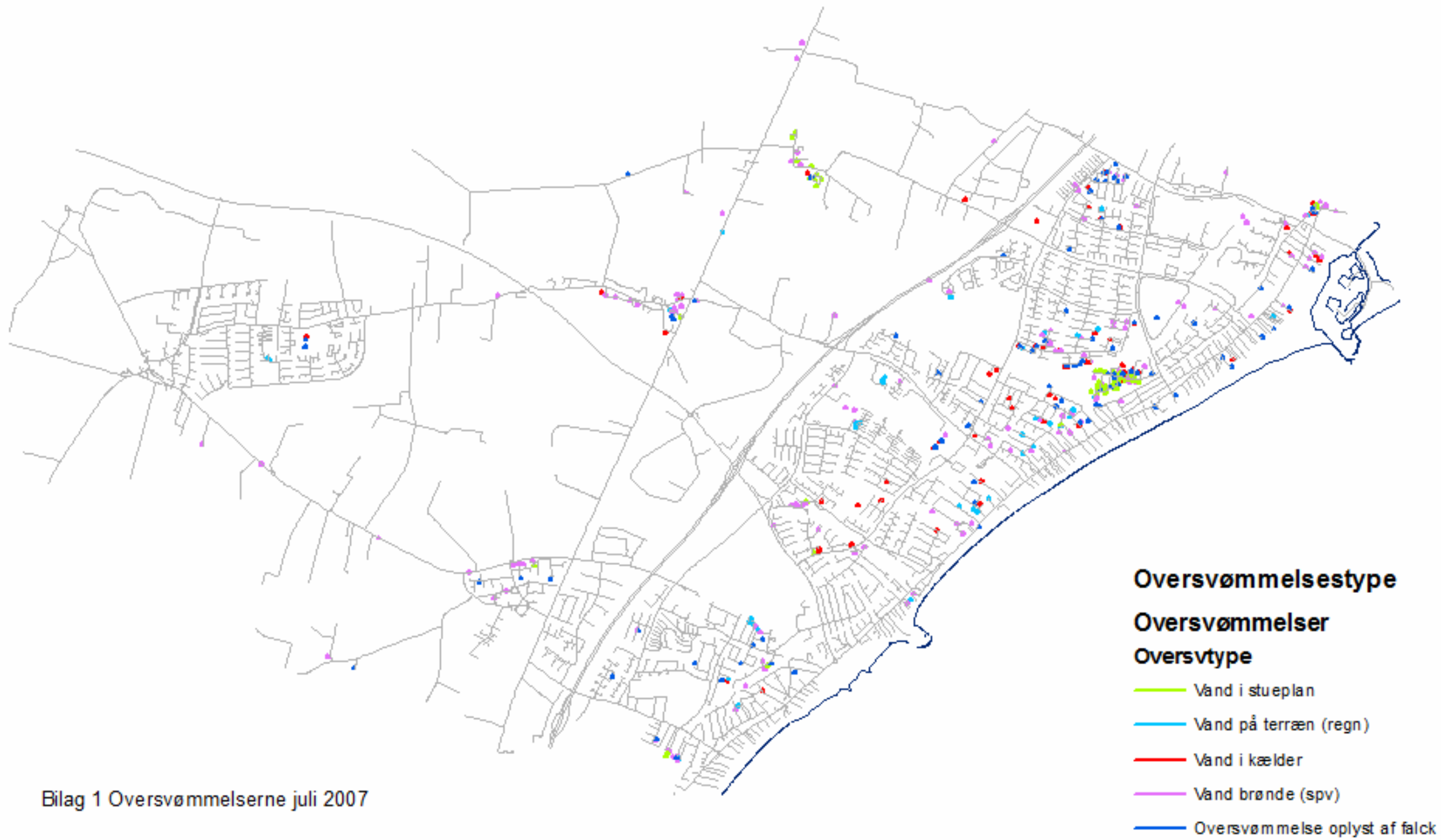
Erfaringer med anvendelse af grundvandsmodellen for Olsbækssystemet vil blive anvendt når der skal tages stilling til om der skal opstilles grundvandsmålere for de øvrige vandløbssystemer.

8.2. Hav

Oversvømmelsesrisikoen fra havet vil blive behandlet særskilt i projektet der er i gang om kortlægning af oversvømmelsesrisikoen fra havet ("implementering af EU's Oversvømmelsesdirektiv i Greve").

9. REFERENCER

1. Serviceniveau på regnvandssystemet og vandløbene i Greve Kommune. BY31 29.04.2008.
2. Spildevandstakst beslutning. BY33 24.06.2008.
3. Strategimodellen i strategibeskrivelsen TMU1 20.09.2007.
4. EU's Oversvømmelsesdirektiv kan findes på "<http://www.danva.dk/sw17344.asp>".



Bilag 1 Oversvømmelserne juli 2007



Bilag 2 Pointgivning af alle byområder baseret på oversvømmelseserfaringerne og huldybden



Bilag 3 Antal bygninger større end 50 m2, som ligger i et hul, indenfor hvert byområde.

OMRÅDENAVN	Oversvømmelseserfaring og huldybde	Rang	Bemærkning	Antal huse i huller	Prioritering	Antal erhvervs- og off. bygninger i hul
Greve Stregat Birkedalen (A01)	Oversvømmelse 2007 husoversvømmelser regnvand	10		211	1	0
Karlsunde Syd kanalen	Oversvømmelse 2007 Terræn/husoversvømmelser	10		135	2	1
Hundige Nord Udløb Lille Vejle Å (A78)	Oversvømmelse 2007 husoversvømmelser vandløb	10		62	3	8
Greve Landsby Ø	Oversvømmelse 2007 husoversvømmelser vandløb	10	Klimatilpasning i gang (2008/2009)	45	4	1
Lundemosen (A19)	Oversvømmelse 2007 Kælderoversvømmelser regn+spv	10	Projekt i gang	43	5	2
Kildebrønde Landsby	Oversvømmelse 2007 husoversvømmelser vandløb	10		18	6	0
Greve Landsby V	Oversvømmelse 2007 oversvømmelser gentagne	10	Klimatilpasning i gang (2008/2009)	18	7	3
Hundige Godsparken (A36, A37, A39)	Oversvømmelse 2007 husoversvømmelser vandløb	9	Nedgraderes pga. at der allerede er etableret vold (2007) og pumpe(pga. pumpe)	288	8	6
Mosedede mose (A23, A24)	Oversvømmelse 2007 hus/kælderoversvømmelser	7	Relativt få skadesvoldende oversvømmelser derfor 7 (Langagergårdproj red. risikoen betragteligt)	120	9	4
Karlsunde Landsby	Oversvømmelse 2007 husoversvømmelser vandløb	7	Relativt få skadesvoldende oversvømmelser derfor 7	89	10	4
Greve NØ Stregat og Jerismosevej (A21, A01)	Oversv 2007 Terræn og kælder regnv (opstr Stregat)	6	Opgraderes fra 5 til 6 pga. området ligger omkring bassin og langt fra udløbet i Stregat	269	11	5
HundigeEriksmindevarteret N (A82)	Oversvømmelse 2007 kældre spildevand og regnvand	5		329	12	5
Hundige Lillevangsvej (A41, A39)	Oversvømmelse 2007 kælderoversvømmelser vandløb	5		191	13	2
Greve Midt V (A19)	Oversvømmelser terræn 2007, kælder 2002, hul 1.2	4	Områdemålinger i gang i Lundemosen (resten opgrad 3 til 4)	327	14	11
Hundige Håndværkerbyen (A46, A45, A43, A42)	Oversvømmelse 2007 kælderoversvømmelser vandløb	3	Henvendelser fra rækkehusvarter - opgrad fra 2.5 til 3	83	15	21
Karlsunde søen (A05)	Hul dybde op til 0.6 m (terrænoversv 2007)	2.5		247	16	4
Hundige Jerismosevej N (A38, A40)	Oversvømmelse 2007 Terrænoversvømmelser	2.5		107	17	2
Karlsunde NØ	Oversvømmelse 2007 Terræn/husoversvømmelser	2		217	18	5
Karlsunde Midt S (A05)	Oversvømmelse 2007 Terrænoversvømmelser regnvand ?	2		85	19	6
Tune Ø	Hul dybde 1m	1	Ledningssystemet skal registreres	144	20	10
Karlsunde vest	Hul meget lokalt 1m	1		103	21	35
Karlsunde Midt N (A06)	Hul meget lokalt 1m	1		75	22	3
Greve Midt NV (A47)	Hul dybde op til 1m	1		15	23	0
Greve Midt C (A18)	Hul 0.9m	0.9		126	24	0
Greve Stregat Udløb Syd (A01)	Hul (op til 1m)	0.9	Nedgraveret til 0.9m pga nærliggende pumpe	32	25	1
Hundige Olsbækeng (A44)	Hul dybde op til 0.8m	0.8	Ingen problemer i området tidligere	112	26	3
Hundige Nord kyst (A77)	Hul småt	0.7	Opgraderet fra 0.6 til 0.7, da flere boliger er udsatte ved at de ligger i hullet	137	27	11
Greve Stregat Udløb Nord (A01)	Hul dybde 0.4-0.6 (oversv 2002?)	0.7	Rankes højest (øges fra 0.6 til 0.7) pga. oversvømmelsesmønsteret i 2002	48	28	0
Mosedede Havn (A02)	Hul dybde 0.6m	0.6		120	29	6
Hundige Gersagerparken (A35, A34)	Huldybde 0.6m	0.6		117	30	3
Hundige Tejstgården	Huldybde 0.6m	0.6		87	31	5
Hundige Industri (A83, A84)	Hul dybde 0.4-0.6 m	0.5	Industri	75	32	54
Hundige NordØst (A79, A80, A81)	Hul småt	0.4		86	33	15
Hundige Rytterbakken (A34)	Hul dybde op til 0.6m	0.3	Relativt få påvirkede på trods af ekstremsituationen 2007. Olsbækken er oprenset.	57	34	2
Hundige Gudevarter (A81, A79, A77)	Huldybde 0.3m	0.3		34	35	10
Greve Main (A27)	Hul dybde 1m	0.2	Nedgraderes fra Huldybde 1m, da Greve Main er designet som "våd eng" og ikke så tæt by	17	36	15
Tune V	Ingen mistanke	0.01	Ledningssystemet skal registreres	147	37	14
Mosedede Havn vest (A02)	Ingen mistanke	0.01		86	38	0
Rørmoseløbet vest (Ingen mistanke	0.01		35	39	29
Karlsunde landsby S		0.001	(forsænkning i terræn kan give mulighed for terrænoversv ind i omr)	11	40	0
Greve Midt (A21, A20, A01)	Klimatilpasset 2008/2009	0	Øst for banen vil området blive opgraderet i forbindelse med etableringen af havledningen	250	41	24
Langagergård (A03, A07)	Klimatilpasset 2006	0		12	42	0

Bilag 5 Tabel med samtlige data anvendt til prioriteringen



Bilag 6 Prioritering af byområderne baseret på pointgivning og antal bygninger (større end 50 m2), beliggende i huller.

A P P E N D I K S F

Anvendelse af målinger i Greve med henblik på klimatilpasning

F.1 Appendiks F. Anvendelse af målinger i Greve med henblik på klimatilpasning

F.1.1 Baggrund

I foråret 2008 besluttede Greve Byråd, at samtlige afstrømningssystemer i Greve skulle klimatilpasses (dvs. regnvandssystemet skulle opgraderes til at kunne modtage 30% mere nedbør med opstuvning til terræn maksimalt hvert 10. år) og i 2009 blev rækkefølgen af klimatilpasningen i byområderne prioriteret. Når byen klimatilpasses, anvendes numeriske afstrømningsmodeller. For at sikre, at afstrømningsmodellerne repræsenterer virkeligheden i tilstrækkelig grad, anvendes målerne til kalibrering og validering.

I Greve er et målesystem nu i fuld funktion. Måleprogrammet inkluderer: 6 nedbørsmålere, ca. 65 niveaumålere i regnvands-, spildevands- og vandløbssystemerne samt en i Køge Bugt (Mosede Havn) samt ca. 45 flowmålere. Måledata opsamles i måleadministrationssystemet: DIMS.

Flowmålerne er placeret, så de kan bruges til at udarbejde en vandbalance for henholdsvis hovedafstrømningssystemer og opstrømningssystemer, hvilket er første skridt i kalibreringsprocessen. Vandstandsmålere er placeret i byområderne, så de kan anvendes til at kalibrere energitabene i modellen. I begge tilfælde er målerne så vidt muligt opsat, så de også afspejler de kritiske områder i systemet og derfor kan bruges i beredskabssituationer til at give overblik og rette fokus mod de mest kritiske områder i kommunen.

I det følgende er beskrevet, hvordan målerne anvendes.

F.1.2 Beredskab – brug af målinger i realtid:

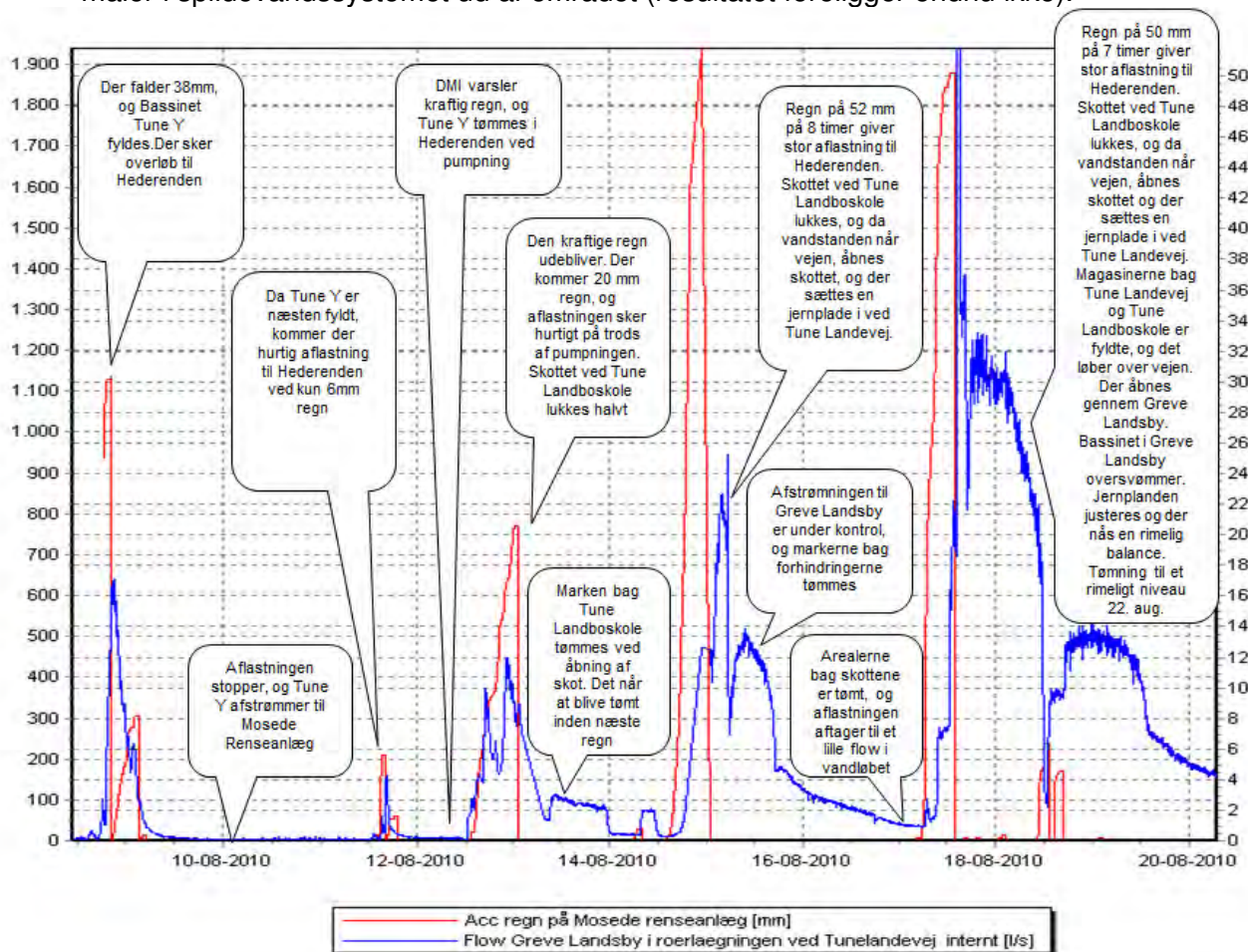
Hvorfor fokusere på så intensivt et måleprogram? Svaret fik vi i Greve 11.-12. juni 2009 og august 2010, hvor måleprogrammet var Forsyningsvirksomhedens "øjne", da der faldt mellem 85 og 111 mm regn jævnt fordelt over Greve. På baggrund af vandstandsmålere og flowmålere kunne der under regnhændelsen tages beslutning om, hvordan beredskabet bedst kunne iværksættes. Beredskabet bestod i at stuve regnvand tilbage i oplandet før byen og derved kontrollere vandføringen gennem byen. Indsatsen blev overvåget i DIMS og anvendt til at beslutte, hvornår der igen kunne slippes vand gennem systemerne. På Figur F.1 ses vandføringen fra oplandet gennem Greve Landsby i august 2010 plottet i DIMS.

På baggrund af målingerne af nedbøren og vandstanden i Køge Bugt var det desuden muligt at være på forkant med udviklingen af vandstanden i systemerne, og dermed var det også muligt at træffe beslutning om styringen af beredskabet.

F.1.3 Uvedkommende vand – brug af historiske måledata til analyse og management:

Under nedbøren i juni 2009 var Greves spildevandssystem under pres på grund af uvedkommende vand. Opsporing af uvedkommende vand er en meget stor udfordring, da flere undersøgelser har vist, at regnvand i spildevandssystemet i høj grad skyldes mange små tilledninger og ikke få store. Ved klimatilpasning af Greve Midt blev regn-

vandsføringen ud af området målt. Målingerne viste, at der ikke var sammenhæng mellem den målte vandmængde, der blev ledt ud af området, og det befæstede areal der er i området. Der blev derfor opsat en måler i spildevandssystemet, som viste, at resten af vandet var at finde i spildevandssystemet. Efterfølgende blev de ca. 3 ha uvedkommende vand fundet ved hjælp af TV-inspektion og farvestof. P.t. klimatilpasses endnu et byområde, og der er fundet tilsvarende uoverensstemmelser mellem befæstelsesgrad i området og vandføringen ud af området, også her er der opsat en flowmåler i spildevandssystemet ud af området (resultatet foreligger endnu ikke).



Figur F.1 Målt nedbør og målt vandføring fra oplandet til Greve Landsby i august 2010.

F.1.4 Opbygning af måleprogrammet i Greve:

Greve Kommune har gennem de sidste seks år indkøbt måleudstyr til regnvands-, spildevands- og vandløbssystemerne. Overvejelserne om indkøb af måleudstyr var i første omgang, at det skulle være muligt at transportere målerne fra sted til sted f.eks. ved opsporing af uvedkommende vand. Det blev derfor besluttet at indkøbe et radiobaseret transmissionssystem fra Teletronic. I 2009 er måleprogrammet suppleret med transmittere, der anvender GPRS (trådløs telemetri).

De flowmålere (hastighed og niveau), der blev valgt, er baseret på dobbler-princippet, hvor en "musestor" hastighedsmåler placeres i ledningerne på en jernring, og batteri og datalogger hænges i en nærliggende brønd.



Figur F.2 Hastigheds- og niveau måler placeres i regnvandsledning og vandføringen beregnes.

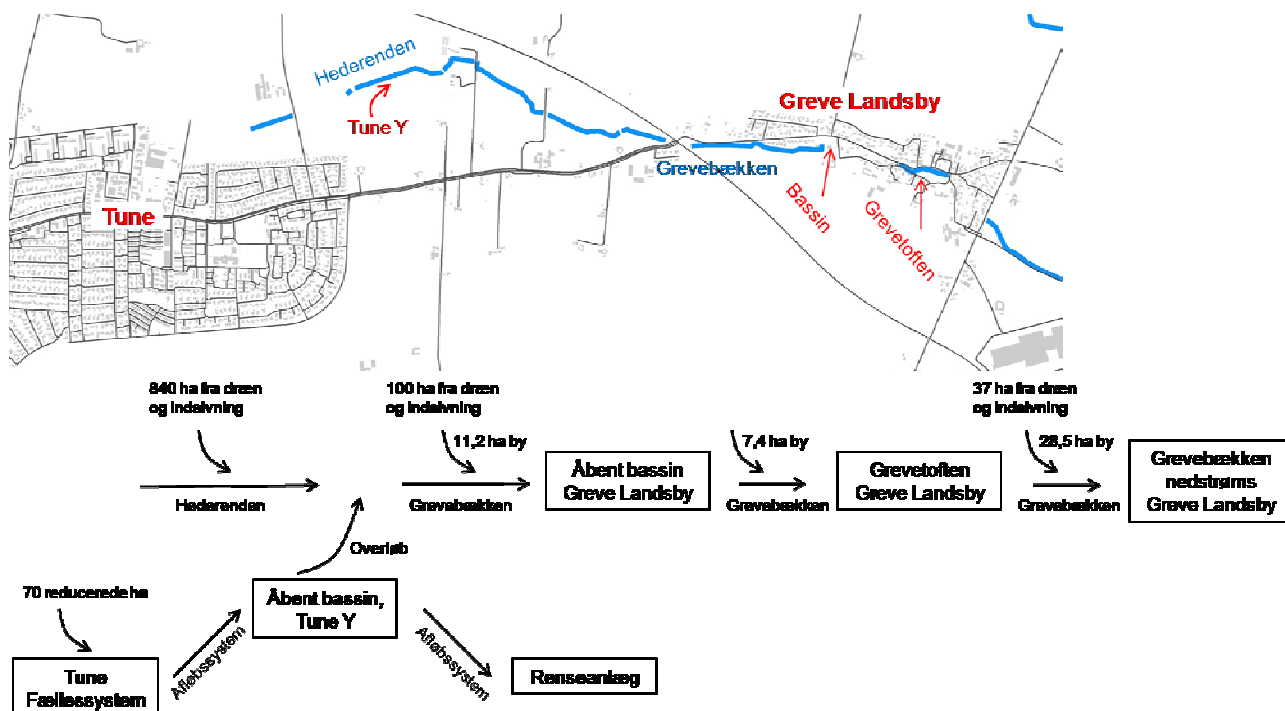
For at kunne håndtere måledata så hensigtsmæssigt som muligt, både ved overvågning/præsentation af måledata og for at kunne trække data så let som muligt til anvendelse ved modelarbejdet, var det nødvendigt at indkøbe et databasesystem med tilhørende brugerinterface. Til dette blev DIMS valgt. DIMS er et fleksibelt system, hvor det er muligt at lagre data, præsentere data, sende sms'er ved forskellige kriterier (høj vandstand, meget nedbør osv.) og ikke mindst gennemføre beregninger på måletidsserierne i databasen til brug for analyser af de hydrauliske forhold. I DIMS trækkes også måledata fra renseanlægget, som opsamles i SRO systemet, således at sammenhænge mellem renseanlæg og spildevandsledningsnettet kan analyseres. På denne måde sikres det, at alle måledata, der skal anvendes i beredskabssituationer, er let tilgængelige.



Figur F.3 Datatransmitter, batteri m.m. placeres øverst i brønden (eller i en forsejlet brøndring ved siden af målingen).

F.1.5 Konkret anvendelse af målinger ved klimatilpasning, Greve Landsby

Figur F.4 viser et overblik over afstrømningsforholdene til Greve Landsby. Strømningen til byen forårsages dels af afstrømningen fra markerne til vandløbet, dels af regnvandsafstrømningen fra byen og ikke mindst af aflastningen af et bassin fra det fælleskloakerede Tune.

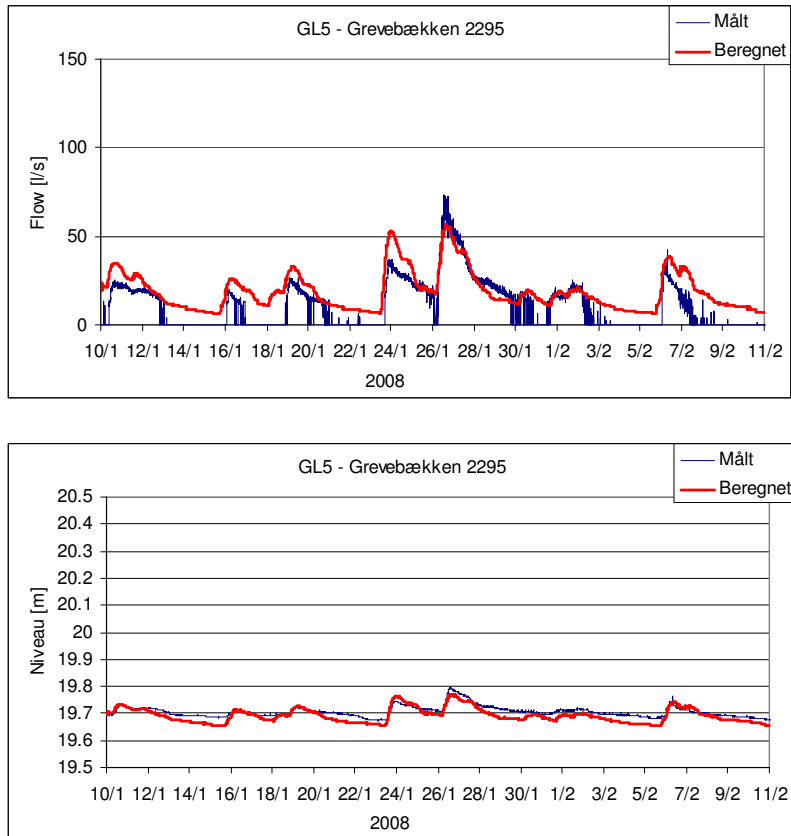


Figur F.4 Oversigt over de hydrauliske forhold opstrøms og i Greve Landsby.

Der er opstillet en numerisk hydraulisk model for Greve Landsby, som er kalibreret mod måledata. På Figur F.5 ses placeringen af vandføring og vandstand.



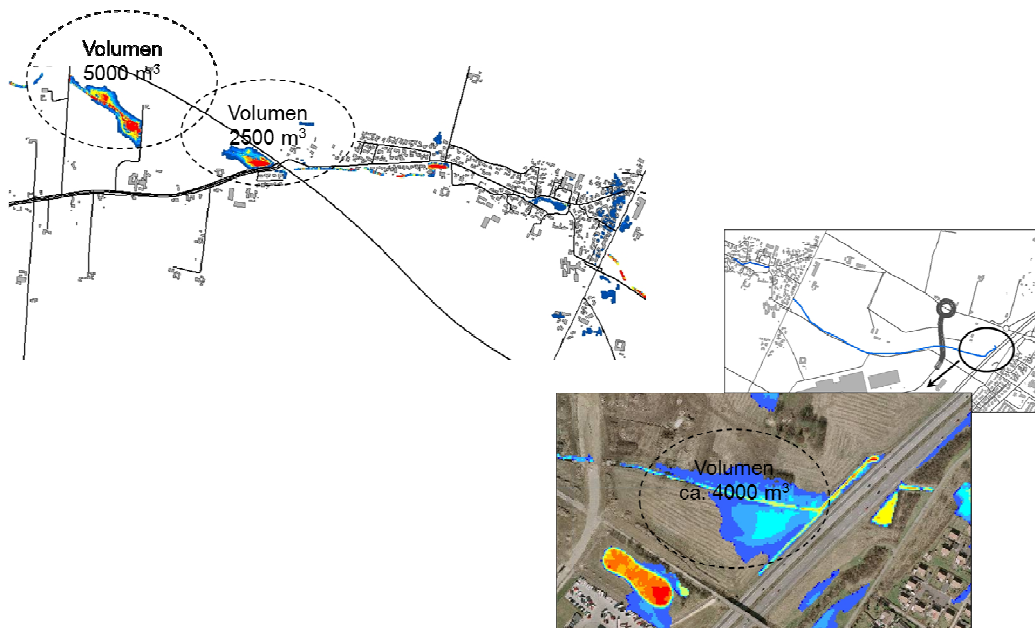
Figur F.5 Oversigt over målere i Greve Landsby.



Figur F.6 Sammenligning mellem målt og beregnet flow og niveau i Greve Landsby.

Kalibreringen gennemføres i to trin: 1) Kalibrering af vandbalance på vandløbet og 2) Kalibrering af energitab. På Figur F.6 ses målt og beregnet flow og vandstand beregnet med den kalibrerede model.

Byen er klimatilpasset ved etablering af bassiner, større rør samt vandløbsregulering. Beredskabsplanen for området er primært at tilbageholde vand på opstrøms marker når vandføringen til landsbyen når 500 l/s (måles lige opstrøms byen). På Figur F.6 er vist placeringen af de områder, hvor vand holdes tilbage i situationer med ekstrem regn.



Figur F.7 Områder som anvendes til opmagasinering i beredskabssituationer.

A P P E N D I K S G

Fotokvalitetssikring af DTM, Odense

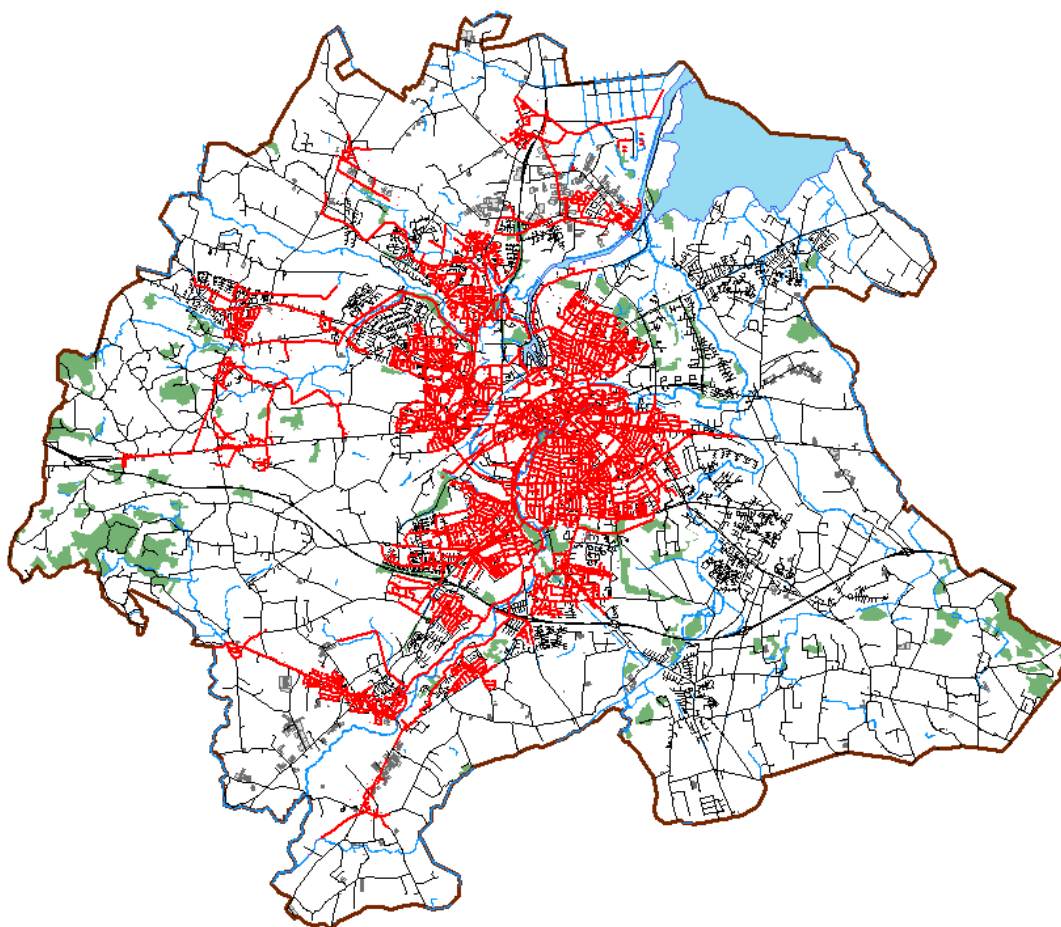
G.1 Appendiks G. Fotokvalitetssikring af DTM, Odense

G.1.1 Baggrund og formål

Odense Vandselskab har som mange andre forsyninger investeret i en DTM model i 1,6 x 1,6 m opløsning. Modellen ændres for at kunne beregne vandets vej gennem byen. Først blev underføringer indlagt, og DTM modellen blev kvalitetssikret ved hjælp af hulkortsberegninger, jf. afsnit 4.2.1 Terrænmodel – kvalitetssikring og afsnit 4.2.2. Hulkort. Herved blev en lang række DTM data ændret. Ændringerne blev primært foretaget på dataelementer, der principielt er korrekte i DTM modellen, men uhensigtsmæssige i hydraulisk sammenhæng, f.eks. underføringer mv.

Under den første og indledende kvalitetssikring blev der dog fundet flere fejl i DTM data, og der opstod usikkerhed omkring kvaliteten af data tæt på bygninger mv. På den baggrund blev der planlagt og gennemført et omfattende feltstudie til kvalitetssikring af data.

I første omgang var der speciel stor interesse for de områder, hvor der er fællessystemer. Figur G.1 viser et omrids af Odense Kommune samt (med rødt) modelområderne. Som det fremgår af skitsen, er der tale om et meget stort område, og en slavisk gennemgang "fra hus til hus" ville således være en uoverkommelig opgave. Derfor måtte der findes en strategi for hvordan hele området kunne kvalitetssikres på en overkommelig fremgangsmåde.



Figur G.1 Omrids af Odense Kommune. Med rødt er vist de områder, der indgik i modelleringen.

G.1.2 Metode og planlægning

Der findes gode og kalibrerede MOUSE modeller for fællessystemet i Odense, og enkelte indledende storskalaberegninger med 1D-1D modeller var allerede gennemført for hele området, jf. afsnit 4.2.5 Kombineret hydrodynamisk afløbsmodel og overflademodel 1D-1D). Figur G.2 viser lille udsnit af en beregning med en meget stor regnhændelse kombineret med klimafaktor – stor nok til at give oversvømmelser i langt de fleste fordybninger.



Figur G.2 1D-1D beregninger blev gennemført for regnvands og fællessystemet for en meget stor fiktiv regnhændelse – en regnhændelse meget kraftigere end serviceniveauet kræver. Herover er vist et udsnit af resultatet.

Resultaterne fra 1D-1D beregningen blev minutiøst gennemgået i GIS og sammenlignet med luftfotos og andet tilgængeligt materiale. Der blev specielt søgt efter:

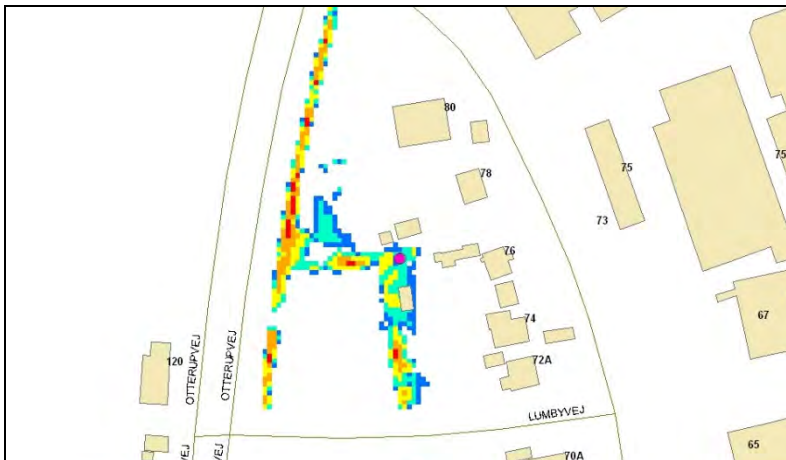
- Områder, hvor der muligvis kunne være direkte forbindelse til grøfter og lignende, som af den ene eller anden grund ikke eksisterede i DTM modellen
- Nedkørsler, kældre og lysskakter, hvor det kunne være usikkert, om en kant eller forhøjning i virkeligheden ville spærre for vandet. DTM modellens opløsning på 1,6 m resulterer i, at en smal kant eller mur ikke genfindes i DTM data
- Vandfyldte fordybninger langs bygninger, der kunne være et resultat af fejlekstrapolering ved generering af DTM modellen

Dette arbejde resulterede i ca. 150 lokaliteter, der skulle undersøges i felten. Samme gennemgang kunne være foretaget på baggrund af hulkort, men man ville risikere at finde betydelig flere lokaliteter, der skulle undersøges, hvoraf en del ville være irrelevante i forbindelse med oversvømmelsesrisici, idet hulmodellen ikke angiver, om det overhovedet er muligt for vandet trænge hen til hullerne

For alle 150 lokaliteter blev der udarbejdet GIS plot og noter til brug ved fotografering. Figur G.3 til figur G.6 viser eksempler på resultaterne af den indledende datagennemgang.



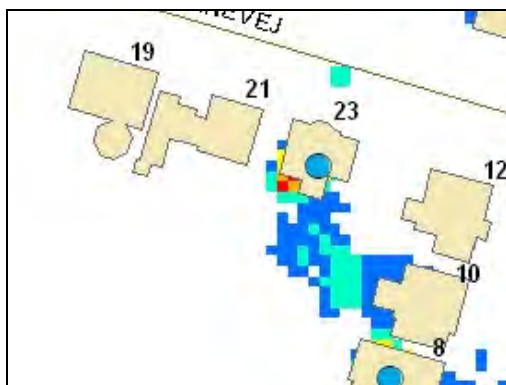
Figur G.3 Det virker ikke logisk, at siloer, der er beliggende i en fordybning, ikke er beskyttet af en kant.



Figur G.4 Der kan være forbindelse til en vandfyldt grøft med forbindelse til Stavids Å.



Figur G.5 Af luftfoto er det ikke muligt at afgøre om der rent faktisk er en fordybning ved bygningen. Endvidere vil der ofte være en grøft eller lignende langs banelegemet, hvor der også kan afvandes fra de omkringliggende områder.



Figur G.6 DTM data antyder en kældernedgang eller en lysskakt ved villaen på nr. 23. Det kan kun afgøres "on site" om der er en kant, der kan forhindre vand i at løbe ned i kælderen.

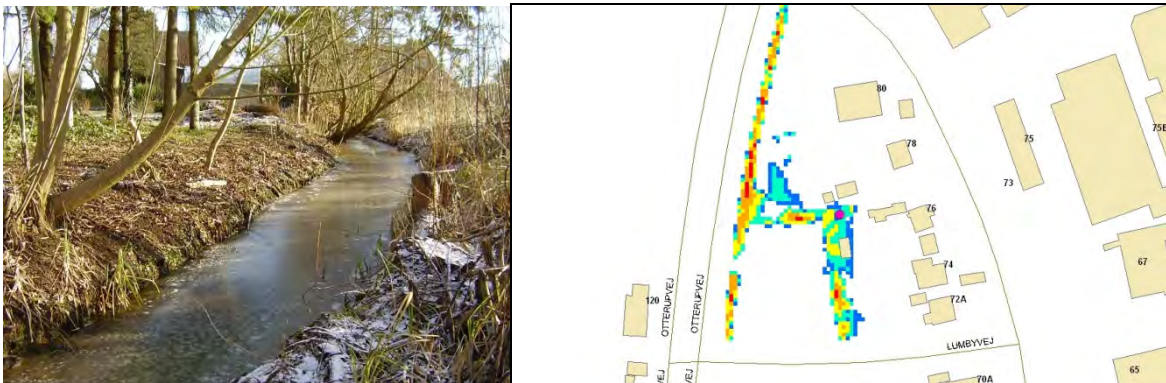
G.1.3 Resultat af "on site" fotoanalyse

Alle 150 lokaliteter blev besøgt, fotograferet og beskrevet af tredje mand, hvorefter hvert foto blev gennemgået og analyseret for at afgøre kvalitet og reelle hydrauliske forhold. Tidsforbruget til fotografering og beskrivelse var ca. to uger.

Fotoanalysen viste, at der kun var et overskueligt antal rettelser til DTM modellen og primært rettelser til mure og kanter, der er smallere end opløsningen i DTM-modellen. Figur G.7 til figur g.10 viser eksempler på resultat af fotoanalysen.



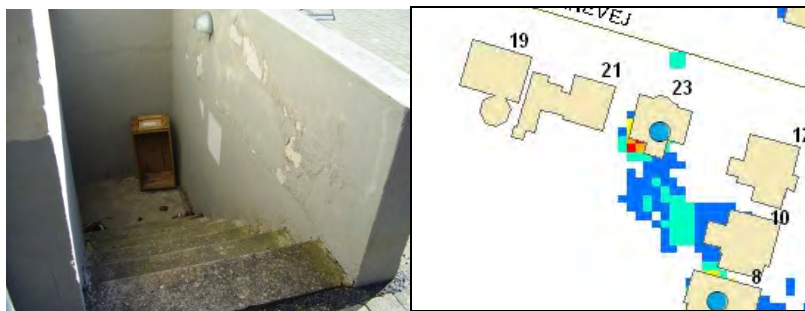
Figur G.7 Ca. 2 m ned ved siloerne, ca. 25 cm kant omkring siloerne. Kanten er ikke beskrevet i DTM data på grund af dataopløsningen på 1,6 m, men i hydraulisk sammenhæng er den vigtig, idet vand ikke ville være løbet ned i silograven.



Figur G.8 Område har direkte forbindelse til vandfyldt grøft med udløb til Stavids Å. Hydraulisk set vil oversvømmelser derfor være reguleret af vandstanden i Stavids Å, og niveauet i DTM data bør reduceres i grøften, eller grøften bør indbygges i de hydrauliske modeller.



Figur G.9 Ingen grøft langs banelegeme. Lille "gryde" foran vinduesparti. DTM data synes at beskrive terrænet korrekt.



Figur G.10 En trappenedgang til kælderen, ingen kant til kælderen. DTM data beskriver ligeledes terrænet korrekt.