En kogebog for analyser af klimaændringernes effekter på afløbssystemer

- Med fokus på oversvømmelser

DANVA
Dansk Vand- og Spildevandsforening

DANVA
FORSKNINGS- OG UDREDNINGSPROJEKT NR. 5, 2007

Dansk Vand- og Spildevandsforening, DANVA
Danmarksvej 26, DK-8660 Skanderborg
Tlf.: +457021005. Fax: +4570210056

E-mail: danva@danva.dk
Hjemmeside: www.danva.dk

ISBN: 87-90455-74-6

© Dansk Vand- og Spildevandsforening, DANVA 2007

En kogebog for analyser af klimaændringers effekter på afløbssystemer – med fokus på oversvømmelser

F& U rapport nr. 5

ISBN: 87-90455-74-6

DANVA

Rapport
Marts 2007

INDHOLDSFORTEGNELSE

1 INDLEDNING 1
1.1 Baggrund 1
1.2 Formål 1
1.3 Anvendelse 2

2 STATUS PÅ VIDEN OM KLIMAÆNDRINGER 3
2.1 Scenarier for fremtidige klimaændringer 3
2.2 Datagrundlaget for analysen af klimaændringers effekter på afløbssystemer 5
2.3 Fremtidig regn over Danmark 5
2.4 Fremtidige vandstande i havområder 6
2.5 Fremtidige vandstande i søer og vandløb 7
2.6 Fremtidige vandstande/tryk i grundvand 7

3 OVERSVØMMELSERS KONSEKVENSER FOR SAMFUNDET 9
3.1 Skadestyper 9
3.1.1 Samfundsmæssige konsekvenser af oversvømmelser 9

4 AFGRÆNSNING AF PROBLEMSTILLING 11

5 OVERHOLDELSE AF FUNKTIONSKRAV UNDER PÅVIRKNING AF KLIMAÆNDRINGER 13

6 MODELLERING AF OVERSVØMMELSER 15
6.1 Beregningsmetoder 15
6.1.1 Terrænmodel 15
6.1.2 Hydrodynamisk afløbsmodel 17
6.1.3 Kombineret hydrodynamisk afløbsmodel og overflademodel 18
6.2 Problemidentifikation og tolkning af modelresultater 21

7 FASTSÆTTELSE AF INDDATA OG RANDBETINGELSER 22
7.1 Valg af nedbør 22
7.2 Valg af nedstrøms randbetingelse – Fremtidige vandstande i recipienter til regnvandssystemerne 23
7.2.1 Havspejlsstigning og klimabetingede ekstremvandstande 23
7.2.2 Et eksempel – havspejlsstigninger i Greve 23
7.2.3 Vandløb, søer og grundvandszonen 24
7.2.4 Et eksempel – grundvandsændringer i Greve 25

8 OPGØRELSE AF SKADER 30

9 PRIORITERING AF TILTAG 34
9.1 Hovedprincipperne i en Risikoanalyse 34

10 FOREBYGGELSE OG REDUKTION AF SKADER PÅ GRUND AF OVERSVØMMELSER 40
10.1 Beredskabsplaner 42
10.2 Varsling 42

10.2.1 Varsling af kraftige regnhændelser og oversvømmelser 42

11 SAMMENFATNING OG KONKLUSION 44

12 REFERENCER 45

APPENDIKS

A **Greve – Greve Midt og Karlslunde**
B **Odense – Sorgenfribækken**

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 beregning af effekten af forskellige tiltag mod oversvømmelser.

Rapporten er udarbejdet for DANVA af Greve Kommune, Odense Vandselskab, PH-Consult og DHI. Arbejdsgruppen var:

Birgit Paludan, Greve Kommune
Per Hallager, Odense Vandselskab
Jens Jørgen Linde, PH-Consult
Ole Mark, DHI Vand·Miljø·Sundhed

Projektet er udført i perioden maj 2006 – marts 2007.

Der har været nedsat en følgegruppe bestående af:

Mogens Kaasgaard, Miljøstyrelsen
Kristian Friis, DANVA
Knud Edinger, Greve Kommune
Per Hallager, Odense Vandselskab

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

Rapporten er suppleret med en meget kort ”opskrift” på, hvordan man analyserer klimaændringer i et kloakopland, som kan anvendes af en tekniker, der skal gennem en sådan analyse.

I projektet er der desuden udarbejdet en appetizer, som kan anvendes til information af kommunale chefer og politikere om, hvad status på klimaændringer er, og hvad der kan gøres for at imødekomme klimaændringers effekter på afløbssystemerne i kommunerne.

1.2 Formål

I dag er det et krav til danske kommuner, at de tager højde for klimaændringer, når de dimensionerer deres afløbssystemer (Jf. Skrift 27, Spildevandskomitéen, 2005), men der

findes ikke i dag beskrevne metoder for, hvordan en analyse af klimaændringers påvirkning skal foretages. Indtil i dag har det derfor været op til hver enkelt kommune at definere, hvordan der tages højde for klimaeffekter. Formålet med denne rapport er at give de danske kommuner et sæt samlede anbefalinger til, hvordan de udføre konsistente analyser af klimaændringers effekter på afløbssystemer. Herunder at definere krav til input data og bestemme den mest hensigtsmæssige beregningsmetode for analysen..

1.3 Anvendelse

De tal om klimaændringer, som præsenteres i denne rapport, er baseret på Intergovernmental Panel on Climate Changes (IPCC) rapporter fra 2001 (IPCC, 2001). I februar 2007 har IPCC offentliggjort opdaterede estimater af klimaændringer, men der forligger endnu ikke nye og opdaterede beregninger af nedbør og havspejlsændringer for Danmark på baggrund af IPCC's seneste 2007-rapport (IPCC, 2007). Det skal her bemærkes, 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.

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. Mere specifikt forventes havspejl – som et centralt skøn – at stige med 0,5 m i danske farvande i løbet af dette århundrede, mens prognoser for temperatur-, nedbørs- og fordampningsforhold varierer over Danmark. 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

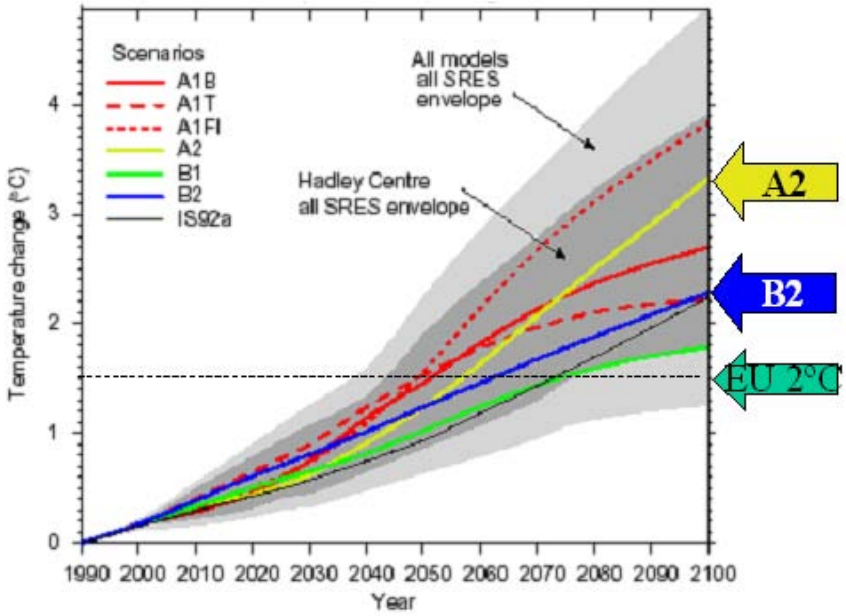
Der arbejdes i Danmark p.t. med tre klimascenarier (A2, B2, EU2C) beregnet af Klimacenteret på DMI. Disse tre scenarier er beregnet på baggrund af IPCC's rapporter fra 2001 (IPCC, 2001). Fra officiel dansk side er det meddelt, at de tre scenarier er ligestillede, dvs. der er ikke et af scenarierne, som 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.

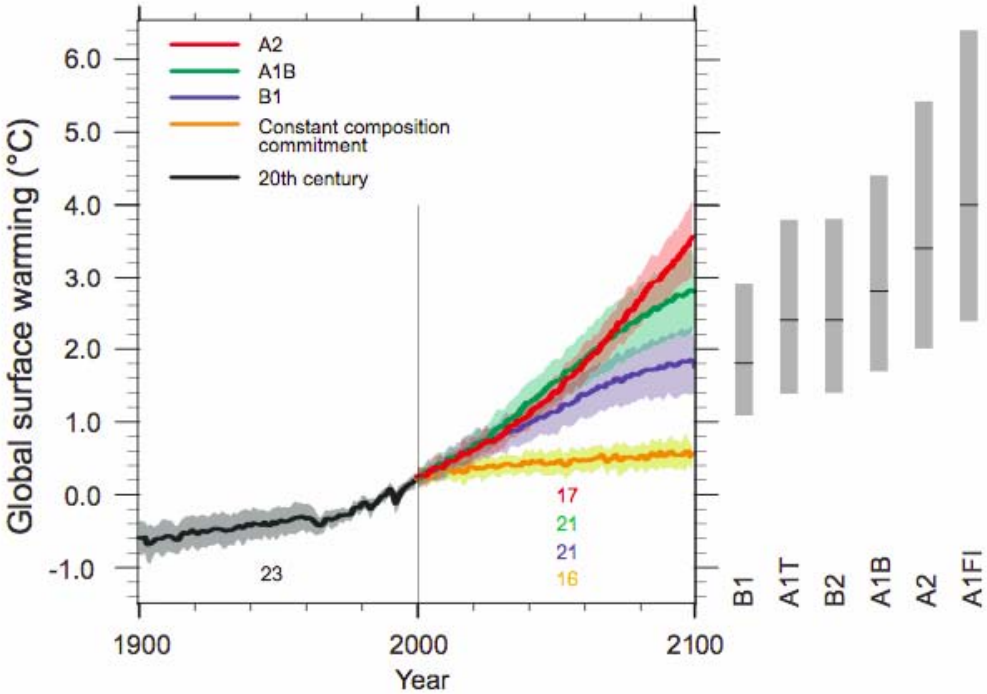
B2 beskriver en verden, hvor hovedvægten lægges på lokale løsninger, som er økonomisk, socialt og miljømæssigt bæredygtige. Det er en verden med et fortsat stigende globalt befolkningstal, men i en lavere takt end i A2, med mellemniveauer i økonomisk udvikling og med mindre hastig og mere forskelligartet 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 tidslige udvikling i de globalt accepterede klimascenarier. Ved at sammenligne klimascenarium

A2 – beregnet af IPCC i henholdsvis 2001 og 2007 – ses der 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**
Land			
Årsmiddeltemperatur	+3,1°C	+2,2°C	(+1,5°C)
Årsnedbør	+9%	+8%	(+4%)
Sommernedbør (juni, juli, august)	÷15%	÷7%	(÷7%)
Maksimum døgnnedbør (juni, juli, august)	+21%	+20%	(+10%)
Hav			
Middelvind (december, januar, februar)	+4%	+2%	(+2%)
Maksimum stormstyrke (december, januar, februar)	+10%	+1%	(+5%)
Maksimum stormflod ved Vestkysten	+0,45-1,05 m	?	(+0,2-0,5 m)

Kilde: DMI. Alle tal viser afvigelse fra perioden 1961-1990. Tal i parentes er foreløbige tal.

Tabel 2.1 indeholder foreløbige tal for EU2C-scenariet. Disse tal er givet i parenteser. Dette scenarium 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 førindustrielle niveau.

2.2 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 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 netop afsluttede 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).

2.3 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).. Der forventes som nævnt at ville 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. Nemlig 1.2-1.5.

Bearbejdning af regndata fra SVK-regnmålerne for perioden 1979 til 2005 har for den østlige del af Danmark vist en stigning gennem perioden (SVK Skrift 28, 2006). Stigningen er på 10-20%, og stigningen er især markant i den allersidste del af perioden. Det anses for sandsynligt, at dette er klimaændringer og ikke tilfældige variationer.

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 en stigning på 20-50% gennem dette århundrede, og at der antages en lineær stigning. Stigningen udtrykkes ofte som en "klimafaktor" på: 1,2-1,5. Det skal bemærkes, at denne stigning ikke må indregnes ved at benytte en faktor 1,2–1,5 på hele regnserier målt frem til nu.

For de danske klimascenarier (A2, B2, EU2C) forventes det som vist 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.

2.4 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.

De seneste vurderinger – som eksisterer lokalt for Danmark – fra IPCC (IPCC, 2001) viser en global forventet havspejlsstigning på 0,09-0,88 m frem til år 2100. Kystdirektoratet anvender gennemsnittet af de otte IPCC-prognoser, når der vurderes konsekvenser af denne havspejlsstigning. Den forventede middelhavspejlsstigning bliver med disse forudsætninger på henholdsvis 7 cm, 15 cm og 50 cm for de kommende 25, 50 og 100 år. Disse tal gælder for hele landet. Disse tal er anvendt på baggrund af ATV's rapport (Effekter af klimaændringer - tilpasninger i Danmark).

For klimascenariet A2 forventes, at ekstremerne i form af udsving i forhold til denne middelvandstand bliver af størrelsesordenen plus 10-40 cm i forhold til i dag (ATV, 2003). 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.

2.5 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. Det anbefales, 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. Der henvises bl.a. til et nyligt udkommet PhD "The effect of climate change on the transport of water, sediment and nutrients in Danish rivers" (Thodsen, 2007).

2.6 Fremtidige vandstande/tryk i grundvand

Ændringer i grundvandsforhold er interessant set ud fra et afløbsteknisk synspunkt. Hvis grundvandsstanden ændres, kan det få indflydelse på infiltration til afløbssystemet. Hertil kommer, at kældre m.m. kan blive mere udsat for grundvandsindtrængen.

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 hvis/når disse forefindes, se eventuelt 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 grundvandssænkningsanlæg, hvor der pumpes fra øvre grundvandsmagasiner.

Den forventede havspejlsstigning på 0,5 m 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 forstyr-

res/ændres. I mange tilfælde vil havspejlsstigningen dog kun have meget lokal betydning for grundvandsforhold. Derimod vil det 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.

3 OVERSVØMMELSERS KONSEKVENSER FOR SAMFUNDET

Når dimensioneringskriterier (jf. funktionspraksis i Skrift 27) overskrides dvs. hændelser hvert 10. år i fællessystemer og hvert 5. år i separatsystemer vil der på de kritiske steder i afløbssystemerne kunne ske opstuvning til terræn. Typisk drejer det sig dog om begrænsede dele af afløbssystemerne. Ved meget ekstreme hændelser f.eks. en 50-100 års regn vil der kunne ske større opstuvninger og oversvømmelser. Afhængigt af regnhændelsen kan der blive tale om betydelige vandmængder. Konsekvenserne af dette bør vurderes, og der bør tages passende forholdsregler, så skader og ulemper begrænses mest muligt, jf. Spildevandskomitéens Skrift 27, hvor der bl.a. står: "Kommunen bør vurdere omfang af skader ved overskridelse af de fastsatte funktionskrav."

Oversvømmelser (vand på terræn) er ikke nødvendigvis i sig selv et problem. Problemer opstår, når der som følge af oversvømmelsen opstår et værditab. Skader fra oversvømmelser kan reduceres ved at reducere skadens hyppighed eller omfang. Reduktionen af skader kan bestå af et eller flere elementer, herunder:

Reduktion af oversvømmelsers omfang

Reduktion af interaktion med oversvømmelsen

Regulering af, hvilke områder der oversvømmes

Varsling af oversvømmelser

Beredskab til håndtering af oversvømmelser

Arbejdet med at reducere oversvømmelsers negative virkninger vil have til formål at reducere mulige skader på samfundsværdier – enten ved at reducere oversvømmelsernes omfang eller ved at reducere skaden gennem klog forvaltning af potentielle oversvømmelser. Det er et vigtigt punkt her, at vandet på terræn nogle gange i sig selv ikke forårsager store skader. Det bør dog altid tilstræbes, at oversvømmelser selv i force majeure situationer volder så lidt skade som mulig, og at det sker så kontrolleret som muligt.

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.

3.1 Skadestyper

3.1.1 Samfundsmæssige konsekvenser af oversvømmelser

Det er svært præcist at kvantificere omkostningerne fra oversvømmelser i bymæssig bebyggelse. Traditionelt deles skader, som er opstået på grund af opstuvet vand på terræn, ind 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 metode til at finde omkostningerne relateret til oversvømmelser i bymæssige bebyggelser er at indsamle information om dokumenterede oversvømmelser fra forsikringsselskaber, som det f.eks. er gjort i Norge (König *et al.*, 2002), Danmark (DANVA, 2005) eller Brasilien (Nascimento *et al.*, 2005).

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. el-forsyning, vandforsyning, varmeforsyning, vitale kommunikationsknudepunkter og adgangsveje til hospitaler, ikke sættes ud af funktion på grund af vand på terræn
- At antallet af berørte kældre, bygninger minimeres
- At antallet af oversvømmede el-skabe og andre installationer minimeres
- At trafikgener minimeres

Der bemærkes, at en internationalt 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.

4 AFGRÆNSNING AF PROBLEMSTILLING

I dette projekt ses specifikt på de problemer, klimaændringer kan medføre i afløbssystemerne og på grund af afløbssystemerne. Der fokuseres på effekten af hyppigere og mere ekstreme 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, og dette kan have stor effekt op 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 sammenhæng. 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 afløbssystemet kan ikke hjælpe. Det vil måske endda virke negativt 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. Dette kan også påvirke afløbssystemet, idet det kan give større tilstrømning af dræn- og indsivningsvand og dermed beslaglægge noget af kapaciteten af afløbssystemet samt ikke mindst af renseanlægget. Stigende grundvandsspejl kan endvidere genere lokale nedsivnings- og infiltrationssystemer, idet lokal afledning af regnvand kan blive umuliggjort, og regnvandet derfor kan give lokale oversvømmelser, eller det ledes til afløbssystemet og herved bidrager til overbelastning af dette system med risiko for oversvømmelser. Her kan det måske nok forventes, at ekstremregn vil optræde om sommeren, mens maksimal grundvandsstand vil optræde om vinteren, men det bør vurderes nøjere.

Som det fremgår af ovenstående, skal det altid vurderes, om løsninger ét sted kan blive skyld i 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 betragtede område betragtes og kombineres med betragtning 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 fore-

tages en integreret modelsimulering af alle forhold, der har betydning for afstrømning. Dette vil sjældent være muligt, og i mangel af bedre må det så i stedet vurderes, hvor stor sandsynlighed der er for sammenfald af hændelser som f.eks. højt recipientvandspejl sammen med ekstremregn afstrømning.

Arbejdet med oversvømmelsesproblematikken kan altså 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 ekstremsituationer baseret på prognoser for udviklingen i belastningen. Der er derfor betydelig usikkerhed på alle resultater, og detaljeringsgraden i beregningerne bør være tilpasset dette.

5 OVERHOLDELSE AF FUNKTIONSKRAV UNDER PÅVIRKNING AF KLIMAÆNDRINGER

En følge af klimaændringerne (f.eks. i klimascenarium A2) er, at ekstremregn (regn som er større end den, der er anvendt til dimensioneringen af anlægget, så det opfylder funktionskravet) vil forøges i antal og intensitet. 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 skal p.t. leve op til de i Spildevandskomitéens Skrift 27 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 skrappere 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.

I løbet af de næste 100 år forventes det, at en 10 årsregn vil forøges med 20-50%. 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 forudsete klimaændring på et givet sted således anledning til en 20-50% 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 20%	**på 50%**
I dags 10 årsregn	0%	0%
Om 10 år	2%	5%
Om 25 år	5%	12,5%
Om 50 år	10%	25%
Om 100 år	20%	50%

Da der i dag ikke foreligger viden om den tidslige udvikling i klimascenarierne, er en total klimaeffekt på 20% / 50% blot fremskrevet lineært.

Dvs. der gennemføres fem beregninger, som vil vise afløbssystemets respons på udviklingen i klima. 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 problemidentifikation 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 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 problemidentifikationen er gennemført, kan en prioritering af problemerne foretages f.eks. ved hjælp af en risikoanalyse.

Et eksempel på en sådan fremskrivning af en 10 års designregn – med tilhørende beregning af overskridelse af funktionskrav for afløbssystemet – er vist i Appendiks A og B. 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.

6 MODELLERING AF OVERSVØMMELSER

I forbindelse med valg af modelværktøj 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 enkelte områder, 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 terrændtyper 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?

6.1 Beregningsmetoder

I hovedparten af de danske afløbssystemer findes der tilstrækkelige data til at opstille en model, men ofte er der meget få måledata, som er velegnede til kalibrering af ekstremregn. En vigtig informationskilde er derfor lokalkendskab i form af viden om, hvor højt vandet normalt stuver op under forskellige regn. Ligeledes kan klager over gentagne oversvømmelser være nyttige.

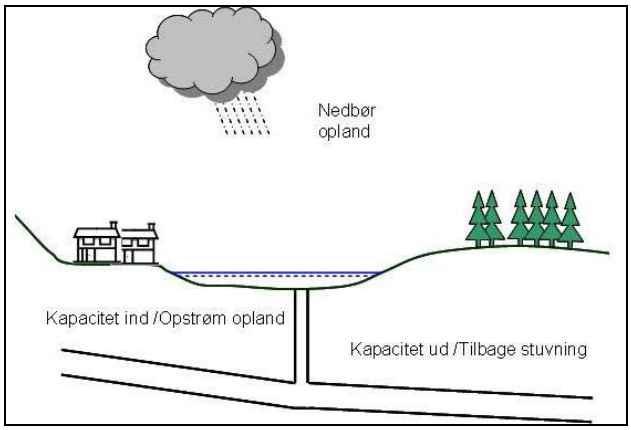
Den væsentligste kalibreringsparameter er befæstelsesgraderne for deloplande, og det er vigtigt, at den kalibreres på baggrund af så ekstreme regn som muligt. Hvis de gentagelsesperioder, man senere ønsker at simulere, er meget mere ekstreme end de regn, der kalibreres efter, bør befæstelsesgraden øges, da man ellers risikerer at underestimere afstrømningen. I de følgende afsnit beskrives de modeller, som det anbefales at anvende, afhængigt af oplandets karakteristika.

6.1.1 Terrænmodel

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 dynamikken i systemet.

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 6.1.



Figur 6.1 Skitse af mindre system.

I det følgende beskrives et tænkt eksempel. Figur 6.2 viser et lukket opland. Oplandets areal er 4 ha. Kapaciteten i udløbsledningen er 80 l/s, og volumen i afløbssystemet er 43 m^3. Ud fra observationer af vanddybden på vejen under forskellige kraftige regnhændelser er befæstelsesgraden kalibreret til 45%.

Figur 6.2 Niveauer for et lille lukket opland med fordybning i terrænet.

Figur 6.3 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 6.3 Oversvømmet område er vist med blåt.

6.1.2 Hydrodynamisk afløbsmodel

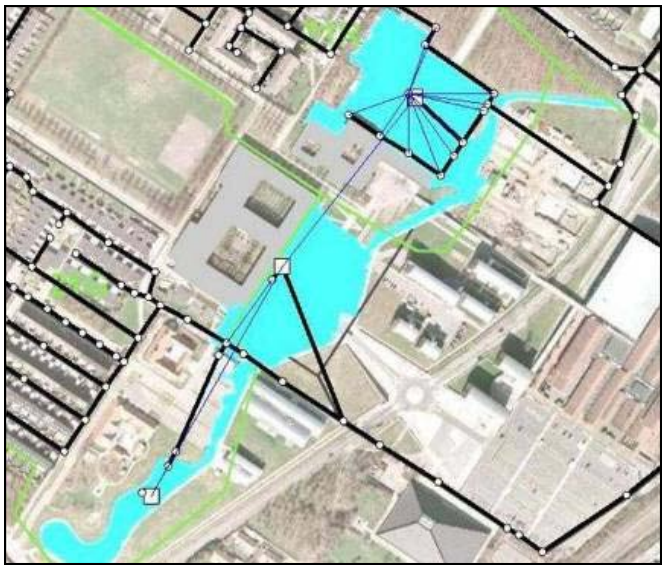
En hydrodynamisk afløbsmodel (MOUSE/MIKE URBAN eller tilsvarende) giver i sig selv en god bestemmelse af, hvor vandmængder vil stuve op på terræn. Hvis modellen yderligere kombineres med en terrænmodel, kan eventuelle oversvømmelsers omfang beregnes og illustreres i GIS (Mark *et al*., 2004). Ved denne metode medtages dynamikken i afløbssystemet, mens der til dels ses bort fra dynamikken på terrænoverfladen.

Fordelen ved kun at gennemføre dynamiske beregninger på afløbssystemet er en relativ kort beregningstid, og det er derfor praktisk muligt at gennemføre beregninger med mange forskellige regn på mange forskellige scenarier. Til gengæld kan der være usikkerhed forbundet med at udelade dynamikken på overfladen.

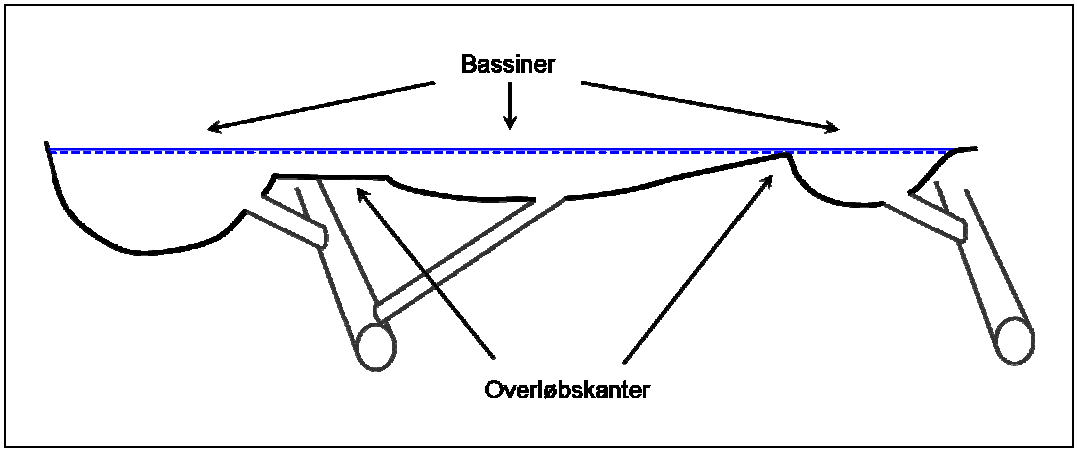
En del af dynamikken på overfladen kan alternativt beregnes ved at opbygge dele af terrænet i afløbsmodellen f.eks. via bassiner forbundet med overløbsbygværker eller kanaler. Afhængig af områdets størrelse kan dette dog være en kompliceret og tidskrævende opgave.

Figur 6.4 viser et eksempel på, hvordan dele af dynamikken på overfladen kan beregnes via bassiner, der er forbundet. Omfanget af oversvømmelserne kan illustreres via terrænkoter. Figur 6.5 viser en principskitse af længdeprofil hen over de tre bassiner.

For afløbssystemer i Danmark foreligger der mange steder en kalibreret MOUSE model. I forbindelse med modellering af ekstremregn bør modellen rekalibreres med så ekstreme regn som muligt. Alternativt kan der indbygges en sikkerhedsfaktor ved f.eks. at øge reduktionsfaktoren.



Figur 6.4 Eksempel på resultatet fra en hydrodynamisk afløbsmodel med delvis beskrivelse af strømningerne på overfladen.



Figur 6.5 Principskitse af længdeprofil hen over de tre bassiner.

6.1.3 Kombineret hydrodynamisk afløbsmodel og overflademodel

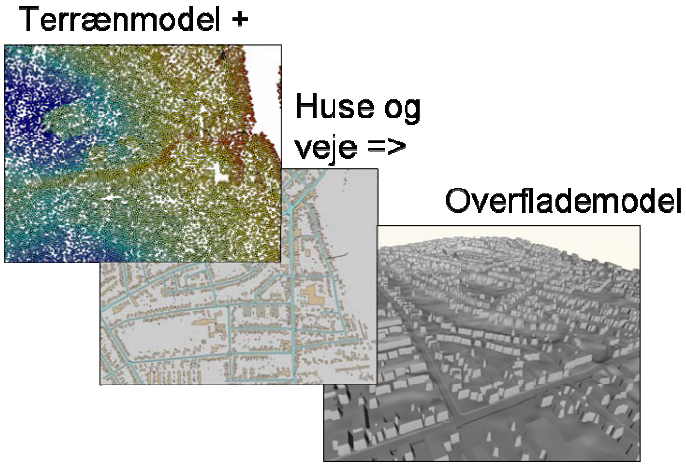
Den hydrodynamiske afløbsmodel kan kombineres med en hydrodynamisk beskrivelse af afstrømningen på overfladen (her kaldet en overflademodel), f. eks MIKE FLOOD, (Mark *et al*., 2006). I overflademodellen er det muligt at give en detaljeret beskrivelse af en ekstremregnssituation, hvor både dynamikken 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 at lange tidsserier af regnhændelser.

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. Oftest ligger de tilgængelige terrændata dog ikke så tæt, at der er basis for den høje detaljering, med min-

dre man er specielt interesseret i, hvordan vandet løber på stier og mindre veje. 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 6.6.

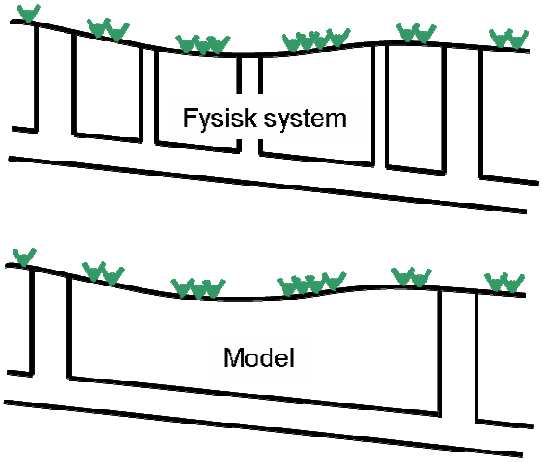


Figur 6.6 Overflademodellen kan genereres ud fra terrændata samt GIS-tema for huse og veje.

Afløbsmodellen og overflademodellen kobles kun i det område, der er beskrevet i overflademodellen og eventuelt kun i dele af området, se figur 6.7.

Figur 6.7 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.

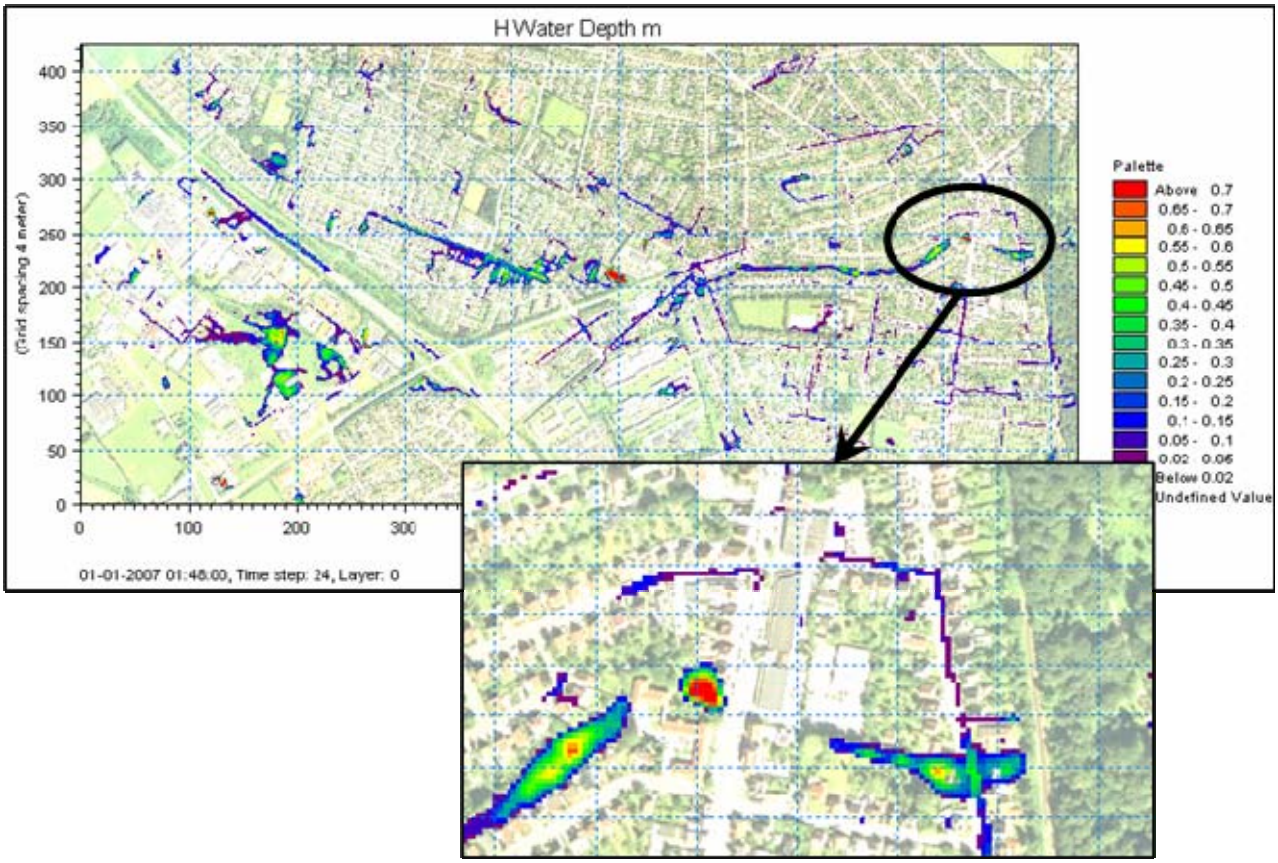


Figur 6.8 Skitse af fysisk system kontra model.

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 6.9 viser et eksempel på resultater fra en beregning med koblet model. Som baggrund er der anvendt et luftfoto.



Figur 6.9 Eksempel på beregningsresultater fra en koblet model.

6.2 Problemidentifikation og tolkning af modelresultater

Resultaterne for simuleringer af 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 dét 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?

7 FASTSÆTTELSE AF INDDATA OG RANDBETINGELSER

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 grundvandsforholdende. Desuden skal tages hensyn til den fysiske planlægning for området og prognoser for den udvikling, der i øvrigt sker i samfundet. I det følgende gennemgås kort, hvordan disse beregningsforudsætninger kan fastsættes.

7.1 Valg af nedbør

Regnserier for nedbøren gennem de sidste ca. 25 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 regnene 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 der 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. Pga. 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 pga. 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 regnene og indtil bedre viden foreligger, gør dette ved at benytte en klimafaktor på de hidtil anvendte ekstremregn i området. Som tidligere nævnt benyttes denne faktor kun på ekstremregn. Den kan ikke regnes gældende for hele regnserier på grund af det tidligere omtalte forhold, at nedbørsmønstret ændrer sig.

I løbet af få år vil det formodentlig blive muligt at generere hele lokale regnserier svarende til en valgt klimaprognose. Herved vil det blive muligt, også for de fremtidige forhold, at 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.

7.2 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. Middelhavsspejlsændringer er af IPCC (IPCC, 2001) forudsagt som beskrevet i kapitel 2. Ud over middelhavsspejlsændringer vil den maksimale vandstand potentielt ændre sig som følge af ændrede vindfelter.

Søer og vandløb vil ændre sig som følge af ændrede afstrømningsforhold fra oplandene, ændrede hydrauliske forhold i vandløb og i havet samt på grund af øgede maksimale nedbørsintensiteter. I de følgende afsnit beskrives de mekanismer, som vil have afgørende betydning for recipienterne, og det vurderes, hvilke ændringer der kan forventes.

7.2.1 Havspejlsstigning og klimabetingede ekstremvandstande

I fremtiden vil 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 af havspejlsstigning plus opstuvning fra nye klimabetingede ekstreme vindfelter. For at estimere havspejlsstigningen 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) og tillægge 7 cm de første 25 år, 15 cm situationen om 50 år og 50 cm som prognose for situationen om 100 år.

Til underbyggelse af det nedenstående eksempel henvises endvidere til rapporten fra Teknologirådet (Nyt klima- nyt liv?, 2005). Her er der lavet scenarier for Næstved og Esbjerg.

7.2.2 Et eksempel – havspejlsstigninger i Greve

Vandstanden i Køge Bugt er altafgørende for afstrømningen fra Greve Midt, da kommunen ligger meget lavt, og da der kun findes én pumpe på regnvandssystemet. Klimaeffekterne på recipienterne er derfor vigtige randbetingelser for afstrømningsforholdene i Greve Midt. Ofte er det i sidste instans havvandstanden, der er afgørende. I Greve anvendes de generelle havspejlsændringer fra Kystdirektoratet, og de er beregnet til:

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

Under ekstreme situationer vurderes vandstandsændringerne som følge af klimaændringer i Greve til at være: dagligvande + 50 cm, dvs. en smule over ATV's centrale estimater (ATV, 2003), men det må på de aktuelle steder vurderes, om der skal større vandstandsforøgelser til, for at være på den sikre side. F.eks. kan der være tale om, at

hyppigheden af ekstremvandstand øges på grund af kraftigere vindfelter fra bestemte retninger.

I eksemplet, hvor de fremtidige forhold i afløbssystemet i Greve Midt beregnes, er vandstanden i Køge Bugt meget vigtig for afstrømningen, hvilket betyder, at der først skal udføres en beregning af vandstanden i havet for at sikre de mest realistiske simuleringer af afstrømningen i området. Principielt betyder dette, at der burde opstilles en hydrodynamisk model for Køge Bugt, som blev påtrykt et vindfelt svarende til klimascenarium A2, der efterfølgende blev analyseret og anvendt som rand til Greve Midt-modellen. Det har ikke været muligt indenfor dette projekts rammer at gennemføre denne analyse. Derfor anvendes de generelle tal fra Kystdirektoratet, som er angivet nedenfor.

Dagligvande i Mosede Havn ud for Greve er 10 cm. Tidligere dimensioneringskriterier for afstrømning fra Greve var baseret på en vandstand i Køge Bugt på 30 cm. I eksemplet for Greve Midt er det derfor valgt at bruge disse vandstande som randbetingelser til afløbsmodellen:

I dag: 0,30 m (gammelt dimensioneringskriterium)

50 år: 0,45 m* (gammelt dimensioneringskriterium + 15 cm)

100 år: 0,80 m (gammelt dimensioneringskriterium + 50 cm)

*Hvor 0,45 m svarer til 50% klimaeffekt og 0,8 m til den fulde klimaeffekt.

Anvendelsen af disse data er illustreret i Appendiks A.

7.2.3 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 klimaændrin-

ger), 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 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).

7.2.4 Et eksempel – grundvandsændringer i Greve

Der er udført en indledende undersøgelse af klimaændringers effekt på grundvandsforholdene i Greve Kommune, med fokus på interaktionen mellem grundvand og afløbssystem.

Til undersøgelse af effekterne i Greve Kommune og omegn er der udtrukket data fra DMI's beregninger af det fremtidige klima i et 25 km x 25 km net. Den direkte anvendelse af DMI's klimafremskrevne regndata, som er timeværdier og midlet over 25 km x 25 km betyder, at klimamodellen giver mindre intensiteter for lokal ekstremregn end forventet i virkeligheden. Dette anses dog for mindre betydende for grundvandsdannelsen. Bemærk, at dette er en væsentlig forskel fra alle andre analyser i denne rapport, hvor de forventede højere regnintensiteter er inkluderet. Til bestemmelse af fremtidige klimadata til beregningsmodellen er den såkaldte delta-metode anvendt, hvor en registreret klimaserie påtrykkes de forventede ændringer baseret på faktorer, som er beregnet på månedsbasis på baggrund af klimamodellen.

De fremskrevne klimadata (nedbør, temperatur og potentiel fordampning) er sammen med den forventede stigning i havniveauet indlagt som randbetingelser i en hydrologisk beregningsmodel (MIKE SHE) til vurdering af konsekvenserne for grundvandsforhold i området. Den hydrologiske model er tidligere udviklet til undersøgelser af strømningsforhold i grundvandszonen i forhold til Københavns Energi's store indvindinger i det regionale område. Modellen benytter et 200 m beregningsnet, hvilket således er opløsningen af de beregnede grundvandsforhold.

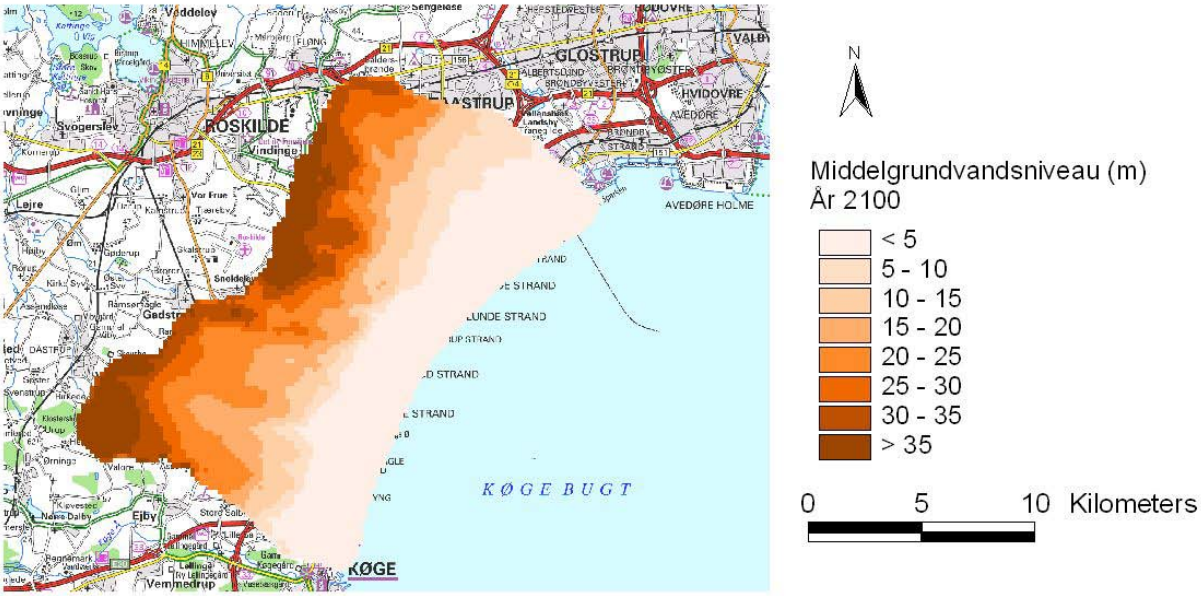
I middel forventes nedbøren at øges med 75 mm, fra 647 mm/år til 722 mm/år under påvirkning af klimaændringer; dette er baseret på DMI's beregninger. Beregninger med den hydrologiske model viser dog, at den aktuelle fordampning (evapotranspiration) vil

øges med 91 mm (fra 427 mm/år i dag til 518 mm/år under påvirkning af klimaændringer), således at nettonedbøren (nedbør minus fordampning) i middel på årsbasis mindskes med 16 mm. Da grundvandsforholdene i stor udstrækning er bestemt af nettonedbøren, betyder dette, at ændringer i klimatiske forhold ikke i sig selv (i middel) ændrer grundvandsforholdene markant. Der beregnes ændringer på +/- 0.5 m i Greve området. Det kan dog ikke konkluderes, at sådanne forhold er gældende for hele Danmark. Sonnenborg et al. (2006) anvender samme koncept til at bestemme fremtidig klimadata og ligeledes MIKE SHE til beregning af effekterne på grundvand og vandløb. I denne publikation er der fokuseret på to store områder præsenterende et større opland i Vestjylland og hele Sjælland. Konklusionerne for så vidt angår Sjælland er i overensstemmelse med DHI´s analyser i Greve kommune, idet der forudses små ændringer i grundvandsforholdene i dette område. Der er dog markante forskelle andre steder på Sjælland, som gør en generalisering umulig og tilsiger, at der skal lokale undersøgelser til for at bestemme lokale effekter. I det vestjyske opland er konsekvenserne for grundvandet anderledes markante og der forudses ændringer i grundvandsstanden på op til flere meter.

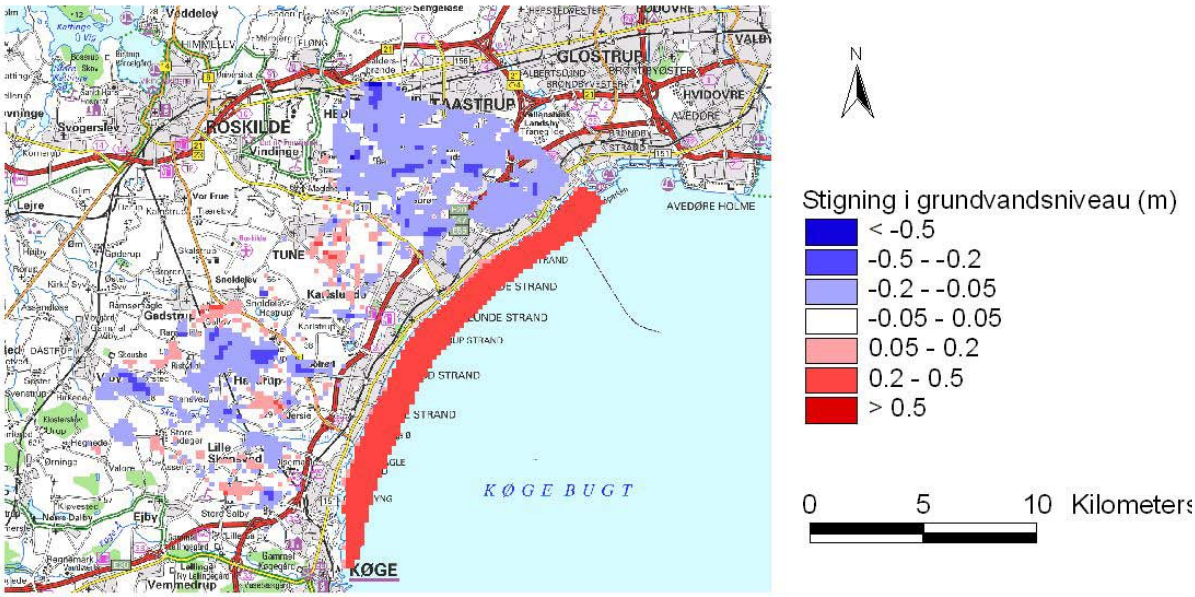
Der er i denne rapport ligeledes vurderet på grundvandsforhold i forhold til placering af kloakrør for dels at vurdere områder, hvor indstrømning af grundvand kan forekomme under de nuværende klimatiske (og indvindingsmæssige forhold), og dels om klimaforandringerne kan tænkes at have en effekt på dette.

Resultaterne af beregningerne af de ændrede grundvandforhold på grund af klimaændringer viser, at der ikke er den store forskel i middelgrundvandsniveauet, se figur 7.1 og 7.2. Forskellen på grund af klimaændringer er en beskeden sænkning af grundvandet inde i landet. Ved kysten regnes der med en havspejlsstigning på 0,5 m. Denne havspejlsstigning forplanter sig ikke ret langt ind i landet. Dette kan være forskelligt andre steder i landet afhængig af geologien/hydrogeologien.

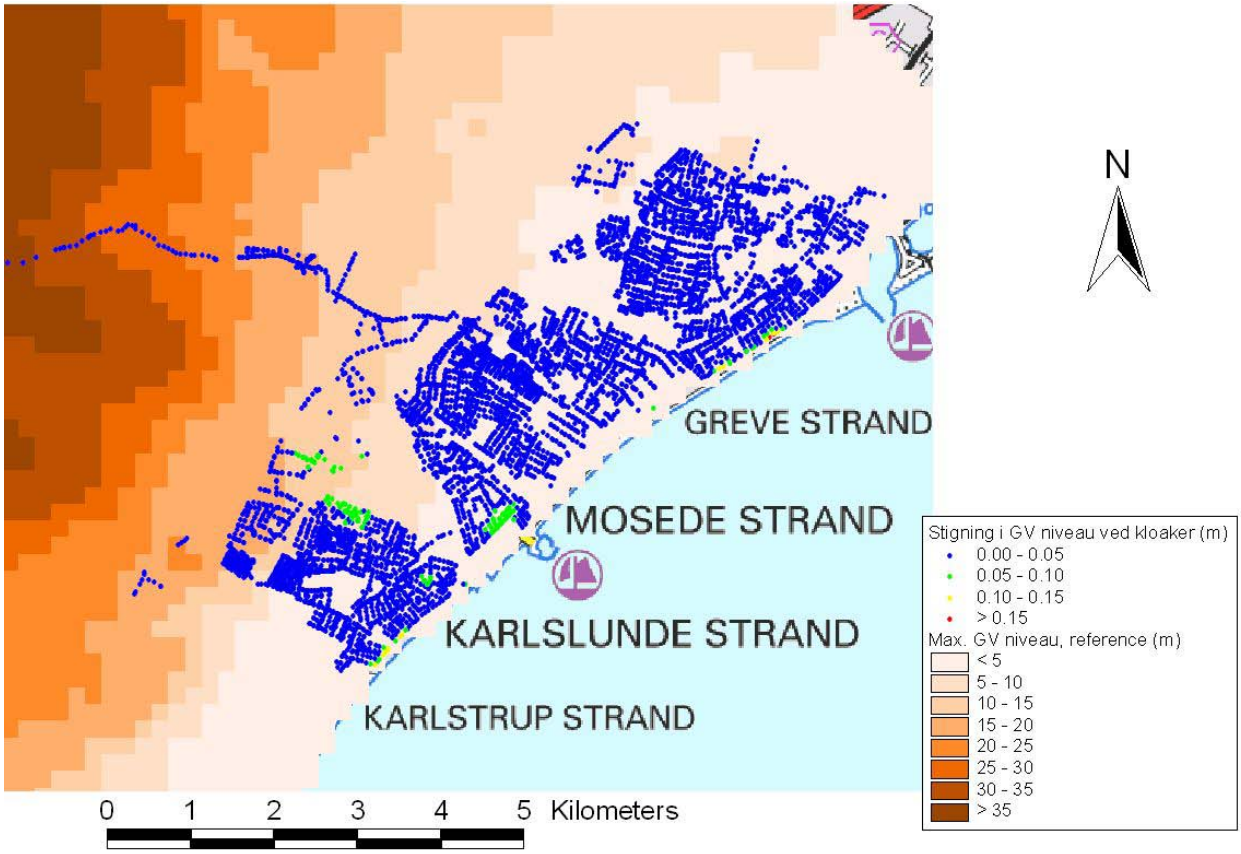
Figur 7.3 viser forskellen beregnet mellem den maksimale grundvandsstand under nuværende forhold og under fremtidige klimaændringer for klimascenarium A2. Det ses på figuren, at de fleste steder, hvor der ligger kloakbrønde, er der tale om en meget lille forskel mellem de to scenarier. Figur 7.4 viser kloakbrøndenes koter i forhold til grundvandsniveau i fremtiden. De steder, hvor grundvandsstanden er højere end bundkoterne til brøndene, er der fare for infiltration til afløbssystemet. Figur 7.5 viser de brønde hvor grundvandsstanden stiger i forhold til den beregnede grundvandsstand for klimascenarium A2 – dvs. de steder er der tale om en forøget risiko for grundvandsinfiltration på grund af klimaændringer.



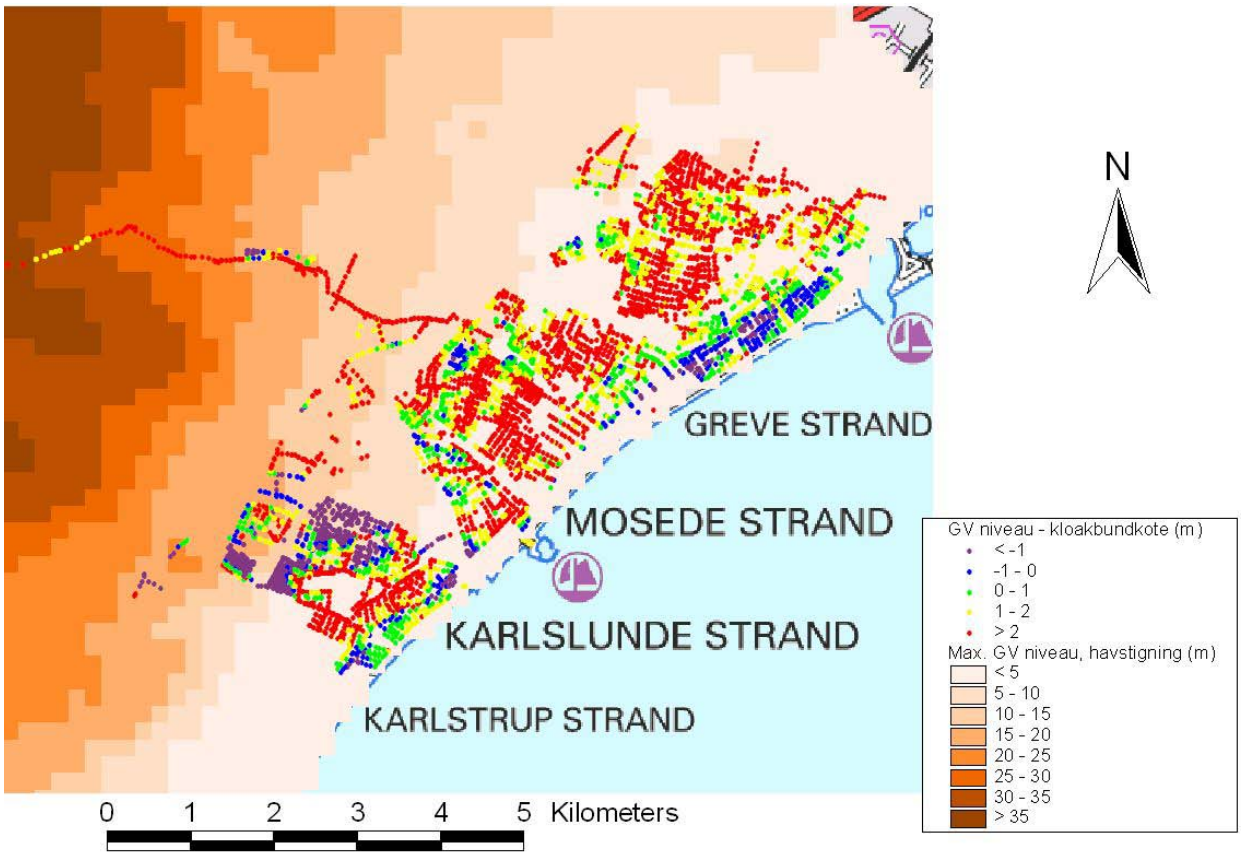
Figur 7.1 Grundvandsstanden i år 2100 for klimascenarium A2.



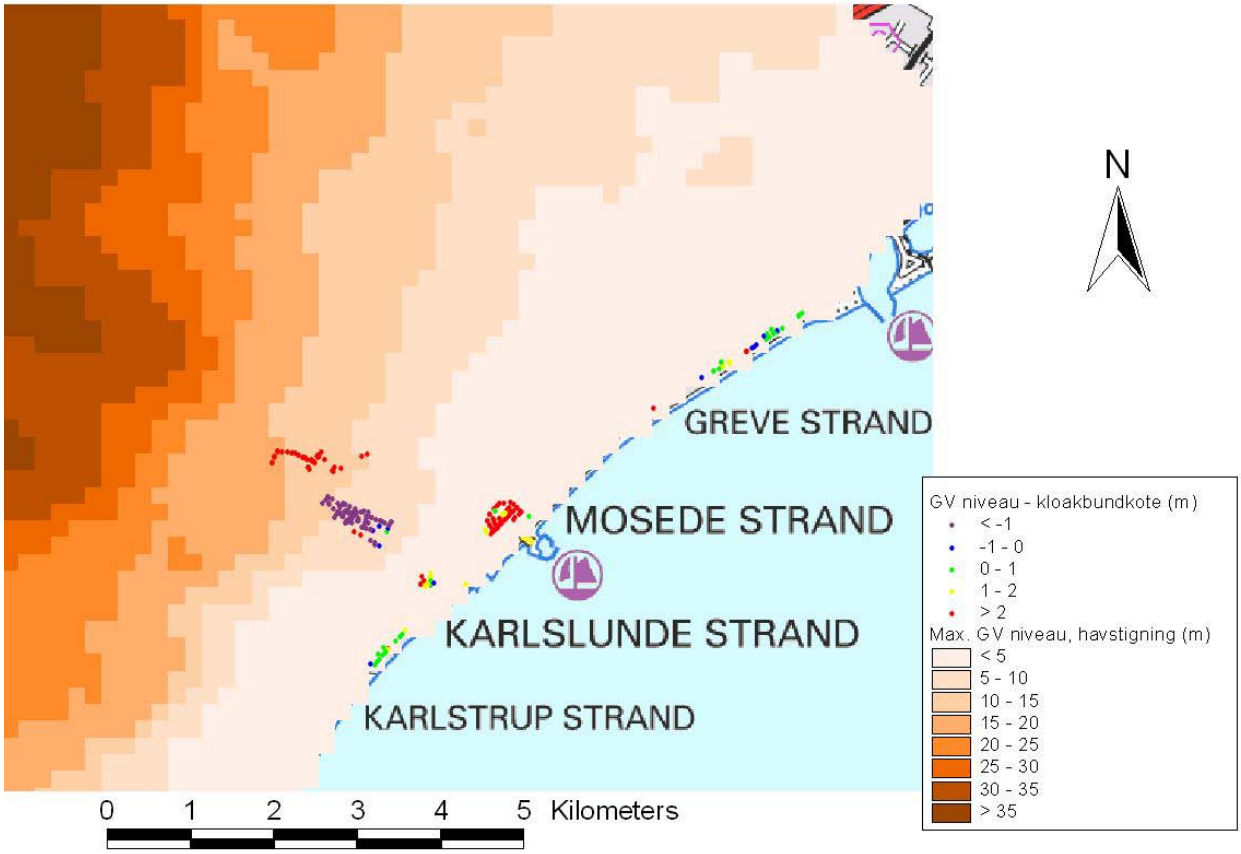
Figur 7.2 Beregnede ændringer i grundvandsstanden frem til år 2100 på grund af klimaændringer (klimascenarium A2).



Figur 7.3 Ændring i grundvandsniveau på de steder, hvor der er kloakbrønde. (klimascenarium A2).



Figur 7.4 Forskel mellem grundvandsniveau og bundkote til kloakbrønde. (klimascenarium A2).



Figur 7.5 Angivelse af de kloakbrønde, hvor grundvandsniveauet forøges på grund af klimaændringer. Signaturforklaringen viser forskel mellem grundvandsniveau og bundkote til kloakbrønde. (klimascenarium A2).

Tilsyneladende får klimaændringerne ikke væsentlige konsekvenser for middelgrundvandsforholdene i Greve hen over året. Det skyldes, at den forventede ca. 15% forøgelse i nedbør modsvares af en næsten tilsvarende forøgelse af fordampningen på grund af temperaturstigninger og andre klimavariable. Nettonedbøren, som er den drivende parameter for grundvands- og vandressourceforhold, bliver således ikke væsentlig anderledes. Figur 7.3 viser, at ændringen i den maksimale grundvandstand de fleste steder er ret lille, på nær langs kysten, hvor stigningen i grundvandsstand, bl.a. skyldes det forøgede havspejl på 0,5 m. Der kan måske i oplandet ske større ændringer i grundvandsforholdene i fremtiden, som f.eks. vil skyldes demografiske forhold; der vil formentlig ske større omlægninger i det danske landbrug, eventuelt med flere afgrøder om året med deraf følgende større fordampning og øget behov for vanding i perioder med for lidt nedbør. Behovet for at kunne kontrollere væksten af afgrøder og gøre denne uafhængig af klimaet (nedbør) vil ligeledes stige. Dette vil forøge oppumpningen fra grundvandsressourcen og alt andet lige føre til et større pres på denne.

8 OPGØRELSE AF SKADER

Priser på skader varierer end 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 og 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 sker 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 en børnehave eller et plejehjem.

I eksemplet, der beskriver effekter af klimaændringer i Greve Midt, er følgende parametre anvendt 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 inden 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

Svømmehaller ikke bliver forurenet 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.

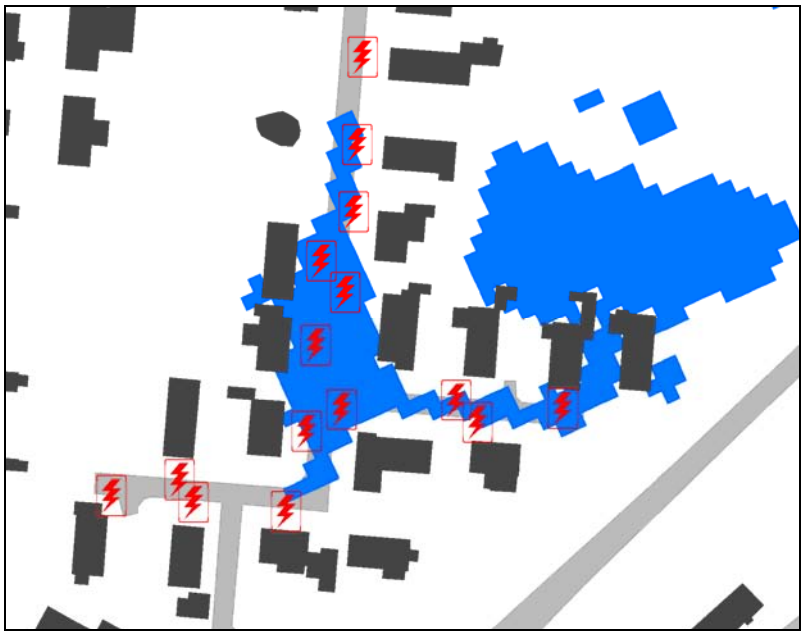
Grænserne for, hvad der kan illustreres og beregnes ud fra GIS, afhænger primært af, hvilke informationer der er til rådighed. Herunder vises et par eksempler til inspiration.

Figur 8.1 viser et tema over, hvilke huse der oversvømmes ved hvilke gentagelses-perioder. GIS-laget for beregnede oversvømmelser er kædet sammen med GIS-laget for huse under hensyntagen til sokkelniveau.

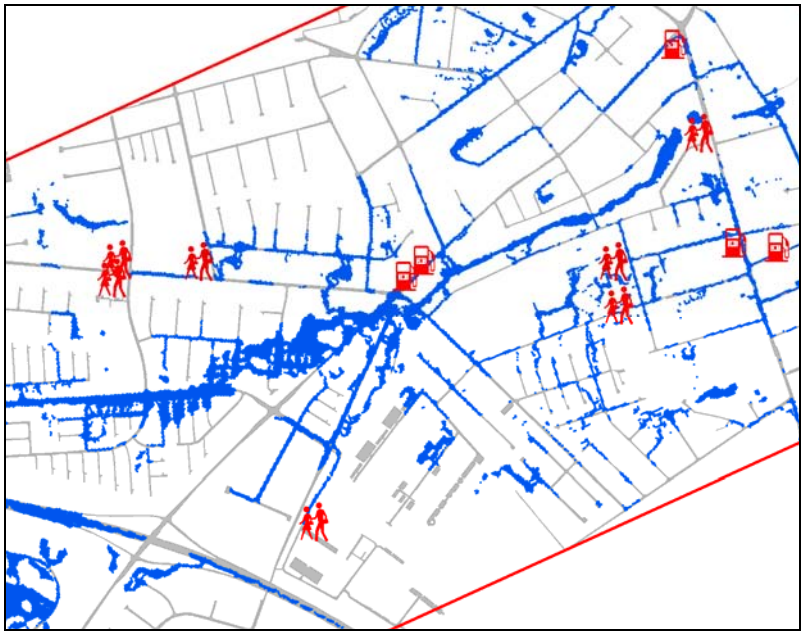
På figur 8.2 er el-skabe illustreret sammen med oversvømmelser over 40 cm, hvorved skabe kan kortlægges og optælles.

Figur 8.3 og 8.4 viser særlige bygninger plottet sammen med henholdsvis over-svømmelsernes udbredelse og dybde. I eksemplet er skoler, børnehaver og service-stationer vist. Denne type GIS-illustration viser, hvor der kan opstå problemer af sundheds- eller miljømæssig art.

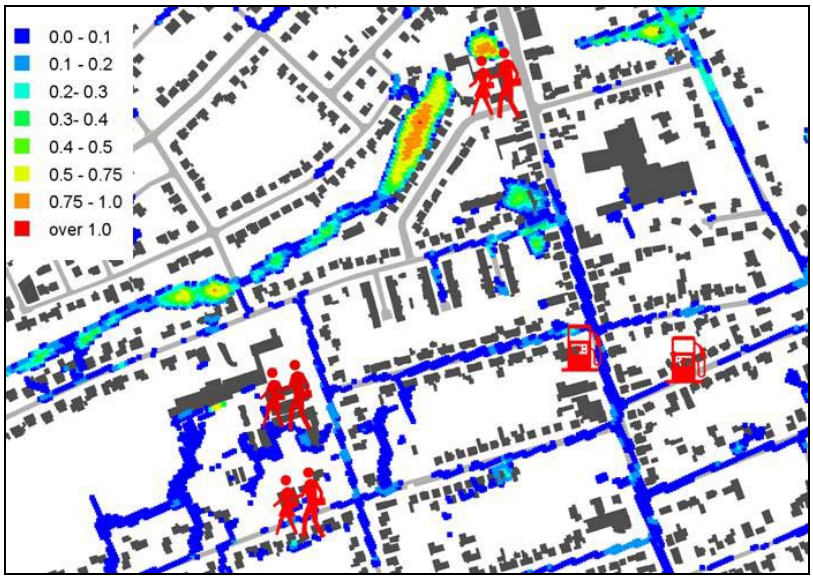
Figur 8.1 Eksempel på GIS-tema over, hvilke huse der oversvømmes ved forskellige gentagelsesperioder.



Figur 8.2 Eksempel på GIS-tema over el-skabe, der beskadiges. Placering af el-skabe er afbilledet sammen med vandstande over 40 cm.



Figur 8.3 Eksempel på GIS-tema over særlige bygninger. Oversvømmelsens udbredelse er afbilledet sammen med placering af skoler og børnehaver samt tankstationer.



Figur 8.4 Eksempel på GIS-tema over særlige bygninger. Oversvømmelsens niveau er afbilledet sammen med placering af skoler og børnehaver samt tankstationer.

Vejvand

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 vejkasserne 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.

Vedrørende prisen for en ny vejkasse skal bemærkes:

1) at den varierer efter tykkelse mv.

2) at den dyre del faktisk 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.

3) i dele af vejkassen 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!!

9 PRIORITERING AF TILTAG

Ethvert afløbssystem med regnvandstilledning vil på et eller andet tidspunkt blive udsat for overbelastning med opstuvninger og oversvømmelser til følge. Klimaændringerne vil bidrage til, at dette vil ske hyppigere end tidligere antaget, idet der forventes en gradvis øget belastning. Funktionskravene skal naturligvis hele tiden være overholdt, og de nødvendige indgreb for at leve op til dette antages foretaget, men der kan altid komme kraftigere regn end svarende til disse krav.

For at kunne foretage de rigtige tiltag mod dette er det vigtigt at have overblik over, i hvilken rækkefølge problemerne vil vise sig og indenfor hvilken tidshorisont. Dette bør der være taget hensyn til ved, at det er forberedt, hvad der skal gøres i sådanne tilfælde. Til dette arbejde vil det være vigtigt at have et overblik over, hvilke skader der i givet fald vil kunne optræde. Det vil især sige omfang af oversvømmelser, arealer der rammes, og vanddybder i områderne. Det er vigtigt at kende hyppigheden af de forskellige skader og at have prioriteret eller bedre endnu værdisat de forskellige mulige skader. Ud fra dette kan forebyggende og afhjælpende aktiviteter planlægges, således at skaderne i givet fald minimeres. Som hjælp ved arbejde med dette samlede problemkompleks kan benyttes risikoanalyser, som ud over oversvømmelser også kan omfatte øvrige risici fra afløbssystemer, således at der kan foretages en prioritering af indgreb ud fra en samlet vurdering af systemets funktion. Risikoanalysen er altså en systematiseret fremgangsmåde til at bestemme, hvilke tiltag der er de optimale ud fra en samlet vurdering af alle de betragtede konsekvenser.

9.1 Hovedprincipperne i en Risikoanalyse

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

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

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

Det er endnu ikke almindeligt at foretage egentlige risikoanalyser af afløbssystemer, men Københavns Energi (KE) foretaget en indledende risikoanalyse af afløbssystemet (Sørensen *et al,* 2005). For at give et indtryk af omfanget og udbyttet af en sådan analy-

se gengives nedenfor hovedpunkterne i artiklen i en lettere bearbejdet form. Projektet er også refereret i Miljøstyrelsens rapport Miljøprojekt nr. 1123.

Formålet med at igangsætte risikoanalysen var følgende:

- At opnå et overblik over risikoen for systemsvigt i forskellige geografiske oplande og på forskellige niveauer af afløbssystemet
- At opbygge metoder og risikoværktøjer til at foretage en optimal prioritering af indsatsen under kvalificeret og kvantificeret hensyntagen til risikoen
- At foreslå risikoreducerende foranstaltninger, således at konkrete projekter kan igangsættes

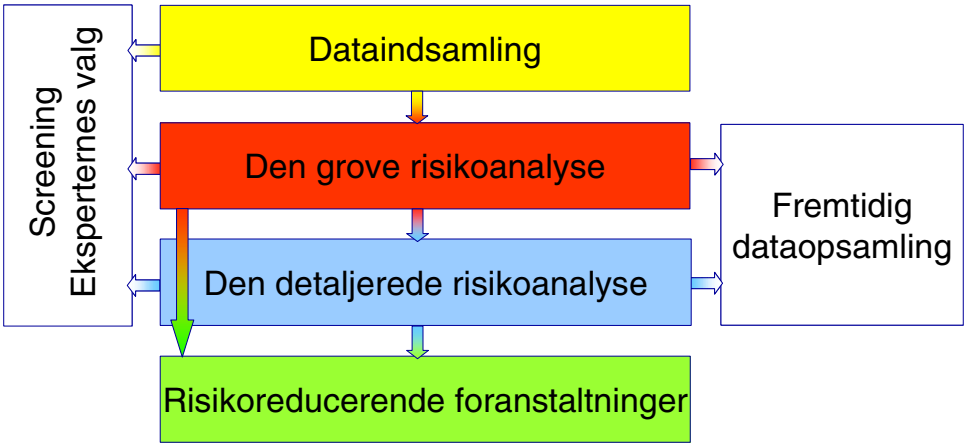
Definition af risikobegrebet

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

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

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 9.1.



Figur 9.1 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 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:

1. En frekvensmatrice
2. En konsekvensmatrice
3. 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 9.2.

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 9.2 Den opbyggede frekvensmatrice.

Konsekvensmatricen beskriver seks forskellige konsekvensklasser gående fra ingen/negligerbar konsekvens til katastrofal konsekvens, der beskrives kvalitativt såvel som kvantitativt. Konsekvensmatricen er vist på overordnet niveau i figur 9.3.

Figur 9.3 Struktur for den opbyggede konsekvensmatrice.

Den viste konsekvensmatrice sammenholder fire forskellige konsekvensklasser – skade på 1. og 2. part (ansatte, rådgivere, entreprenører), skade på 3. part (borgere), materielle skader og skader på miljø. Under miljø spiller især badevandskvalitet en væsentlig rolle, da der gennem de sidste år er investeret et meget stort beløb på badevandskvalitet. Figur 9.4 viser undergrupper, der er medtaget for hver af de fire konsekvensklasser.

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.

Ud fra den opbyggede frekvensmatrice og konsekvensmatrice er det muligt at konstruere en risikomatrice, der sammenholder forskellige risici. Den opbyggede risikomatrice er vist i figur 9.5.

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	13 8 10 12 8	9	10
0,01 - 0,1	4	4	5	6	5 7 7 6	4 8	9
0,001 - 0,01	3	3	4	5	3 6	1 9 7 2	8
0,0001 - 0,001	2	2	3	4	5	6	11 7
0,00001 - 0,0001	1	1	2	3	4	5	6

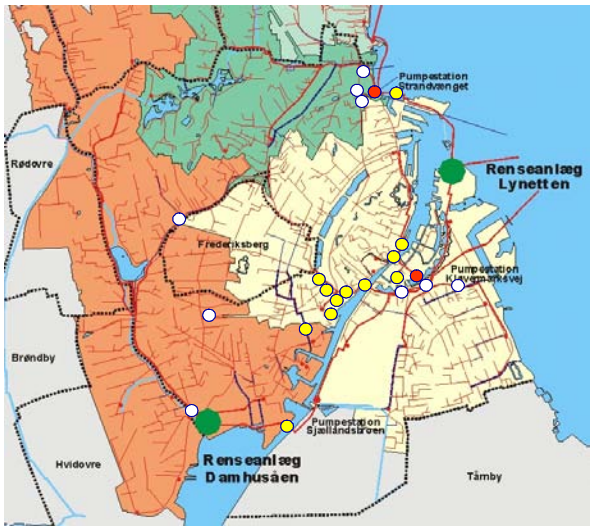
større end 7	Ikke tolerabel
6 eller 7	Uønsket
5	Tolerabel
mindre end 5	Negligerbar

Figur 9.5 Risikomatrice. I matricen er udvalgte lokaliteter i kloaksystemet placeret i forhold til de vurderede frekvenser og konsekvenser.

I risikomatricen benyttes fire farver, som angiver, hvorvidt det beregnede risikoniveau for en given uønsket hændelse er tolerabel eller ej. Et risikoniveau over 6 eller 7 skal medføre implementering af tiltag, der kan reducere risikoniveauet. Jf. figur 9.5 bør der altså identificeres risikoreducerende foranstaltninger for de to hændelser i det ikke-tolerable område (angivet ved cirkel nr. 8 og cirkel nr. 13 i figur 9.5).

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

En anden måde at synliggøre de analyserede risici på er vist i figur 9.6. Kortet viser den geografiske beliggenhed af de analyserede lokaliteter med størst risikoniveau. Ud fra den grove risikoanalyse er det muligt at udvælge de lokaliteter i afløbssystemet med størst risici til videre analyse.



Figur 9.6 *Risikokort. Kan f.eks. indsættes som bilag til spildevandsplan. Kortet viser den geografiske placering af de undersøgte risici. Farverne i cirklerne refererer til farverne benyttet i risikomatricen. Hvid angiver punkter, der endnu ikke er analyseret færdig.*

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

10 FOREBYGGELSE OG REDUKTION AF SKADER PÅ GRUND AF OVERSVØMMELSER

Som det er fremgået af de tidligere kapitler, kan oversvømmelser på grund af ekstremregn ikke helt undgås. Ligeledes vil oversvømmelser på grund af ekstreme vandstande i søer, vandløb og havet visse steder ikke kunne forhindres med 100% sikkerhed, men hyppigheden, hvormed oversvømmelser sker, kan nedbringes, så det sker så sjældent, som man måtte ønske det, og der kan foretages tiltag, så konsekvenserne bliver så begrænsede som muligt.

Der skal altså træffes et valg af, hvor meget man vil sætte ind for at reducere oversvømmelseshyppigheden og -omfanget i ethvert opland. Indsatsen skal afvejes mod de skader og ulemper, som oversvømmelser kan forvolde. Som omtalt i det foregående kapitel kan risikoanalyser være en god hjælp i dette arbejde.

Kommunerne fastsætter det serviceniveau, som de vil tilbyde borgerne. Det antages her, at serviceniveauet er så højt at det mindst opfylder funktionskravene (Skrift 27) med hensyn til opstuvningshyppighed. Problemet er, hvor meget man vil gøre ud af at minimere skader og ulemper fra de ekstreme og sjældne regn, der vil overbelaste systemet f.eks. med 20 til 100 års gentagelsesperiode og om 50 år måske med 10 til 30 års gentagelsesperiode. Spørgsmålet er også, hvornår man vil sætte ind.

Der findes en lang række velkendte tiltag mod oversvømmelser, som anvendes for at opfylde funktionskravene. Disse tiltag kan naturligvis også anvendes mod de ekstreme regn, som overskrider funktionskravenes gentagelsesperioder. Det kræver blot større dimensioner mv. Blandt disse tiltag kan især nævnes:

- Bassiner, der opmagasinerer vand i perioder med store afstrømninger. Bassiner kan være bygget i form af bassinledninger
- Store ledninger med kapacitet ud over dimensioneringskriteriet
- Pumper, der pumper overskydende vand til steder, hvor det kan opmagasineres eller behandles

Særligt kritiske byggerier som f.eks. Københavns Metro, Storebæltstunnellen og motorvejsdybdepunkter dimensioneres for betydeligt kraftigere regn end almindelige byområder. I almindelige systemer er det skønnet at ville være uøkonomisk at dimensionere for sådanne ekstreme situationer, der ligger over hvad funktionskravene anbefaler.

Spørgsmålet er så, hvordan vi reducerer skader og gener fra oversvømmelser uden at skulle investere i store, traditionelle udbygninger. Det er her væsentligt at tage i betragtning, at der vil være tale om tiltag, der kun kommer i brug meget sjældent og kun i situationer, hvor det regner ekstremt kraftigt. Det må derfor accepteres, at der kan optræde visse uønskede konsekvenser af de tiltag, man måtte vælge, hvis man så til gengæld kan undgå eller reducere betydeligt større ulemper. F.eks. kan forurening fra overløbsvand i et parkområde eller på en sportsplads i nødstilfælde accepteres for at beskytte boliger mod oversvømmelser, og afstrømning af vand på vejarealer, så bilkørsel må indstilles, kan accepteres for at forhindre oversvømmelser af bebyggelser mv. Det er vigtigt, at en sådan afvejning foretages på et sikkert grundlag. Det er derfor helt afgørende, at der findes et godt datagrundlag om terræn, oplandsanvendelser og afløbssystem, og at dette er

indbygget i en model, så konsekvenserne er beregnet på sikker vis, og at der derfor har kunnet vælges velbegrundede nødløsninger.

Ved opstilling og vurdering af løsninger, der skal træde i funktion i de nødsituationer, hvor der ellers vil ske alvorlige skader, skal der skelnes mellem, om det er fællessystemer eller separatsystemer, der arbejdes med. Oversvømmelser fra fællessystemer er hygiejnisk risikable, uæstetiske og af mange grunde uønskede. De bør derfor kun foregå til steder, hvor der kun er lille risiko for menneskelig kontakt med vandet og gerne til steder, hvor efterladenskaber efter oversvømmelsen let kan fjernes. Hvis det i force majeure situationer ikke er muligt at aflede alt vand, kan det være en nødløsning at udlede vandet til recipienter og derved undgå oversvømmelser af vital infrastruktur, boliger mm.

Oversvømmelse af arealer i force majeure situationer, sker ofte f.eks. på parkeringsarealer, store veje, mv. I udlandet er der mange steder – hvor der er pladsmangel – bygget nødbassiner, som til daglig benyttes til f.eks. parkering, eller tennisbaner og andre idrætsformål, men som måske en gang hvert 5. eller 10. år er nødbassin, som så rengøres omhyggeligt efter tømningen. I Danmark bør offentlige arealer, som benyttes aktivt, ikke oversvømmes oftere end hvert 10 år. Der eksisterer i dag ikke retningslinien på dette område.

Oversvømmelser fra separatsystemer er hygiejnisk og æstetisk mindre ubehagelige, og der vil derfor være flere frihedsgrader med hensyn til afledning og opmagasinering af vandet. Vandet vil i mange tilfælde kunne strømme på overfladen – specielt gaderne – uden at det nødvendigvis giver store gener. Problemet opstår, hvis vandet samles steder, hvor der ikke er afløbsmulighed. Alle lavninger i byområder bør undersøges for, om vandet vil strømme dertil fra større arealer. Som det er beskrevet i denne rapport og vist i appendices, kan det med en terrænmodel vurderes, om det er noget, der vil ske. Adskillige kommuner her i landet har dårlige erfaringer med byområder, som er omkranset af vandskel, og hvor afløbssystemet ikke har haft kapacitet til at lede vandet bort under kraftig regn. Løsningen kan være at et gadeprofil skal ændres, så vandet kan komme videre, eller der skal findes et sted, hvor vandet kan komme væk fra gadearealet til et mindre kritisk sted. Det skal her igen huskes, at dette er en situation, hvor der er meget vand overalt, og måske er ledig kapacitet allerede optaget af andre tilløb.

Der kan altså være tale om at vælge f.eks. følgende elementer i nødanlæg:

- Bassiner, f.eks. lavninger i grønne områder
- Overløb og udløb, kun i funktion for at hindre oversvømmelser
- Kanaler, grøfter mv. Udpegede strækninger, hvor vandet vil løbe
- Pumpestationer. Faste eller mobile anlæg, der kun bruges i nødsituationer
- Oversvømmelsesområder. Udpegede områder, der er egnet til opmagasinering af vand.

Det er væsentligt, at der arbejdes kreativt med løsningsmulighederne, og at det sker på baggrund af et overblik over systemet. Der vil være mange muligheder for at vælge uhensigtsmæssige løsninger.

10.1 Beredskabsplaner

Alle kommuner skal – som en del af det generelle civile beredskab – have en beredskabsplan. Der er 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 kritisk for driften af afløbssystemet, f.eks. nedbrud af elforsyning, stormflodsskader ved udsatte lokaliteter, personale/entreprenørberedskab til i nødsituationer at kunne opretholde en minimumsdrift. Der er ikke tale om at stille krav om en fuld beredskabsplan, men alene at vurdere betydningen af ekstremregnsituationer som input til en beredskabsplan.

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

- Egentlige fysiske foranstaltninger til at reducere effekterne af en ekstremregn situation og deraf følgende oversvømmelser
- Information/varslinger både internt i kommunens drift og eksternt
- Beredskab til akut ad hoc-indsats.

10.2 Varsling

I dag varsles der for ekstreme vandstande langs de danske kyster. Varslingen fortages af DMI.

10.2.1 Varsling af kraftige regnhændelser og oversvømmelser

Oversvømmelser kan forekomme enten ved kraftig nedbør eller ved kraftig forøgelse af vandstanden i en eventuel recipient, som er randbetingelse til afløbssystemet. Hvis det er muligt at forudsige, at der om et antal timer vil ske en signifikant ændring af regn eller recipient vandstand, vil det i mange tilfælde være muligt at etablere en bedre udnyttelse af den eksisterende infrastruktur i afløbssystemer, såsom bassiner og nedpumpning af andre reservoirer. Dvs. der etableres mere volumen i eksisterendesystemer når der er varslet ekstrem nedbør end der er under normale forhold. Denne form for varsling på nedbør og recipientvandstand er mulig f.eks. gennem DMI's og Vejr2's varsling af nedbør og DMI's stormflodsvarsling. Lokale målere kan også være til nytte, hvis der f.eks. i lokalområdet etableres vejrradar, eller nedbørspunktmålinger i oplandet.

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.

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 varslingssystem 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.

11 SAMMENFATNING OG KONKLUSION

Nærværende rapport giver en status på den viden, vi har om klimaændringer i dag – set i relation til afløbssystemer. De klimascenarier, som eksisterer i dag, indikerer, at nedbørsforholdene over Danmark og vandstandene i de danske farvande forventes at ændre sig signifikant. Danske afløbssystemer kan få problemer med at overholde dagens funktionskrav i Skrift 27, under de fremtidige klimaændringer, hvis der ikke gøres noget. Det er derfor vigtigt, at afløbssystemerne i tide forberedes til at kunne håndtere de forventede forøgede nedbørsmængder, således at der sker en forsvarlig og sikker håndtering af regn- og spildevand i henhold til dansk funktionspraksis samtidig med, at den økonomiske investering optimeres.

Datakrav til klimaanalyser af afløbssystemer er, udover de data som i dag anvendes: klimafremskrevet regn og vandstande i tilknyttede recipienter, hvis recipienten har indflydelse på kapaciteten af afløbssystemet.

Rapporten beskriver i detaljer metoder til konsistente analyser for design og analyse af funktionskrav under hensyntagen til mulige fremtidige klimaforhold og ekstreme regnhændelser. Rapporten beskriver problemidentifikation og metoder til at kvantifiere overskridelsen af funktionskrav og bestemmelse af potentielle skader fra oversvømmelser. De metoder, som er præsenteret i rapporten, er anvendt på to oplande i henholdsvis Greve og Odense.

Analysemetoderne som er beskrevet i dette projekt er:

1. En ”ren” GIS analyse ved hjælp af en digital terrænmodel
2. En hydrodynamisk analyse af selve afløbssystemet ved hjælp af en hydrodynamisk afløbsmodel
3. En hydrodynamisk analyse af afløbssystemet og oversvømmelser på terræn, ved brug af en kombineret hydrodynamisk afløbsmodel og en overflademodel.

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.

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 pga. 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.

Varsling af ekstremregn og varsling af oversvømmelser i byer er et uopdyrket område i Danmark. Varsling af oversvømmelser anvendes systematisk i udlandet i kombination med beredskabsplaner. Det anbefales at evaluere effekten af varsling i kombination med beredskabsplaner for at etablere viden om danske forhold på dette punkt. Varsling vil muligvis kunne nedbringe omkostningen til tilpasning af afløbssystemerne til klimaændringer, idet varsling kan bruges til optimering af eksisterende systemer i kombination med eller i stedet for etablering af nye anlæg.

12 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

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

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 – Tillægsrapport
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

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

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 (2005)
Skrift 27 - Funktionspraksis for afløbssystemer under regn

Spildevandskomiteen (2006)
Skrift 28 – Regional variation af ekstremregn i Danmark – ny bearbejdning (1979-2005)

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 – E K S E M P L E R

A P P E N D I K S A

Greve – Greve Midt og Karlslunde

A.1 Appendiks A. Greve – Greve Midt og Karlslunde

A.1.1 Indledning

D. 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.

D. 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 regnvandssystemerne, 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 m^3/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 varslingssystemer for Greve blive beskrevet.

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

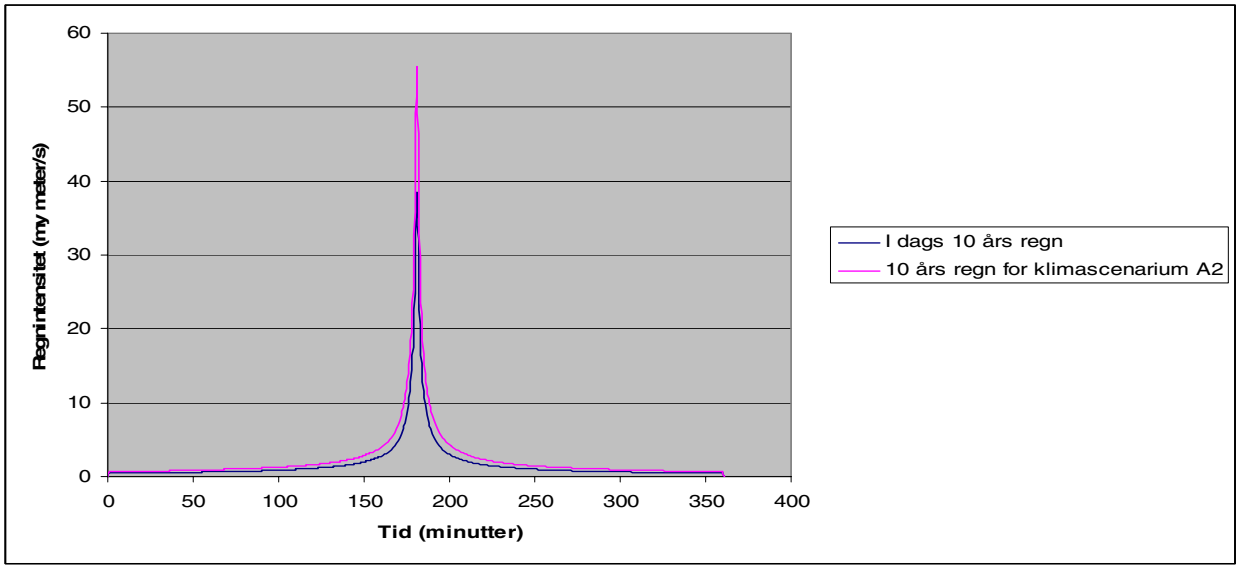
A.1.2 Oplandsbeskrivelse

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.

A.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 regnene. Det vurderes derfor, at stigningen i nedbøren bedst indregnes ved hjælp af en faktor (klimafaktor) på regnene, som de anvendes i dag. For Greve er det pga. usikkerhed om klimaændringer valgt at benytte en klimafaktor på 1,2. Hertil kommer, at MOUSE modellen for Greve er delvist kalibreret, så 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 A1.



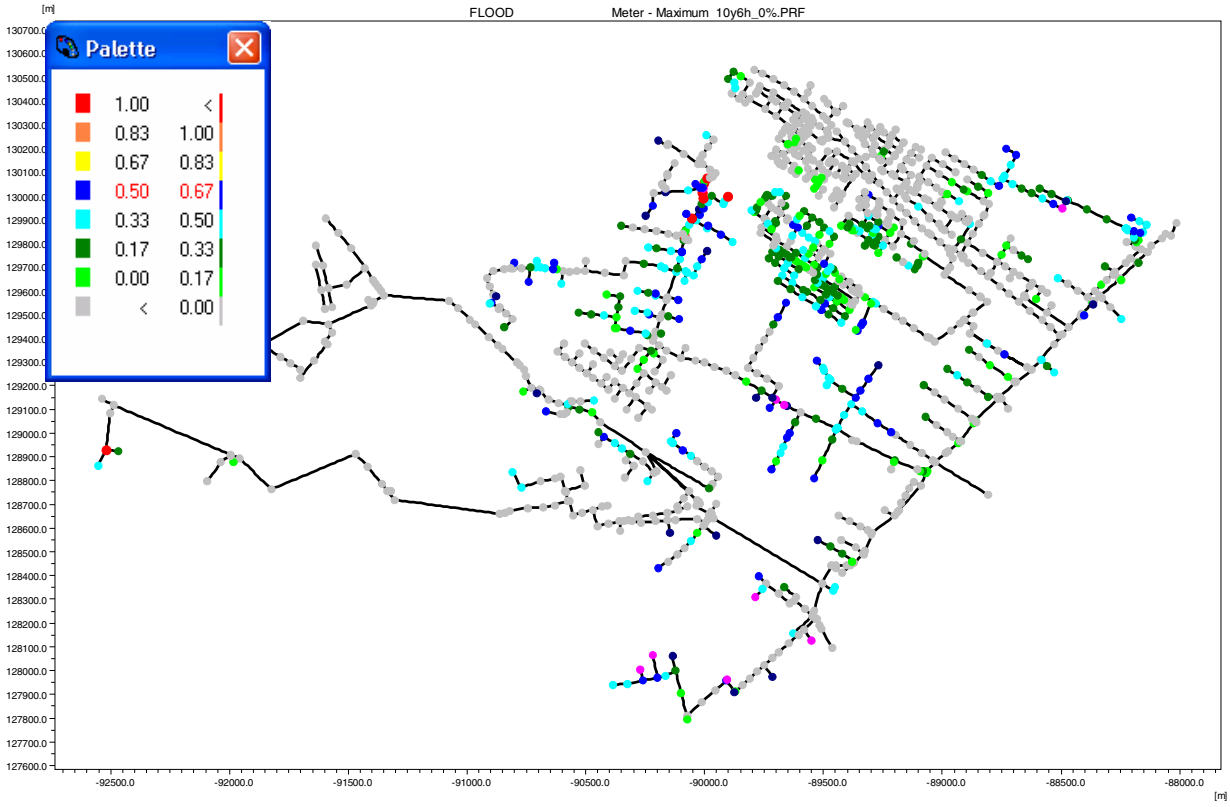
Figur A1 Nuværende dimensionsgivende og klimafremskrevet 10 års CDS-regn for Greve. Tidsskridt = 1 minut. Klimafaktor = 1,2. Den klimafremskrevne regn er baseret på scenariet A2.

A.1.4 Udviklingen i overholdelse af funktionskrav i Greve

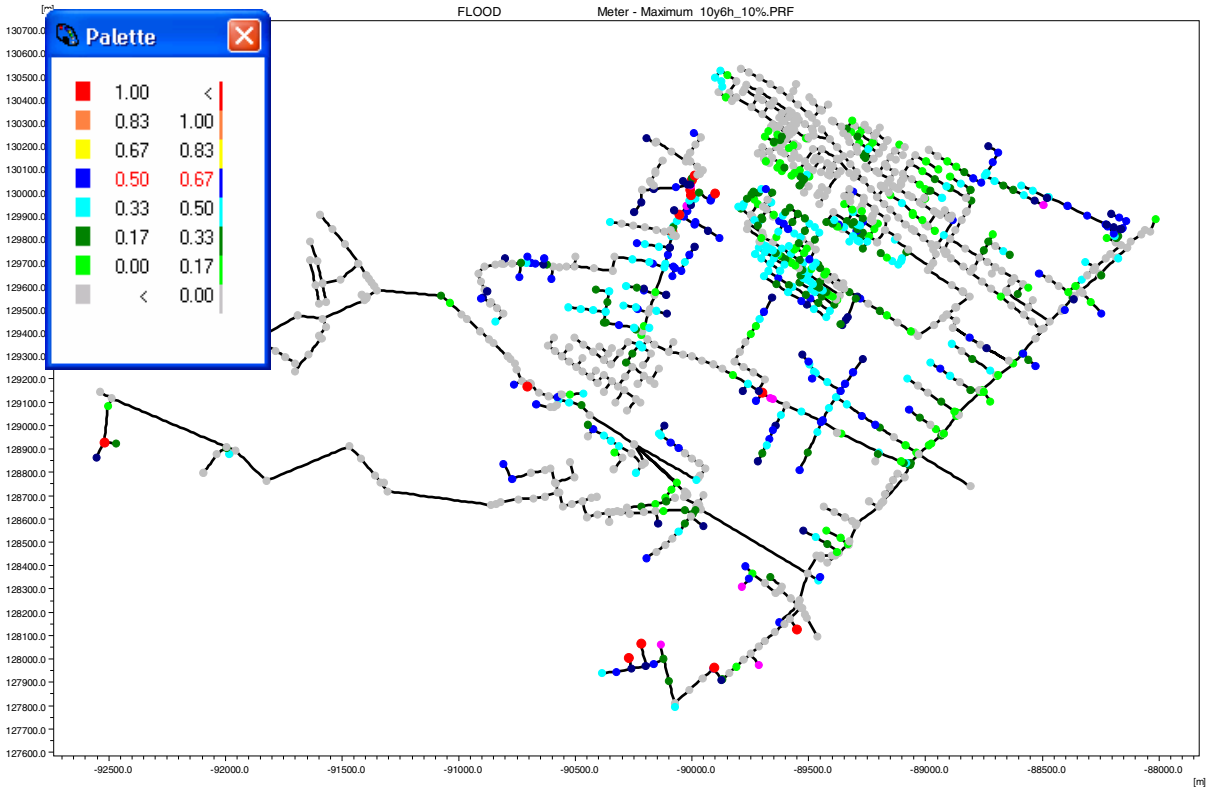
Greve kommune er interesseret i at analysere udviklingen i hvordan afløbssystemet overholder nuværende funktionskrav under påvirkning af klimaændringer. For at prioritere tiltag på afløbssystemet, simuleres den tidslige udvikling i klimaændringer, ved lineært at fremskrive en 10 års CDS regn og vandstanden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

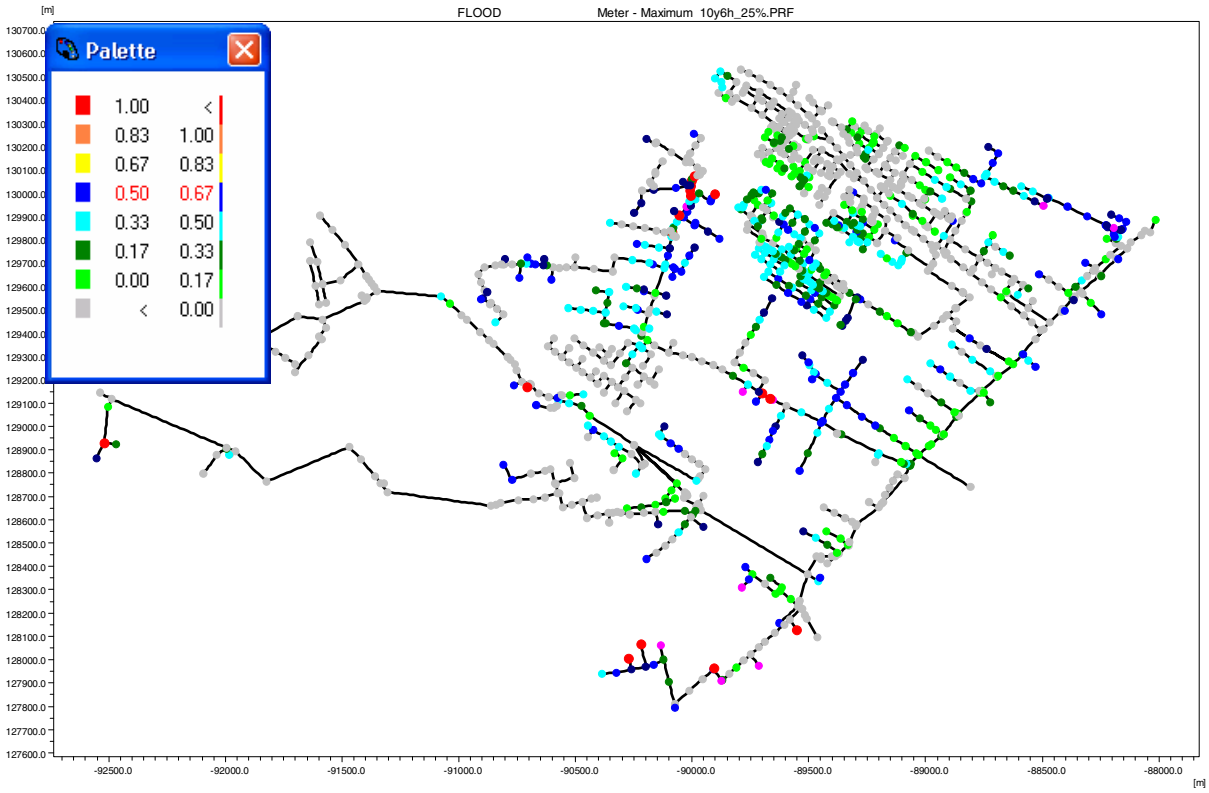
Dvs. der foretages en problemidentifikation først. Identifikationen foretages ved at køre almindelige MOUSE rørberegninger og ved at identificere steder med oversvømmelser. Da terrænet ikke er beskrevet i de mest almindelige MOUSE modeller, er angivelsen af oversvømmelsesdybden kun indikativ. Resultatet af de fire simuleringer er vist på figur A2-A5.



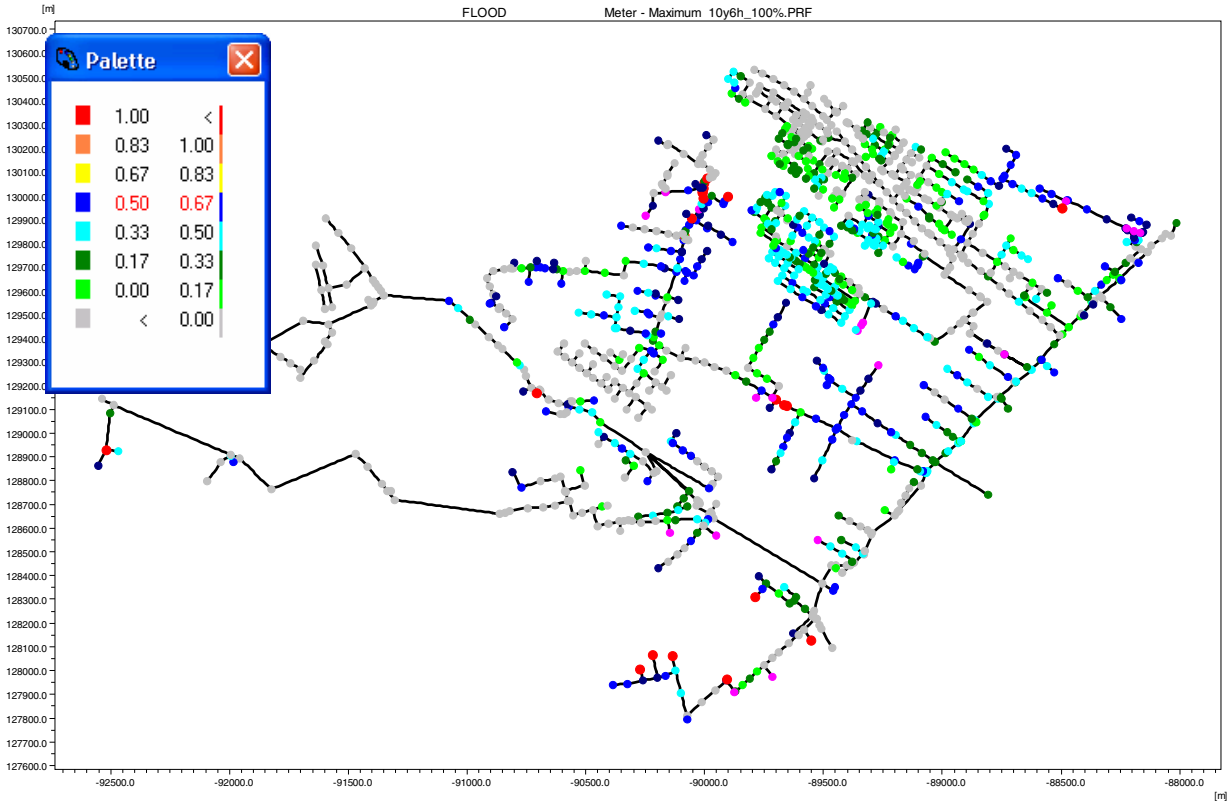
Figur A2 Indikation af oversvømmelsesdybder, dvs. steder hvor afløbssystemet i dag får problemer for en 10 årsregn. Regninput: 10 års CDS-regn.



Figur A3 *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 A4 *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 A5 *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 problemidentifikation, 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 A2, forventes der en hel del oversvømmelser i dette område for en 10 års CDS-regn i dag. Den kombinerede MOUSE og hydrodynamisk overflade model (MIKE FLOOD) bruges til at beregne oversvømmelserne i detaljer. Det ses fra figur A6, at der kan forventes oversvømmelser (på op til 33 cm ved gymnasiet) om 10 år, hvis klimaændringerne følger klimascenarium A2. Bemærk i øvrigt modelusikkerhedsfaktoren, som er sat til 20%. Figur A7 viser de beregnede oversvømmelsesdybder for klimascenarium A2 om 100 år. Det ses at klimaændringerne nu giver anledning på 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 A8 og A9. 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 klimaændringer 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

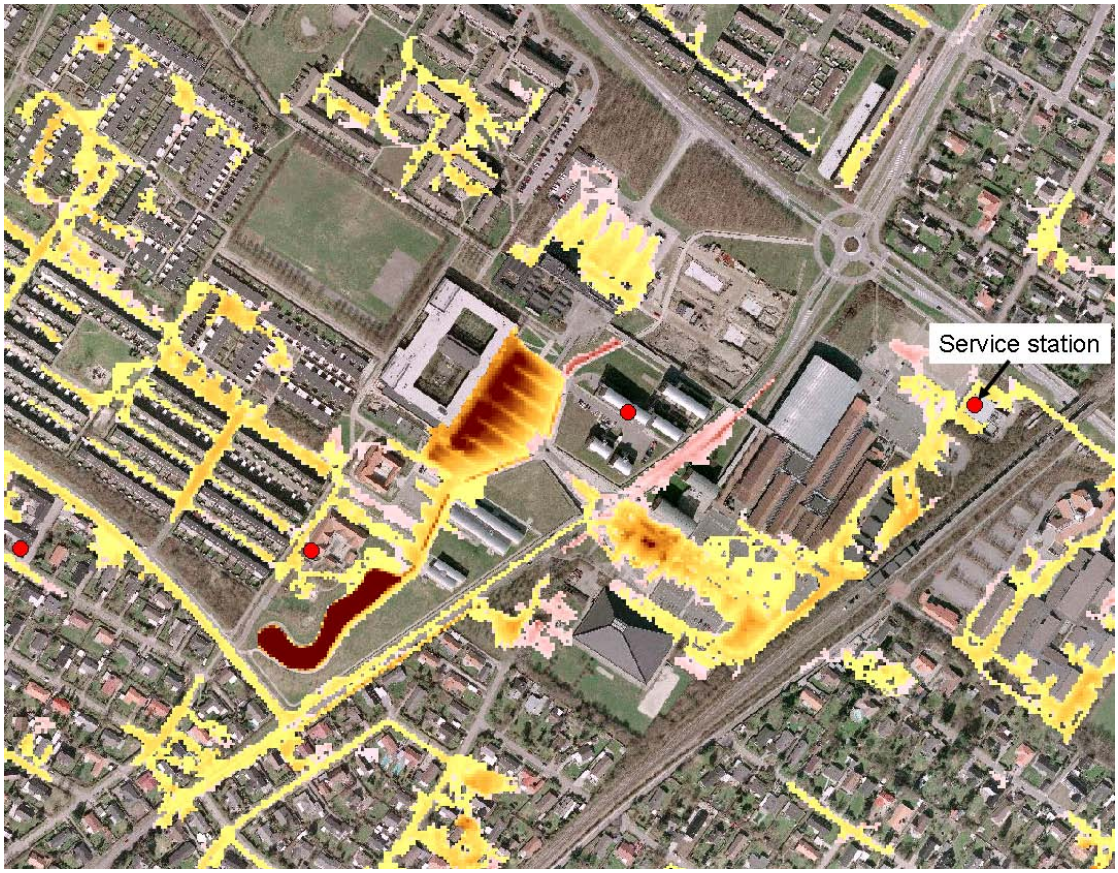
den dimensionsgivende nedbør og vandstand i Køge Bugt er overskredet. 2) vil danne grundlaget for beslutningstagen om hvordan der skal reageres, når hændelserne bliver meget ekstreme og afløbssystemet ikke kan og ikke skal kunne tage regnvandet. Der kan blive tale om varslingssystemer der udnytter eksisterende systemer mere optimalt og en beredskabsplan der beskriver hvordan driftforhold skal håndteres så skader minimeres og vandet ledes dertil, hvor det gør mindst skade – f.eks. i grønne områder.

Figur A6 *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: Forsyningsskabe (de skabe som sidder ved alle matrikler); Fiberpunkt (de steder hvor der er skabe, hvori der sidder samling af fiberledninger); Stationer der samler forsyningsskabe; bygninger med kældre; offentlige bygninger og miljøtunge virksomheder. Eksempler på sammenstillinger af kommunens GIS-data med de beregnede oversvømmelser kan ses på figur A8. På figur A8 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 service stationen, vil blive oversvømmet allerede om 10 år, og derfor bør konsekvenser af en sådan oversvømmelse overvejes.

F

Figur A7 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 A8 Gul/brun farve indikerer oversvømmelser beregnet for en 10 års CDS-regn, fremskrevet med 10 år. Lyserøde farver oversvømmelser beregnet for en 10 års CDS-regn, fremskrevet med 100 år. Regninput: 10 års CDS-regn og vandstand i Køge Bugt fremskrevet for klima-scenarium A2.

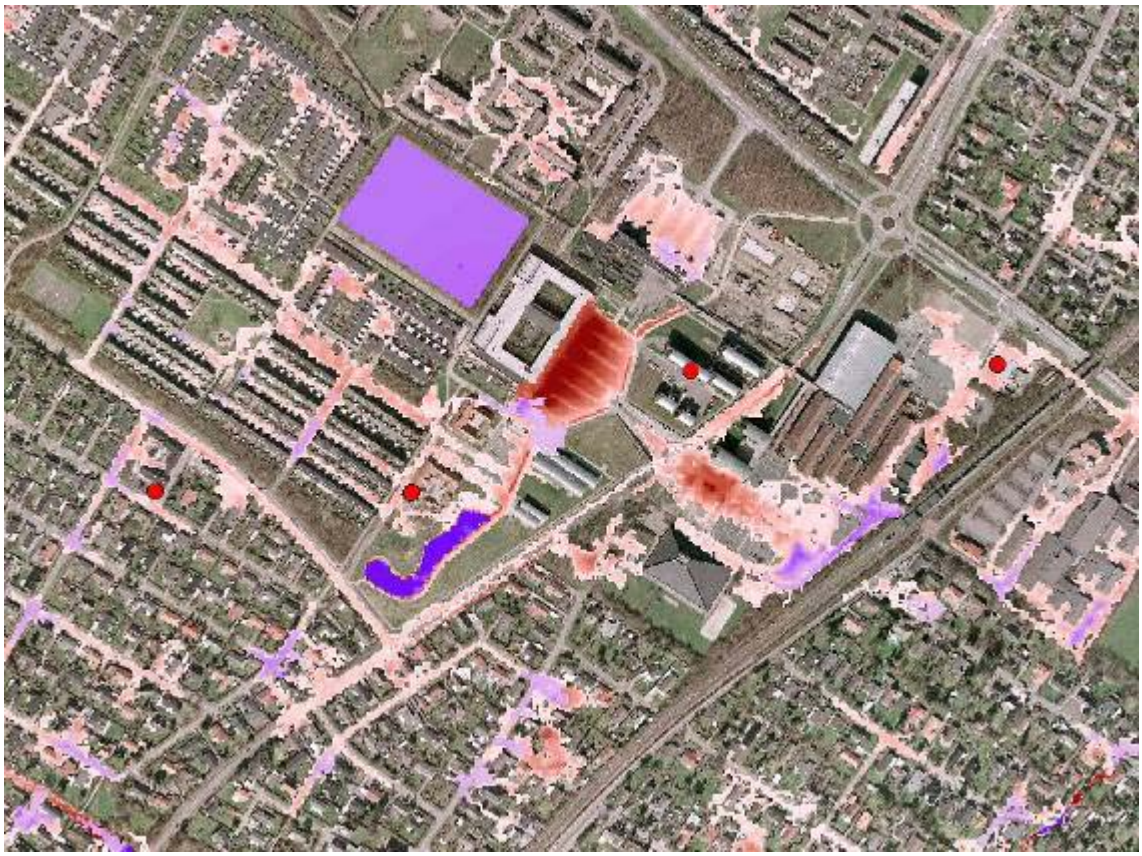
A.1.5 Alternative løsninger til at reducere skader fra oversvømmelser i Greve

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 A9 viser fodboldbanen.

Figur A9 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 m^3/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 A10, 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 A9. På figur A9 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 A10 *Blå/lilla farve indikerer oversvømmelser efter installation af to 0,5 m^3/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 A11 *De maksimale vandstande efter installation af to 0,5 m^3/s pumper og anvendelse af fodboldbanen som regnvandsbassin. Referenceberegning er vist i figur A6. Regninput: 10 års CDS-regn og vandstand i Køge Bugt fremskrevet for klimascenarium A2.*

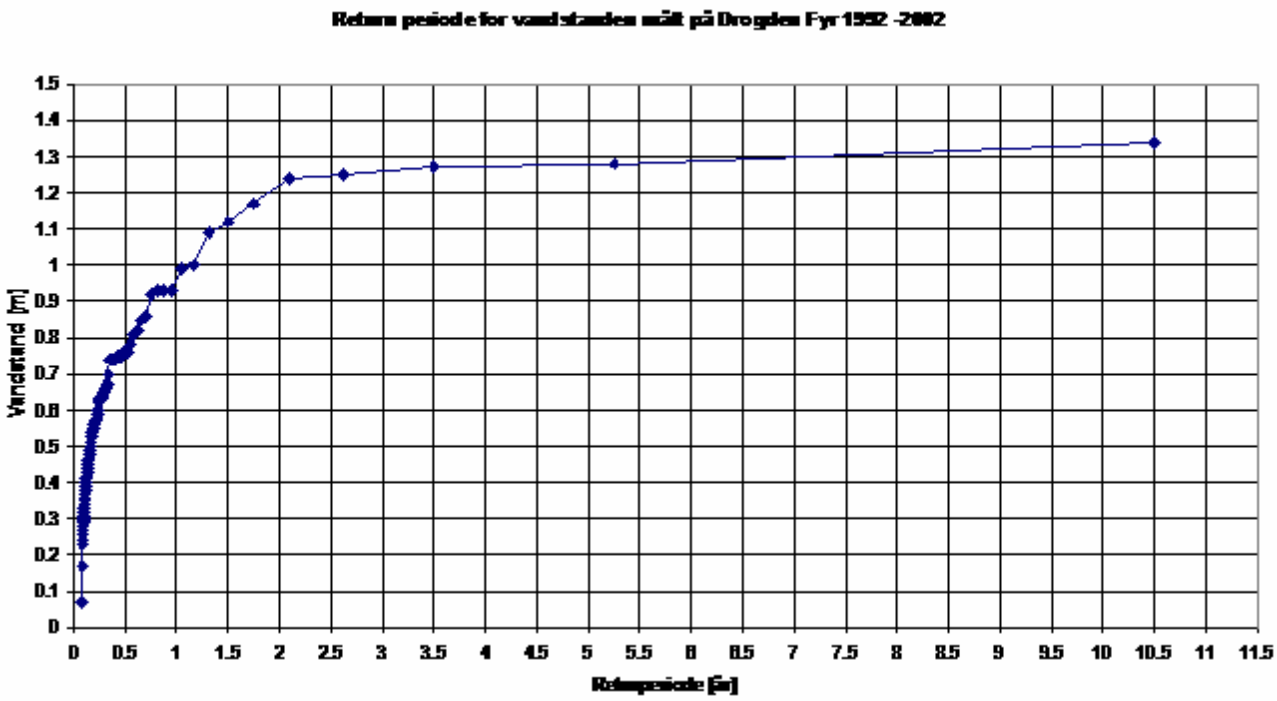
A.1.6 Effekter af klimaændringer på vandstanden i Køge Bugt

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

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

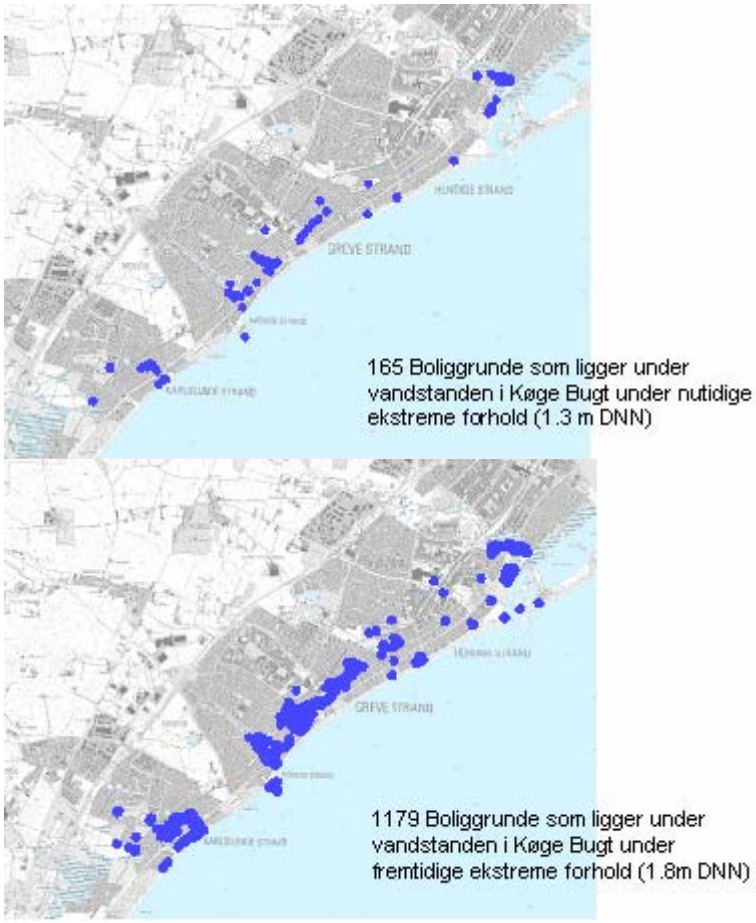
Der kan med fordel gennemføres en relativ hurtig analyse af, hvilken "direkte effekt" en øget vandstand i havet har på en kystnær kommune som f.eks. Greve. Ved "direkte effekt" menes, om der kan ske tilbagestuvning fra havet til byen ved ekstrem højvande.

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 A12 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.



Figur A12 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 A9. Denne analyse kan udvides til også at inkludere antal matrikler, som har boliger med kældre; koter til stuegulv, m.m.



Figur A13 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.

A.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.

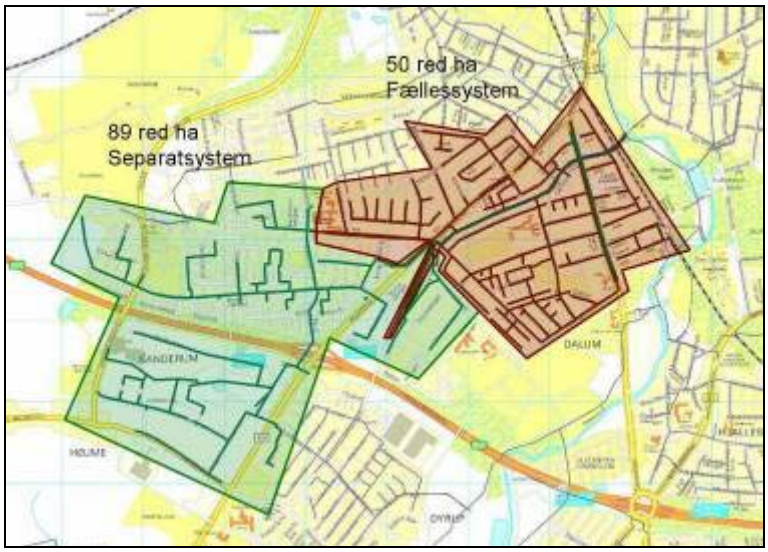
A P P E N D I K S B

Odense - Sorgenfribækken

B.2 Appendiks B. Odense – Sorgenfribækken

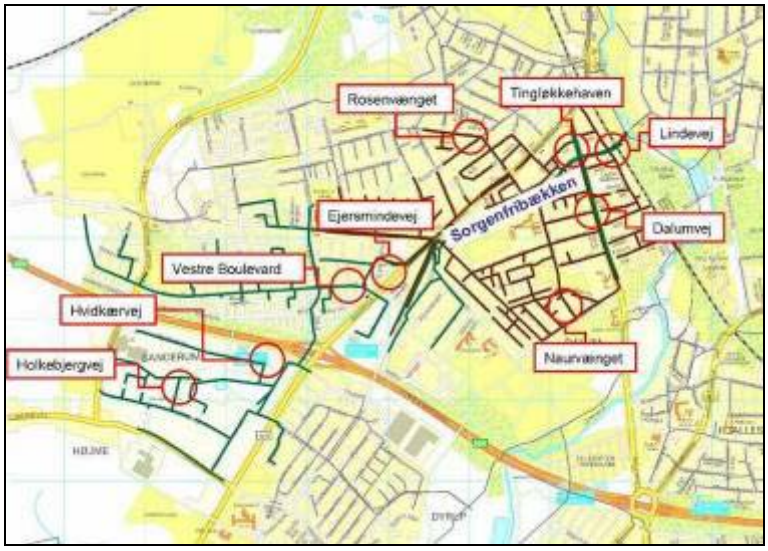
B.2.1 Opland

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 B1.



Figur B1 Sorgenfribækken – oversigt.

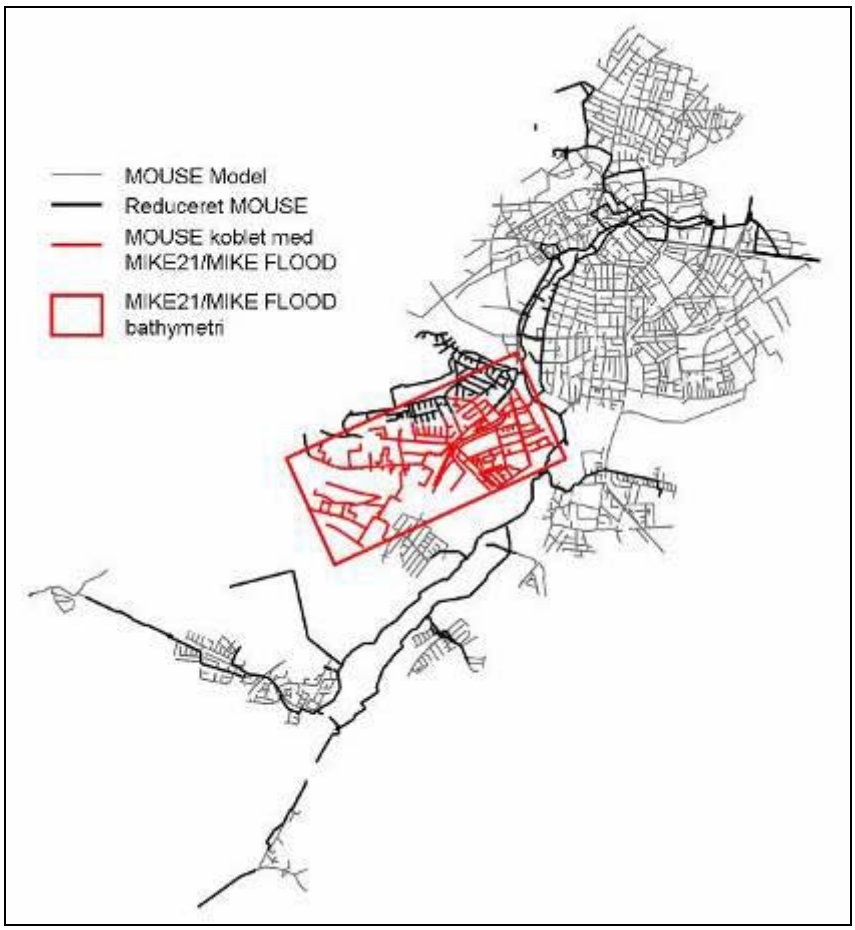
I oplandet er der rapporteret om stuvningsproblemer både til kælder og til terræn (se figur B2). Nogle af de største problemer er blevet konstateret ved Tingløkkehaven og Ejersmindevej. Ved en børnehave på Tingløkkehaven står der jævnligt vand fra fællessystemet på terræn, og på Ejersmindevej er kældre flere gange blevet oversvømmet af separat regnvand, der er trængt ind gennem nedgange i terrænniveau.



Figur B2 Områder med stuvningsproblemer

B.2.2 Model setup

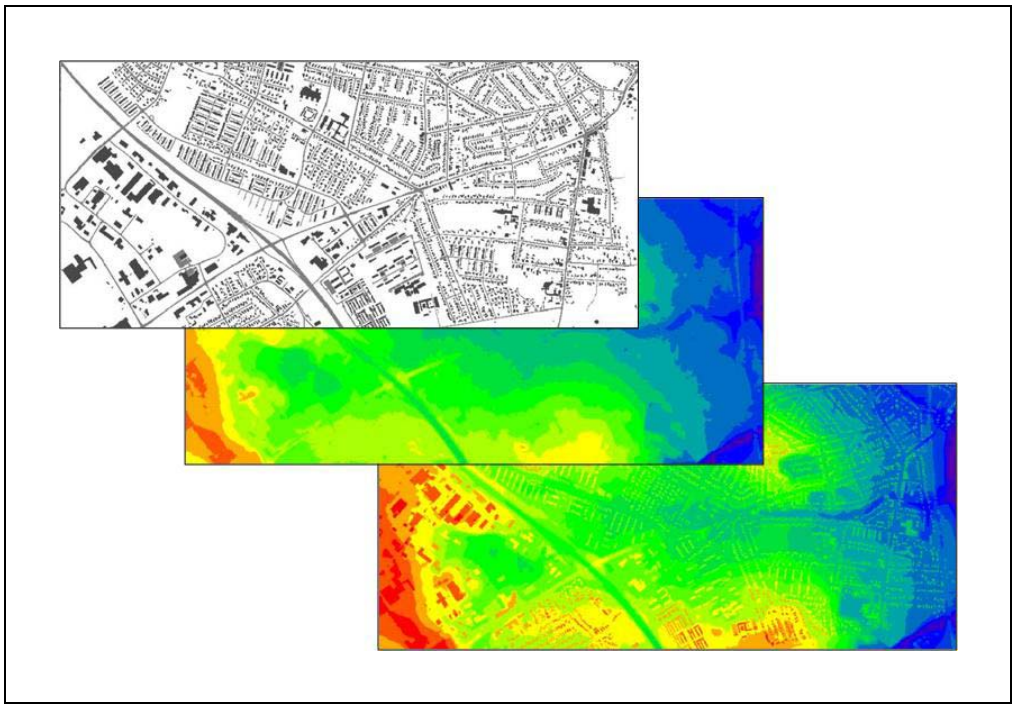
For oplandet til Sorgenfribækken foreligger en velkalibreret MOUSE model. Nedstrøms er afløbssystemet via overløbsbygværker forbundet til samlekloakken langs Odense Å. Samlekloakken fører vandet frem til Ejbymølle Renseanlæg. Ved model setup til beregning af Sorgenfribækkens opland reduceres en stor 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 3B.



Figur B3 Oversigt over model.

MIKE 21 bathymetrien er genereret ud fra en terrænmodel, hvor tætheden af data (xyz-målinger) er 5-10 meter. Modelområdet er med et areal på 6,3 km^2 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.

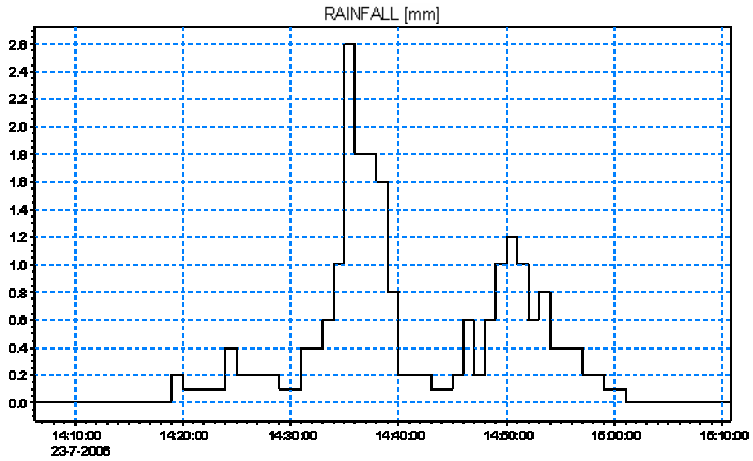
Huse er hævet 4 m, og veje er sænket 20 cm i forhold til terrænmodellen.



Figur B4 MIKE 21 bathymetrien genereres ud fra terrænmodel samt huse og veje.

B.2.3 Kalibrering

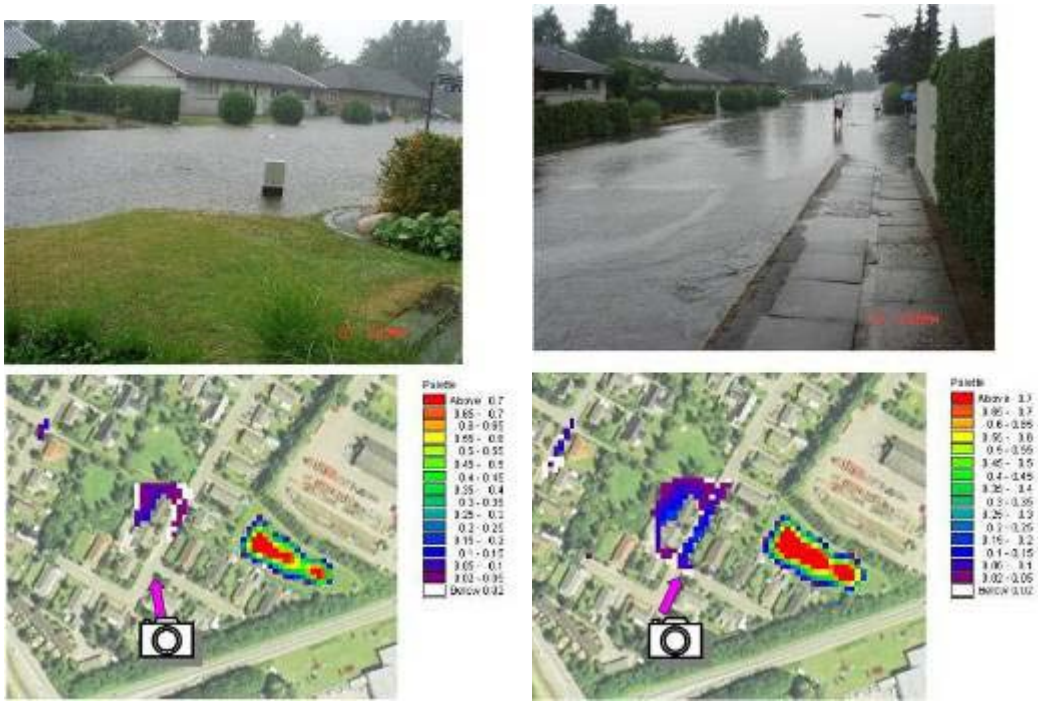
Der findes ingen direkte målinger af vandstande under ekstreme regnhændelser. Til gengæld findes der en række informationer om, hvor der ofte er observeret vand på terræn samt en meget detaljeret billedserie fra en enkelt regnhændelse d. 23. juli 2006. Billedserien koncentrerer sig om Ejersmindevej, 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 B5).



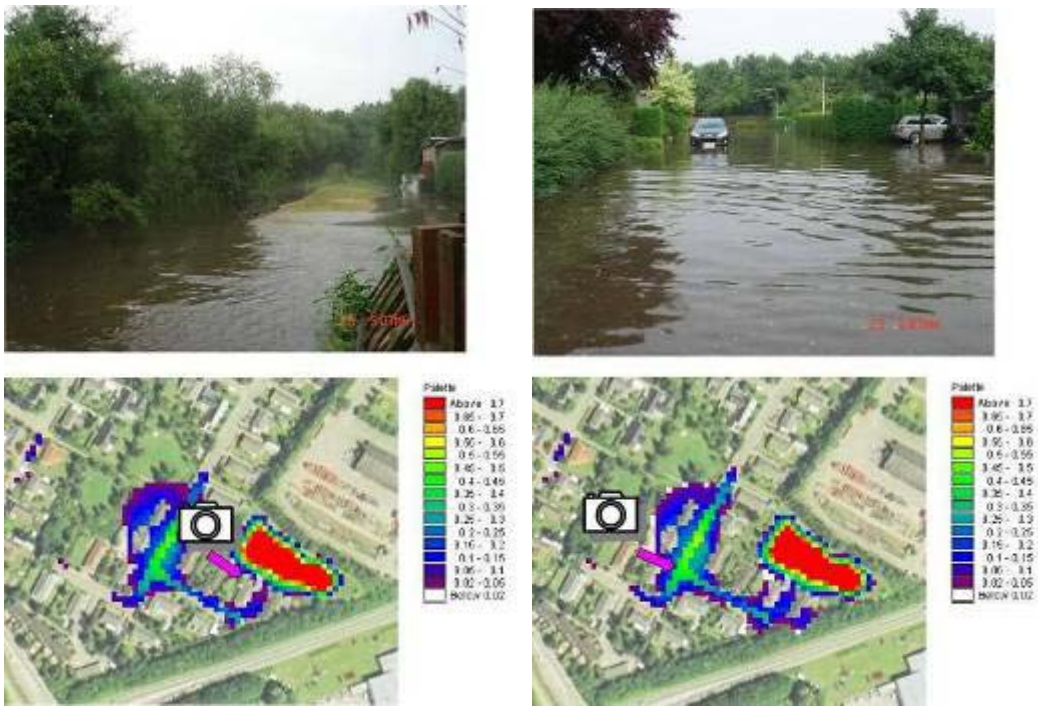
Figur B5 Regnhændelse d. 23. juli 2006 – GMT tid.

Figur B6-A og B6-B viser simulering og tilhørende fotografier under regnhændelsen og ved regnhændelsens ophør og efter regnhændelsen. Under regnhændelsen (venstre foto figur B6-A), 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 B6-A og på begge foto på figur B6-B 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 B6-A, 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 stuves tilbage op gennem stikledningerne og op på vejen igen.

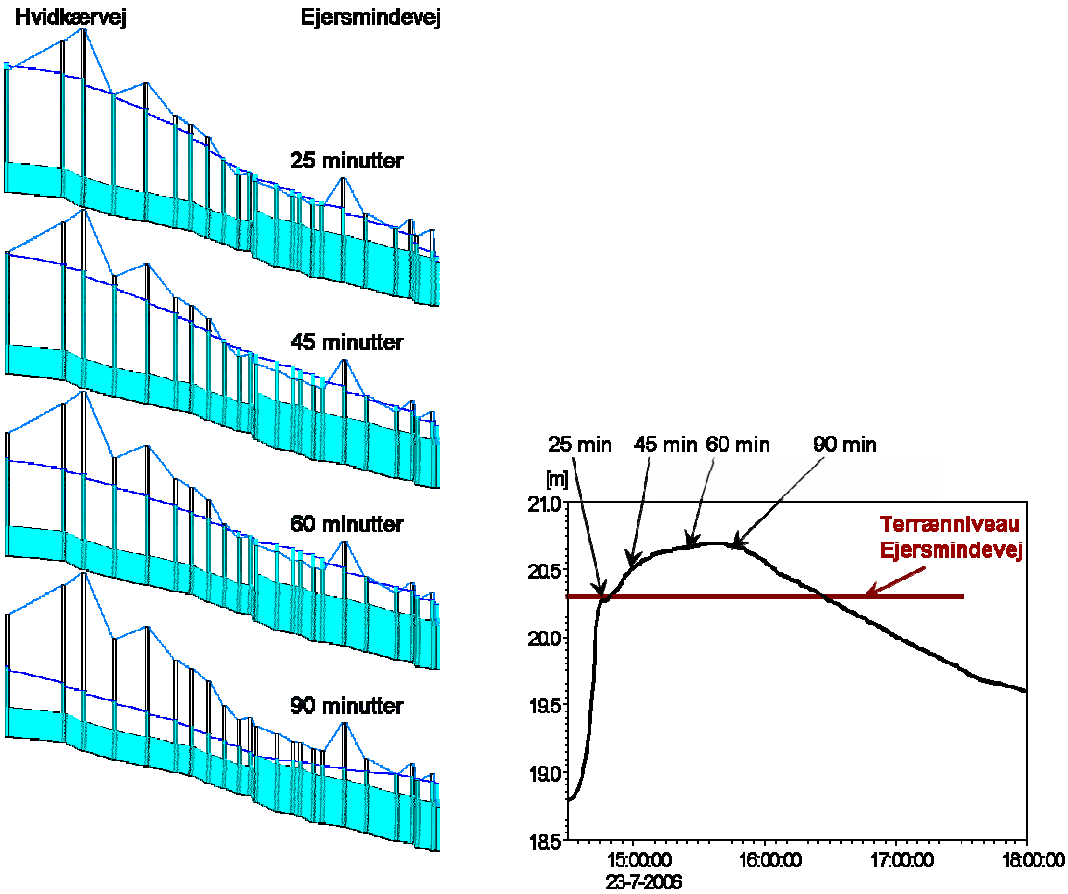
Figur 7B viser længdeprofil mellem Hvidkærvej og Ejersmindevej samt en tidsserie for vandstanden ved Ejersmindevej. Det illustrerer hvordan vandstanden ved Ejersmindevej forsat stiger lang tid efter regnhændelsens ophør.



Figur B6-A Ejersmindevej efter 25 og 45 minutter.

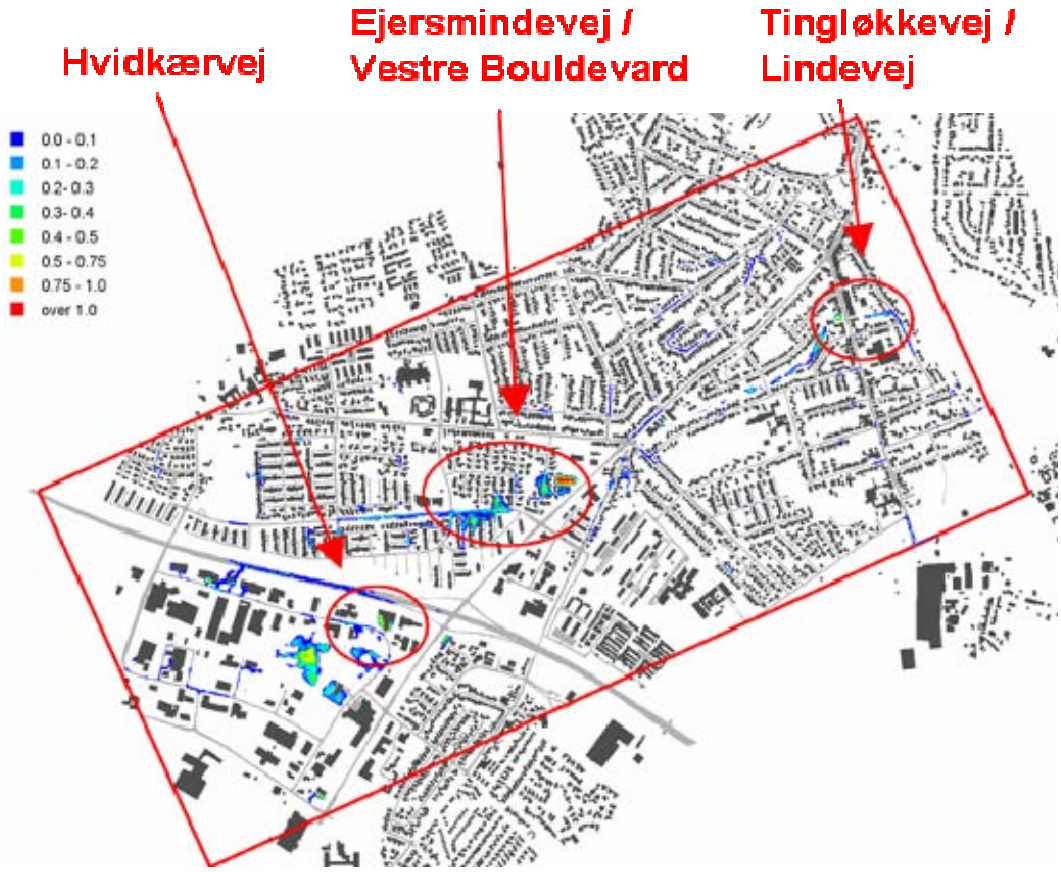


Figur B6-B Ejersmindevej efter 60 og 90 minutter.



Figur B7 Længdeprofil fra Hvidkærvej til Ejersmindevej og tidsserie for vandstand ved Ejersmindevej.

Figur B8 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 B8 *Beregnede vandstande over terræn for CDS regn, T = 10 år, samt de vigtigste kendte problemområder.*

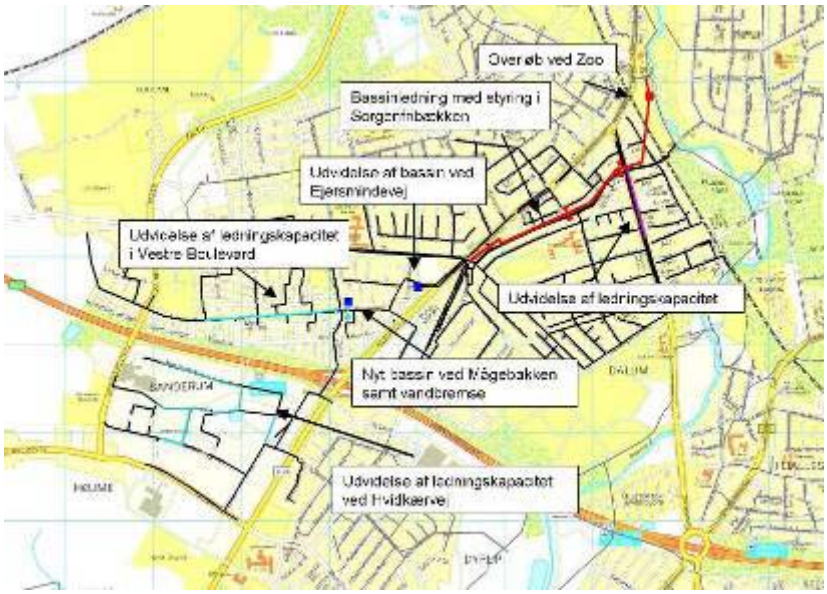
B.2.4 Planlagte udbygninger og forslag til udbygninger

En lang række udbygningsforslag har været opstillet for området. Det gælder både for fællessystemet og separatsystemet. Nogle forslag er under etablering, mens andre stadig er under udarbejdelse. På længere sigt kunne en udbygning af ledningsnettet bestå af tiltag som vist på figur B9. Der er dog på ingen måde tale om et endeligt forslag.

For fællessystemet indebærer forslaget, at der etableres en ø2500 mm ledning langs del af Sorgenfribækken, og der etableres en transport- og bassinledning til nyt overløb ved Zoo. Desuden øges ledningskapaciteten i Dalumvej og Lindevej.

I det separate regnvandssystem øges bassinvoluminet i Ejersmindevej fra 1.300 til 3.200 m^3. Der etableres et bassinvolumen på 4.400 m^3 ved Mågebakken med nedstrøms vandbremse på 600 l/s. Ved Hvidkærvej øges kapaciteten i en række ledninger og der lægges to supplerende ledninger.

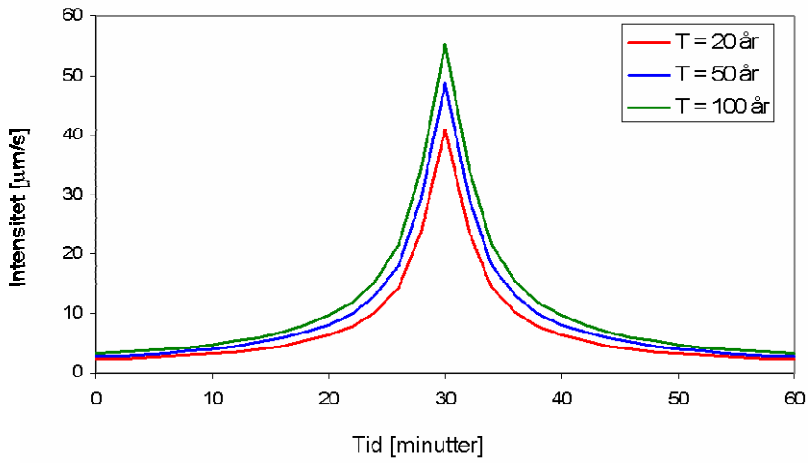
De planlagte og foreslåede udbygninger fokuserer primært på at overholde det ønskede serviceniveau for området, men er derudover ikke planlagt med henblik på reduktion af skader i oversvømmelsessituationer.



Figur B9 Et forslag til udbygninger.

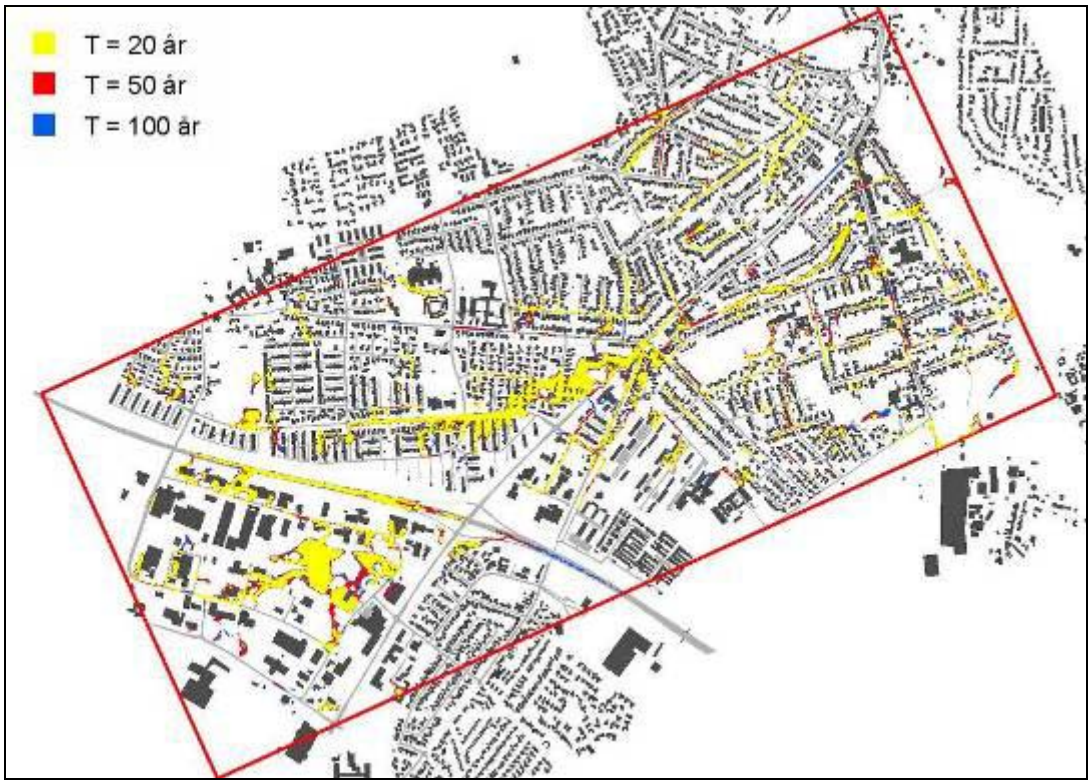
B.2.5 Beregninger

Der er gennemført beregninger for det eksisterende system og det udbyggede 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. For det eksisterende system er der desuden gennemført en beregning uden klimafaktor.

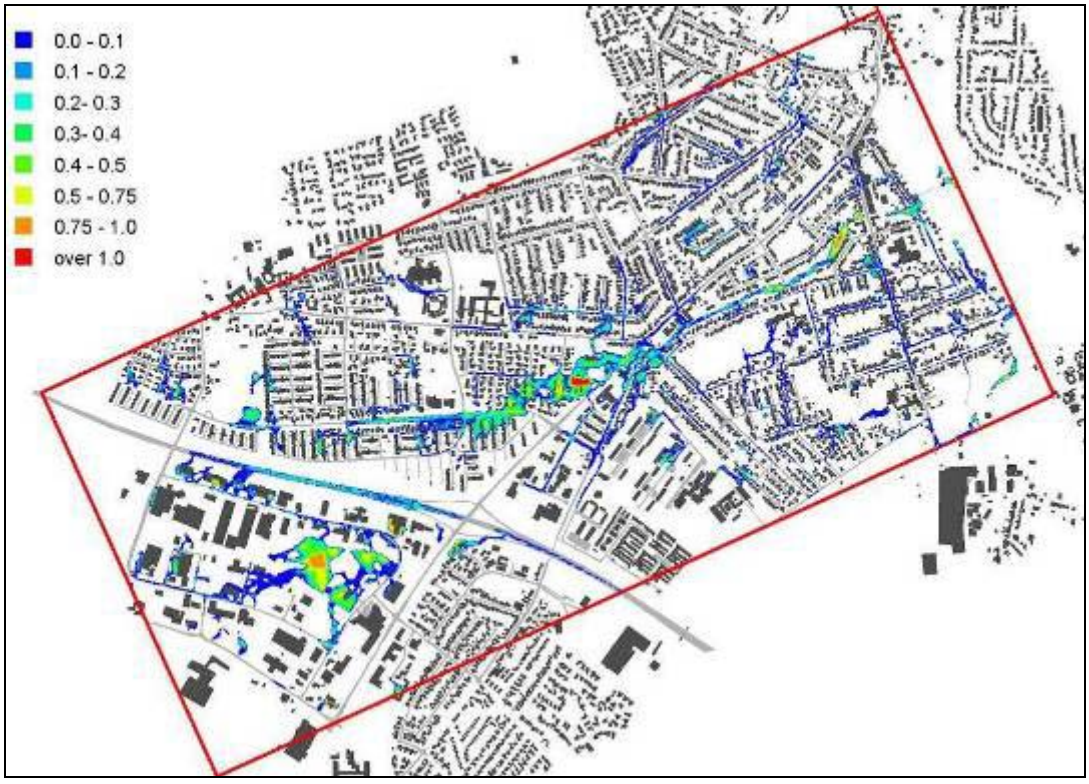


Figur B10 CDS-regn for gentagelsesperioder på 20, 50 og 100 år.

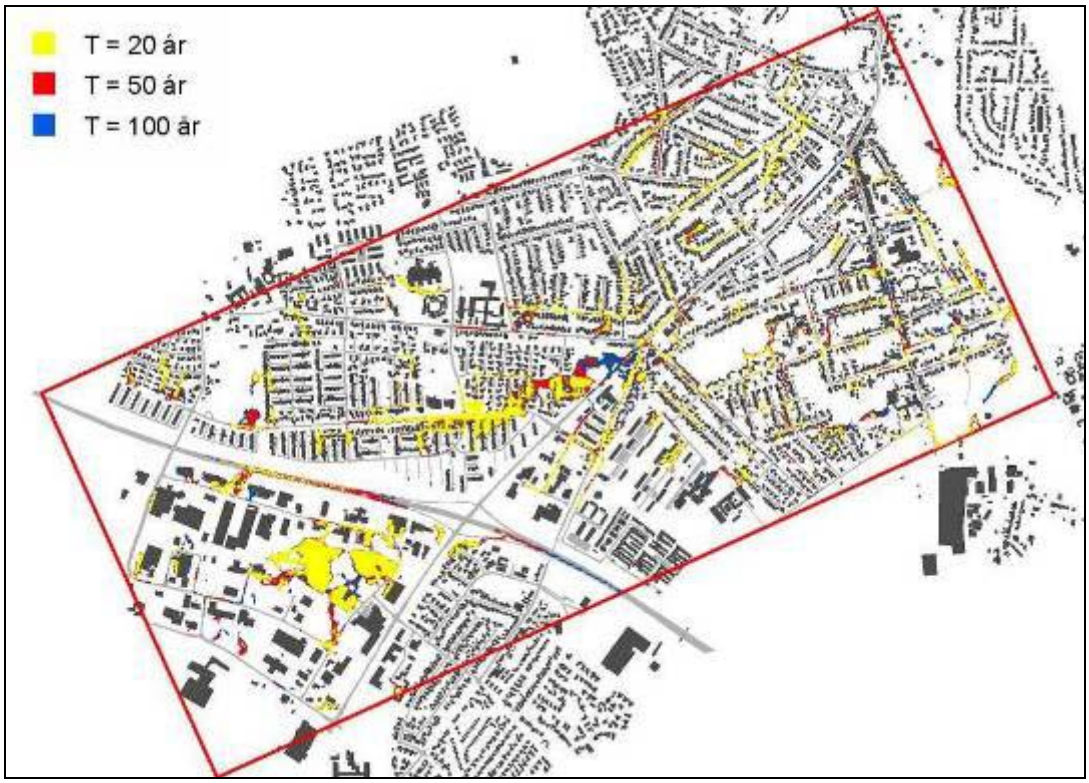
Resultaterne af beregningerne illustreres på figur B11-B13. To typer af plot er vist. Den ene type viser de maksimale vanddybder på terræn for en enkelt simulering, mens den anden type sammenligner oversvømmelsernes udbredelse for flere simuleringer. Illustrationerne tydeliggør bl.a., at de største problemer i separatsystemet findes i området Vestre Boulevard og Ejersmindevej.



Figur B11 Udbredelse af oversvømmelser for simuleringer med det eksisterende system og klima- og sikkerhedsfaktor 1,44.



Figur B12 Niveau for oversvømmelser for simuleringer med det eksisterende system og klima- og sikkerhedsfaktor 1,44 for gentagelsesperiode på 100 år.

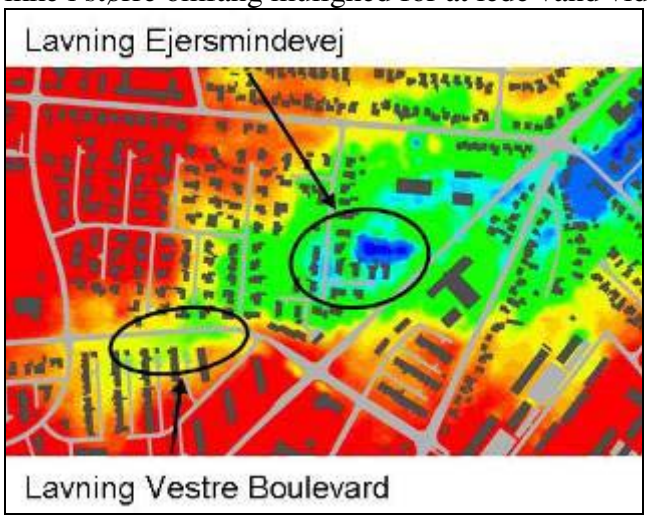


Figur B13 Udbredelse af oversvømmelser for simuleringer med udbygget system og klima- og sikkerhedsfaktor 1,44.

Sammenlignes figur B11 og B13, ses, at oversvømmelsernes udbredelse reduceres en del ved etablering af de foreslåede udbygninger, men der er stadig store områder med problemer. Dette er ikke overraskende, da systemet ikke har kapacitet til at klare regn med gentagelsesperioder over 5 år for separatsystemer og 10 år for fællessystemer. Der er altså behov for supplerende tiltag for om muligt at reducere disse problemer.

B.2.6 Terrænregulering

De største og hyppigste problemer med oversvømmelser af terræn efter udbygning af systemet optræder i området ved Ejersmindevej og i Vestre Boulevard. Begge områder ligger i en "gryde", se figur B14, uden tilstrækkelig videreførende kapacitet, og der er ikke i større omfang mulighed for at lede vand videre, uden der opstår andre problemer.



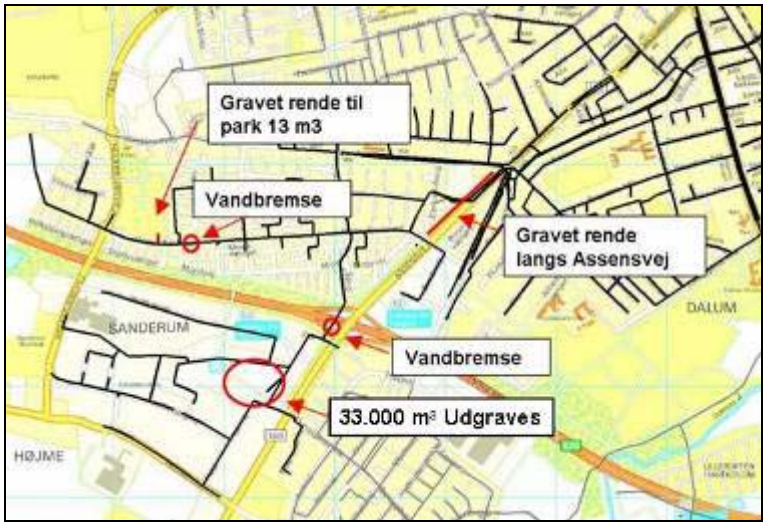
Figur B14 Terrænniveauer ved Ejersmindevej og Vestre Boulevard.

Opstrøms Ejersmindevej findes to områder, hvor regnvand kan forsinkes via terrænregulering (se figur B15).

I krydset Holkebjergvej/Vestre Boulevard findes et grønt område/park, der ligger lavere end Vestre Boulevard. Ved etablering af en vandbremse og en ganske kort rende kan dette areal udnyttes.

I området ved Hvidkærvej er der mulighed for at udgrave et større grønt moseområde, hvorved hovedparten af regnvandet fra ca. 40 red. ha kan tilbageholdes.

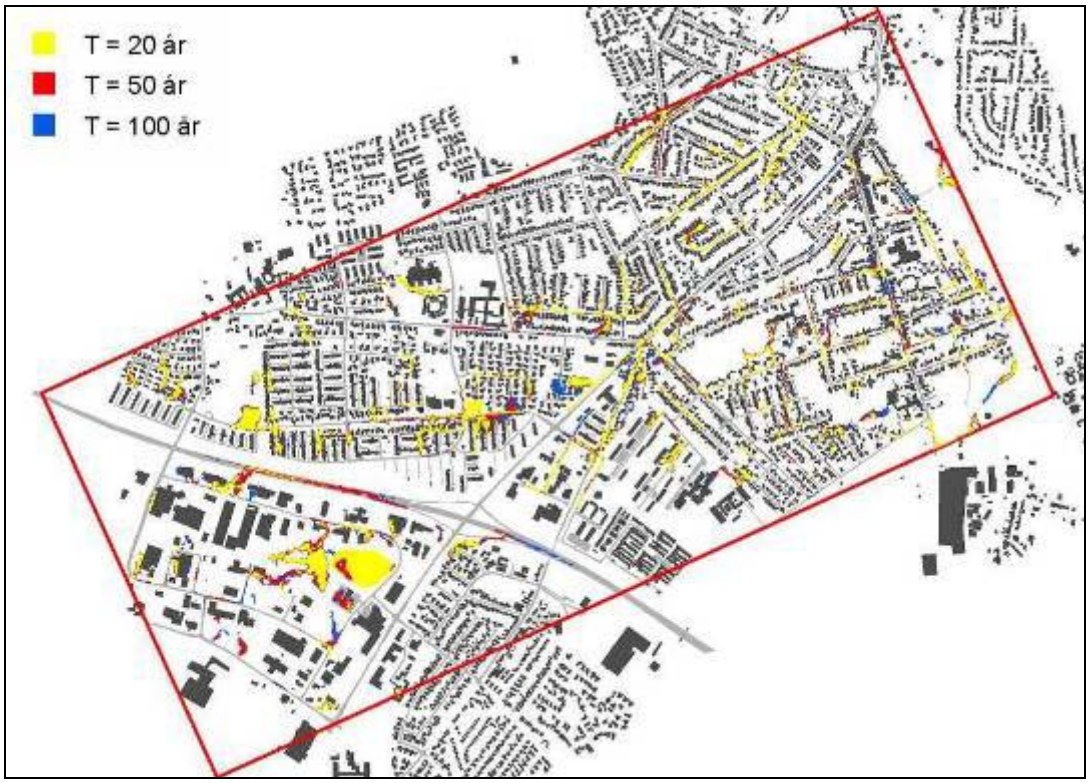
Ydermere kan bassinet ved Ejersmindevej og den videreførende kapacitet udnyttes bedre ved at grave en åben rende langs Assensvej. Renden tilsluttes det eksisterende regnvandssystem op- og nedstrøms. Den skal kun føre vand under ekstremregn.



Figur B15 Et forslag til terrænreguleringer.

Oversvømmelserne efter etablering af terrænregulering ses på figur B16.

En sammenligning med figur B13 viser, at terrænreguleringen har en vis positiv effekt lige omkring de udbyggede steder, men at der er mange områder, hvor der kun er ringe eller ingen effekt. Problemet i store dele af oplandene er tydeligvis, at når kapaciteten af systemet overskrides, kommer der oversvømmelser, og der er ikke naturlige veje for vandet, hvor det kan strømme til egnet recipient.



Figur B16 Beregnede oversvømmelser for simulering med udbygget system og terrænregulering. Der er benyttet klima- og sikkerhedsfaktor 1,44.

B.2.7 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 B1 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 B2 er oversvømmede vejarealer opgjort. Det er individuelt, ved hvilken dybde der forvoldes skade på den enkelte parkerede bil, og ved hvilken dybde 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 B1 Oversvømmede arealer i ha.

T	Vandstand	Eksisterende system	Eksisterende system	Udbygget system	Udbygget system med terræn-regulering
		Faktor 1,20	Faktor 1,44	Faktor 1,44	Faktor 1,44
20 år	Over 0 cm	23,0	30,6	23,7	19,9
20 år	Over 5 cm	15,5	20,8	15,2	12,2
20 år	Over 10 cm	10,4	14,0	9,8	7,7
20 år	Over 40 cm	1,6	2,2	2,4	2,7
50 år	Over 0 cm	32,0	40,8	33,9	29,8
50 år	Over 5 cm	21,9	28,1	22,5	19,0
50 år	Over 10 cm	14,8	18,9	14,4	11,7
50 år	Over 40 cm	2,4	3,4	3,5	3,4
100 år	Over 0 cm	39,4	48,6	42,7	38,2
100 år	Over 5 cm	27,1	34,0	29,0	25,1
100 år	Over 10 cm	18,3	22,9	18,9	15,6
100 år	Over 40 cm	3,3	4,6	4,4	4,0

Tabel B2 Oversvømmede vejarealer i ha.

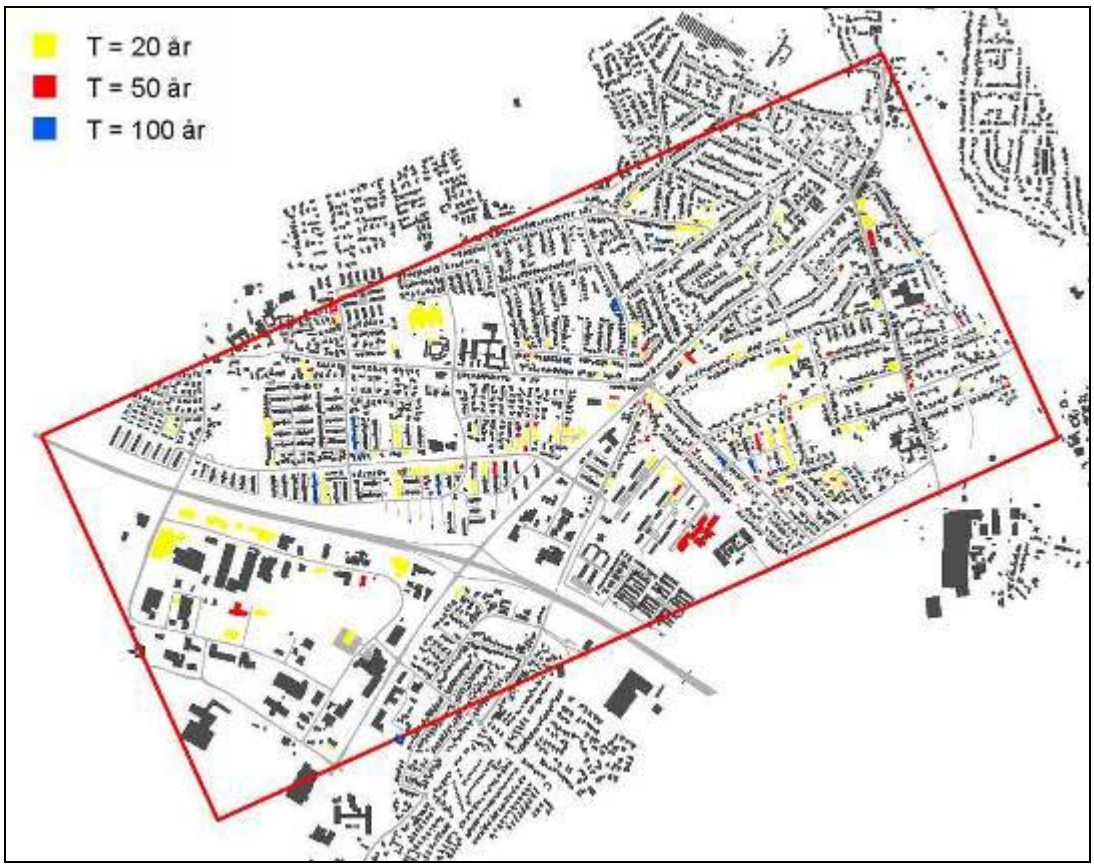
T	Vandstand	Eksisterende system	Eksisterende system	Udbygget system	Udbygget system med terræn-regulering
		Faktor 1,20	Faktor 1,44	Faktor 1,44	Faktor 1,44
20 år	Over 20 cm	1,4	2,0	1,4	0,6
20 år	Over 40 cm	0,2	0,5	0,2	0,0
20 år	Over 60 cm	0,0	0,1	0,0	0,0
50 år	Over 20 cm	2,1	2,9	2,0	1,1
50 år	Over 40 cm	0,5	0,7	0,5	0,1
50 år	Over 60 cm	0,1	0,1	0,0	0,0
100 år	Over 20 cm	2,7	3,7	2,6	1,6
100 år	Over 40 cm	0,7	0,9	0,7	0,2
100 år	Over 60 cm	0,1	0,2	0,1	0,0

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 B17 illustrerer oversvømmede huse under ekstremregn beregnet med faktor 1,44. Tabel B3 giver en oversigt over antallet. Figur B18 illustrerer huse med potentiel kælderoversvømmelse, og tabel B4 giver tilsvarende information i form af antal. Udbygningerne er dimensioneret efter et serviceniveau med betydeligt lavere gentagelsesperioder end 20 år. Resultaterne illustrerer, at de planlagte udbygninger og testede terrænreguleringer kun har mindre effekt under de simulerede ekstreme regn.

Tilsvarende beregninger for antal oversvømmede huse og kældre kan gennemføres for el-installation, specielt sårbare områder osv. Tabel B5 viser eksempelvis resultatet for antallet af oversvømmede el-skabe.



Figur B17 Oversvømmede huse for simuleringer med det eksisterende system og klima- og sikkerhedsfaktor 1,44.

Tabel B3 Oversigt over antal oversvømmede huse.

T	Eksisterende system	Eksisterende system	Udbygget system	Udbygget system med terræn-regulering
	Faktor 1,20	Faktor 1,44	Faktor 1,44	Faktor 1,44
20 år	134	179	158	143
50 år	187	233	207	192
100 år	225	276	250	232

Figur B18 Oversvømmede kældre i fællessystem for simuleringer med det eksisterende system og klima- og sikkerhedsfaktor 1,44.

Tabel B4 Oversigt over antal oversvømmede kældre.

T	Eksisterende system	Eksisterende system	Udbygget system
	Faktor 1,20	Faktor 1,44	Faktor 1,44
20 år	738	817	776
50 år	826	868	840
100 år	864	887	872

Tabel B5 Antal el-skabe.

T	Eksisterende system	Eksisterende system	Udbygget system	Udbygget system med terræn-regulering
	Faktor 1,20	Faktor 1,44	Faktor 1,44	Faktor 1,44
20 år	8	16	6	0
50 år	18	24	16	3
100 år	23	29	24	6

Det er ikke trivielt at fastsætte priser på skader, og der findes ikke mange offentliggjorte undersøgelser. I tabel B6 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 B6 Eksempel på fastsættelse af pris for skader på huse i millioner kr. for tre ekstremregn.

T	Eksisterende system	Eksisterende system	Udbygget system	Udbygget system med terræn-regulering
	Faktor 1,20	Faktor 1,44	Faktor 1,44	Faktor 1,44
20 år	6,9	8,6	7,6	7,0
50 år	8,9	10,3	9,4	8,6
100 år	10,1	11,9	11,0	10,0

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 B19 og B20 illustrerer institutioner og tankstationer i et mindre område. For to institutioner er der med det eksisterende system væsentlige problemer med opstuvet vand fra fællessystemet.

Figur B19 Eksempel på bygninger med specielle hensyn. Eksisterende system.

Figur B20 Eksempel på bygninger med specielle hensyn. Udbygget system.

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

Eksemplet viser klart, at der i et område – som det betragtede – ikke er nemme løsninger på problemerne, når hele systemet overbelastes. Det kan være nødvendigt med ganske omfattende tiltag, hvis skader og ulemper skal reduceres væsentligt.

Det ses endvidere, at uden en god model af oplandet og afløbssystemet vil det være meget vanskeligt at vurdere effekten af forskellige mulige tiltag og dermed grundlaget for at vælge hvilke tiltag, der forekommer mest rimelige eller økonomiske.