

EN KOGEBOG FOR ANALYSER AF KLIMAÆNDRINGERS EFFEKTER PÅ OVERSVØMMELSER I BYER



Titel

En kagebog for analyser af klimaændringers effekter på oversvømmelser i byer, version 3

ISBN:

978-87-92651-29-7

Udgiver:

DANVA, Vandhuset, Godthåbsvej 83, 8660 Skanderborg

Udarbejdet af:

Krüger, LNH Water, Birgit Paludan, DHI og Vandcenter Syd

Indholdsfortegnelse

1. Indledning	4
1.1 Baggrund	4
1.2 Status på klimatilpasningsindsatsen i Danmark	6
1.3 Formål	7
1.4 Det tværfaglige aspekt og afgrænsning af problemstilling	8
1.5 Lovgrundlag	10
1.5.1 Kommune- og lokalplaner	10
1.5.2 Spildevandsplanen	10
1.5.3 Kloakfornyelsesplan	11
1.5.4 Beredskabsplanen	11
1.5.5 Øvrig planlægning og planer for vandkvalitet mv.	11
1.5.6 Risikovurdering og analyse af ekstremregn	12
1.5.7 Finansiering af serviceniveau for vand på terræn	12
1.6 Oversvømmelsesdirektivet	13
2. Status på viden om klimaændringer	14
2.1 Fremskrivning af klimaforandringer	14
2.2 Skøn over fremtidige nedbørsmængder	15
2.3 Fremskrivning af regn i Danmark	16
2.4 Regn til beregning af oversvømmelser	16
2.4.1 Regional regn/CDS-regn	17
2.4.2 Regnserier	19
2.4.3 Klimafremskrivning af regn	21
2.4.4 Distribueret regn	21
2.4.5 Kunstige regnserier	22
2.4.6 Radardata/korttidsprognose	22
2.4.7 Bassinberegninger	23
2.5 Fremtidige vandstande i de marine farvande	25
2.5.1 Fremtidige vandstande i havområder omkring Danmark	25
2.6 Recipientvandspejl ved beregninger	26
2.6.1 Vandløb	26
2.6.2 Søer	27
2.6.3 Havet	27
2.6.4 Samspil	28
3. Overholdelse af funktionskrav under påvirkning af klimaændringer	29
3.1 Beskrivelse af serviceniveau	29
3.2 Serviceniveau og overholdelse af funktionskrav under påvirkning af klima-ændringer	32
4. Modellering af oversvømmelser fra regnvandssystem og vandløb	34
4.1 Fra hulkort til avancerede hydrauliske modeller	34
4.1.1 Modelværktøjerne – det tekniske spor	34
4.1.2 Beslutningsprocessen	35
4.1.3 Den tværfaglige vinkel	35
4.1.4 Økonomi	35

4.2	Beregningsmetoder	36
4.2.1	Terrænmodel.....	37
4.2.2	Hulkort kombineret med simpel afstrømningsmodel.....	38
4.2.3	Hydrodynamisk afløbsmodel 1D	43
4.2.4	Kombineret hydrodynamisk afløbsmodel og overflademodel 1D-1D.....	44
4.2.5	Kombineret hydrodynamisk afløbsmodel og overflademodel 1D-2D.....	47
4.3	Sammenligning af beregningsmodeller.....	51
5.	Oversvømmelse fra hav.....	55
5.1	Beregningsmetoder	55
5.1.1	Vandstandskoteangivelser	56
5.1.2	Vandstandskoteangivelser som er i forbindelse med havet	57
5.1.3	1D-afstrømningssystemer	58
5.1.4	1D-1D-kombineret hydrodynamisk model.....	59
5.1.5	2D-Hydrodynamisk beregning af terrænoversvømmelser	59
5.1.6	Input til den hydrodynamiske beregning af oversvømmelser	59
5.1.7	1D-2D Hydrodynamisk modellering af strømningen på terræn kombineret med en hydrodynamisk model af afløbssystemet.....	60
6.	Klimatilpasning af byområder	62
6.1	Risikoanalyse	62
6.1.1	Skadesvurdering ved hjælp af risikoanalyse	62
6.1.2	Risikoanalysen	63
6.1.3	Risikoanalyse for oversvømmelser fra ekstrem regn.....	66
6.2	Metodebeskrivelse – beregning af cost-benefit.....	70
6.2.1	Beregning af skadesprofil.....	70
6.2.2	Beregning af gennemsnitlig årlig skade (EAD)	71
6.2.3	Beregning af skadesreduktion	72
6.2.4	Beregning af løsningsomkostninger.....	73
6.2.5	Optimering for at finde skybrudsniveau	74
6.3	Prioritering af indsatsen imod oversvømmelser og klimatilpasning	75
6.3.1	Prioritering af klimatilpasning af afløbssystemerne i områder/oplande ved brug af cost-benefit analyse	75
6.3.2	Prioritering af Greve Kommune byområder	76
6.3.3	Beskrivelse af metoden for prioriteringen i Greve.....	77
6.3.4	Kvalitetssikring af prioriteringen	77
6.4	Valg af afløbsstrategi og løsninger med CBR	77
7.	Muligheder for tilpasning af afløbssystemer	78
7.1	Fysiske tiltag på afløbssystemet	78
7.2	Nedsivning af regnvand.....	79
7.3	Separering af fællessystemer.....	80
7.4	Udskiftning til større rør	80
7.5	Overløbsbygværker	81
7.6	Bassiner.....	81
7.7	Lokal magasinering	82
7.8	Styring og regulering af afløbssystemet.....	82

7.9	Anvendelse af vejsystemet.....	82
7.10	Tiltag på privat ejendom	82
7.11	Afvanding af vejarealer.....	84
7.12	Eksempler på lokal håndtering af regnvand.....	84
8.	Sundhed.....	85
9.	Oversvømmelsesberedskab.....	90
9.1	Før nedbørshændelsen.....	90
9.2	Under nedbørshændelsen.....	94
9.3	Efter nedbørshændelsen.....	95
10.	Afsluttende bemærkninger.....	96
11.	Referencer	98
Appendiks		
A	Odense – Sorgenfribækken	
B	Odense – Ejersmindevej	
C	Odense – Idrætsparken	
D	Fotokvalitetssikring af DTM	
E	Valg af afløbsstrategi i Rudersdal Kommune	
F	Skybrudsberegninger i området omkring Carl Jacobsens Vej	
G	Helsingør Centrum	

1. Indledning

1.1 Baggrund

Denne rapport beskriver, hvordan danske kommuner og spildevandsselskaber 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 større regnmængder og mere intens regn, men også om stigningen i det generelle havvandspejl og den øgede risiko for stormflod. Rapporten beskriver hvordan oversvømmelser kan forebygges eller undgås og der gives eksempler fra et par steder i Danmark. Rapporten er en "kogebog" der viser, hvilke metoder der er til rådighed, til analyse af eksisterende systemer og til beregning af effekten af forskellige tiltag mod oversvømmelser.

Rapporten giver beskrivelser af metoder til brug for analyser af oversvømmelser varierende fra simple "hulkort" eller "bluespots" til de avancerede hydrauliske computermødelser. Metoderne kan bruges til kommunernes og spildevandsforsyningernes detaljerede indsats mod oversvømmelser fra afløbssystemer og vandløb samt til implementering af oversvømmelsesdirektivet for at reducere oversvømmelser ved stormflod.

Efter den første udarbejdelse af Klimakogebogen i 2007, blev flere områder i Danmark ramt af meget langvarige regnhændelser, som gav oversvømmelser særlig pga. begrænsninger i afløbssystemet, men også fordi vandløb og søer blev fyldt som følge af, at den øvre grundvandsstand stod højt. Hændelserne viste, at der er et behov for, at kommunerne prioriterer ikke blot kloaksystemerne, men også de øvrige vandelementer i indsatsen imod oversvømmelser og ser på hele vandkredsløbet. Derfor blev Klimakogebogen opdateret i maj 2011. Opdateringen inkluderede derfor også beskrivelser af indsatsen imod oversvømmelser fra hav. Metodebeskrivelserne er begrænset til regnvandssystem, vandløb og hav.

Opdateringen 2011 indeholdt primært vejledninger til forsyninger og kommuner med hensyn til at:

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

Siden 2011, hvor alle danske kommuner udarbejdede klimatilpasningsplaner, som et krav fra staten, er der sket store fremskridt med planlægningen af klimatilpasning i Danmark. Som følge heraf er anbefalinger, værktøjer og metoder blevet udviklet og forbedret. DANVA har derfor bedt projektgruppen bag Klimakogebogen om at opdatere denne

rapport på baggrund af indhøstede erfaringer og baseret på anbefalingerne fra Spildevandskomiteens Skrift 31.

Særligt inkluderer opdateringen:

- anvendelsen af cost-benefit-analyser til:
 - at finde serviceniveau for vand på terræn (jf. Skrift 27),
 - prioritere klimatilpasning og
 - at danne beslutningsgrundlag, for fremtidens typer af afløbssystemer
- regn sundhed.

En problemstilling, som ikke er behandlet dybdeborende i denne rapport er højtstående grundvand, som i stigende grad giver problemer for byer, husejere og vandselskaber, og som forværres som følges af klimaforandringerne. Parallelt med denne rapport har DANVA i samarbejde med Kommunernes Landsforening således arbejdet med et projekt om højtstående grundvand, som indeholder en række anbefalinger til håndtering og finansiering af udfordringerne med højtstående grundvand i vores byer. Rapporten: "Afrapportering fra fast track projekt om højtstående grundvand i byområder" kan læses på www.danva.dk

Opdateringen af rapporten er udarbejdet af:

Krüger, LNH Water, Birgit Paludan, DHI og Vandcenter Syd og er finansieret af DANVA og projektdeltagerne.

Opdateringen er afsluttet marts 2021.

Parallelt med afslutningen af denne rapport er der kommet flere politiske tiltag, som vil få betydning for klimatilpasning i vandsektoren i de kommende år:

- Offentliggørelsen af IPCC's 6. hovedrapport i august 2021 kan sammen med en kommende rapport om de samfundsmæssige konsekvenser af klimaforandringerne give ny viden om klimaforandringer og behovet for tilpasning
- Regeringen indledte i december 2020 en proces, der skal føre frem til en national klimatilpasningshandleplan, som forventes afsluttet tidligt i 2022. Her forventes et øget fokus på helhedsorienterede og samfundsmæssigt hensigtsmæssige løsninger for klimatilpasning.
- 31. december 2020 blev der vedtaget en Lov om spildevandsforsyningernes finansiering af klimatilpasning. Loven er udmøntet i bl.a. en "Serviceniveaubekendtgørelse". Serviceniveaubekendtgørelsen inkluderer en metode som skal anvendes, hvis en kommune vil skybrudssikre (håndtere regnvand ud over hvad Skrift 27 kræver) og ønsker at forsyningen skal finansiere dette skærpede niveau. Metoden lægger sig tæt op ad metoden beskrevet i Skrift 31. I efteråret 2021 udkommer en vejledning til serviceniveaubekendtgørelsen, som henviser til nærværende Klimakogebog.
- Planloven er blevet evalueret og forventes revideret i 2022. Det kan få betydning bl.a. for afsættelse af arealer til klimatilpasning over og under terræn.

På den baggrund kan det blive relevant at igangsætte endnu en revision af klimakogebogen inden for de nærmeste år.

Arbejdsgruppen bag Klimakogebogen er:
Birgit Paludan, Birgit Krogh Paludan
Nanna Høegh Ravn, LNH Water
Lina Nybo Jensen, LNH Water
Annette Brink-Kjær, VandCenter Syd
Jens Jørgen Linde, Krüger
Ole Mark, Krüger (tidligere DHI)
Kristian Friis, DANVA

1.2

Status på klimatilpasningsindsatsen i Danmark

Klimatilpasningsindsatsen i Danmark blev første gang formaliseret i Spildevandskomiteens Skrift 27 fra 2005, hvor det anbefales at der tages hensyn til klimaforandringerne ved dimensionering af afløbssystemer, som har en lang levetid. Det blev på daværende tidspunkt anbefalet at bruge en klimafaktor 1,2 på regn, som repræsentativ for fremtidens dimensioneringsregn. Siden blev klimafaktorerne opdaterede i Skrift 29 i 2008 og igen i Skrift 30 fra 2014.

Danmark implementerede EU's oversvømmelsesdirektiv i 2007. Direktivet pålægger medlemsstaterne at screene for oversvømmelser fra søer, vandløb og havet samt efterfølgende udarbejde risikostyringsplaner for at imødegå disse oversvømmelser. EU gjorde det frivilligt for medlemsstaterne, om de ville medtage afløbssystemerne ved implementeringen af direktivet. Danmark valgte ikke at medtage oversvømmelser fra afløbssystemerne. Staten screenede for oversvømmelser fra vandløb og havet med en simpel Cost Distance beregning (jf. afsnit 5.1) og en skadesberegning for bygninger. På denne baggrund blev der udpeget 10 vandområder fordelt på 22 kommuner, som skulle udarbejde risikostyringsplaner. Kommunerne udarbejdede risikostyringsplanerne, men der var ikke afsat midler til at gennemføre de foreslåede tiltag, så de fleste steder er risikostyringsplanerne implementeret som beredskabsplaner.

I regeringsgrundlaget i august 2011, bl.a. initieret af de store oversvømmelser af København og omegn, blev det aftalt at kommunerne skulle udarbejde en klimatilpasningsplan som viste oversvømmelsesrisikoen for kommunens vandløb, søer, grundvand, hav og afløbssystemerne samt på den baggrund prioritere klimatilpasningen af risikoområderne, baseret på et risikokort. Klimatilpasningsplanen skulle indarbejdes i eller lægges som tillæg til kommuneplanen for at sikre de administrative rammer for klimatilpasningen. Samtlige kommuner i landet har, på den baggrund, fået udarbejdet oversvømmelses- og risikokort også for afløbssystemerne, men de fleste har ikke besluttet, hvor tit der må ske skadevoldende oversvømmelser, som følge af opstuvning fra afløbssystemerne. Spildevandskomiteen under Ingeniørforeningen har derfor udgivet et skrift i 2017, som giver anbefalinger til hvilke metoder, der skal anvendes når man skal træffe beslutning om serviceniveau for vand på terræn – kaldet Skrift 31.

Når afløbssystemerne skal klimatilpasses, skal afløbssystemerne også leve op til de nutidige miljøstandarder. Flere kommuner og forsyninger arbejder derfor på at få afklaret hvilken afløbsstrategi (separatsystem, fællessystem eller en mellemting) der skal lægges for

at afløbssystemerne både kan leve op til det ønskede funktionskrav i forhold til opstuvninger og oversvømmelser samt til miljøkrav. I disse inddrages nogle steder cost-benefit-analyser, som bl.a. kan hjælpe med at vælge mellem forskellige løsninger og afløbsstrategier (separering af fællessystemer, delvis separering, opgradering af fællessystemer, mm). I Klimakogebogen beskrives en metode til at vælge afløbsstrategi.

En stor udfordring for kommuner og forsyninger er i den sammenhæng, at der skal sættes realistiske forudsætninger og rammer op for afløbssystemerne for at disse analyser kan gennemføres. Spildevandsplanen danner rammen for disse forudsætninger og rammer. Klimakogebogen inkluderer ikke beskrivelser af forudsætninger og rammer.

I 2018 har staten (Kystdirektoratet, KDI) gennemført en opdatering af oversvømmelsesrisikoen for oversvømmelser fra vandløb og hav i Danmark jf. Plantrin 2 i oversvømmelsesdirektivet. Afløbssystemer er fortsat ikke inkluderet i screeningen. Analysen har medført, at nye områder er inkluderet i risikokortlægningen og risikokortene for de tidligere udpegede områder er opdateret. På følgende hjemmeside findes materialet, som er udarbejdet af staten: "[Kystdirektoratet, Plantrin 2, Kortlægning af fare og risiko for oversvømmelse](#)".

På baggrund af den nye risikokortlægning, skal de udpegede kommuner revurdere eller opdatere risikostyringsplanerne. Planerne skal være afsluttet og godkendt i kommunalbestyrelsen senest den 22. oktober 2021. Inden da skal risikostyringsplanen have været 6 måneder i offentlig høring. KDI har udarbejdet en manual til udarbejdelse af risikostyringsplaner som findes på deres hjemmeside:

https://oversvommelse.kyst.dk/media/273107/saadan-laver-i-en-risikostyringsplan_feb-2020.pdf

DMI har i 2018 fået en treårig bevilling til at udarbejde et "Klimaatlas". Klimaatlasset skal inkludere vejrparametre for fremtidens klima dvs. temperatur, vandstande og stormflod i havet samt regn. Parametrene skal beregnes for nutid, start af århundredet, midt i århundredet og i slutningen af vores århundrede. Klimaatlasset har tre udgivelser i hhv. 2019, 2020 og 2021. Klimaatlas findes på DMI's hjemmeside:

<https://www.dmi.dk/klimaatlas/>. Klimaatlasset indeholder regn i fremtidens klima. DMI og Spildevandskomiteens har et tæt samarbejde om hvilke klimafaktorer, som skal anvendes til fremskrivningerne af regn. Til dimensionering af kloakker skal, Spildevandskomiteens anbefalinger anvendes. P.t. findes klimafaktorerne i Spildevandskomiteens Skrift 30.

1.3

Formål

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

I takt med ændrede beregningsmetoder er der sket ændringer i formuleringen af dimensioneringskravene. I mange år var almindelig dansk praksis, at der i fællessystemer højst måtte forekomme fuldtløbende ledning, hvert andet år og i separatsystemer en gang om året. Som regndata blev benyttet "Landsregnrækkerne" eller ældre regndata. Størstedelen

af det danske afløbsnet er formodentlig dimensioneret ud fra dette krav. Med udgivelsen af Skrift 27 blev kravene imidlertid ændret, så det bestemmende nu er, hvor hyppigt der må ske skadevoldende oversvømmelser fra systemerne. Dvs. systemerne skal nu dimensioneres ud fra en valgt gentagelsesperiode for skadevoldende opstuvninger. Det er endvidere anbefalet, at systemerne analyseres for konsekvenserne af regn, kraftigere end de dimensionsgivende, så det i planlægningen tilstræbes, at skaderne fra ekstremregn, som systemet ikke kan håndtere, bliver så begrænsede som muligt.

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

På trods af at afløbssystemet klimatilpasses, vil det fortsat kunne ske, at der kommer vand på terræn og at der dermed er risiko for skadevoldende oversvømmelser i forbindelse med "skybrud". Indsatser som reducerer disse skader, kaldes her "skybrudssikring". Løsningsomkostningerne til at reducere oversvømmelser bør være i balance med reduktionen af skader som løsningerne sikrer. Spildevandskomiteen har udarbejdet et Skrift 31, som beskriver en metode til at finde det optimale niveau og som således supplerer Skrift 27.

Cost-benefit metoderne, som er beskrevet særligt i Skrift 31, kan også anvendes til at fastlægge et rimeligt "serviceniveau" for oversvømmelser fra havet eller give en idé om hvilket beredskab, der bør etableres for at reducere skader ved stormflod.

Formålet med Klimakogebogen er at beskrive hvilke værktøjer og metoder man kan anvende, når man skal implementere Skrift 27 og 31 samt ved analyser af oversvømmelser ved stormflod.

1.4

Det tværfaglige aspekt og afgrænsning af problemstilling

I dette projekt ses specifikt på de problemer, som klimaændringer kan medføre i afløbssystemerne. Der fokuseres på metoder som beskriver effekten af hyppigere og mere ekstrem regn, men også på effekten af stigende vandstand i havet. 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 afløbssystemets recipient, ellers kan der komme oversvømmelser. Recipienten kan også være påvirket af klimaændringer f.eks. i form af højere vandspejl i havet, hvilket kan have stor effekt i afløbssystemet. Vandløb kan være påvirket af øget afstrømning fra andre kilder f.eks. grundvand, som fylder vandløbet op, så det ikke kan tage de øgede vandmængder fra afløbssystemerne og søer kan fyldes op som følge af langvarig regn. Der er mange sammenhænge, der bør vurderes og tages i betragtning, 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, men der eksisterer metoder til at undersøge det. 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 fremtiden. I mange områder med lavtliggende bebyggelser nær havet og steder med overløbsbygværker med lavt siddende overløbskanter, kan det være yderst relevant at betragte disse forhold i analysen. Hvis overløbsbygværkerne ikke kan fungere på grund af recipientvandspejlet, kan risikoen for oversvømmelser øges markant. Ligeledes hvis vandet stiger op over kajkanten eller over digekronerne, kan større områder oversvømmes med havvand og afløbssystemets funktion reduceres. Afløbssystemet kan i den situation have en negativ effekt, ved at transportere vand til ellers beskyttede dele af oplandet.

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

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

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

Er der tale om oversvømmelser af topografisk 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 udvidet 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 ekstremesituationer baseret på prognoser for udviklingen i belastningen. Der er derfor

betydelig usikkerhed på alle resultater og detaljeringsgraden i beregningerne bør være tilpasset dette.

1.5 Lovgrundlag

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

1.5.1 Kommune- og lokalplaner

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

Som beskrevet i afsnit 1.2 har alle kommuner udarbejdet en klimatilpasningsplan i 2013-2014, som er indarbejdet i kommuneplanen eller som tillæg til kommuneplanen. Klimatilpasningsplanen prioriterer klimatilpasningsindsatsen ved hjælp af bl.a. et oversvømmelseskort og et risikokort. Der er ikke lovkrav om, at klimatilpasningsplanen i kommuneplanen skal opdateres, men der står i planloven, at der i fremtiden skal præsenteres oversvømmelseskort i kommuneplanen. Det er ikke specificeret, hvilke oversvømmelseskort der skal indarbejdes og således ikke, at der skal udarbejdes oversvømmelseskort for afløbssystemerne, men staten har udarbejdet oversvømmelseskort for vandløb, søer, hav og grundvandszonen, som kommunerne kan anvende.

Hvis kommunen vil stille krav til grundejerne om specifik klimatilpasning og regnvandshåndtering på egen grund, skal det skrives ind i den aktuelle lokalplan. Retningslinjerne for lokalplanerne skrives ind i kommuneplanen. Kravet til afledning af regnvand til afløbssystemerne skal skrives ind i tilslutningstilladelserne.

1.5.2 Spildevandsplanen

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

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

Vandselskaberne kan kun få tillæg til finansieringsrammen, hvis kravene til afløbssystemernes funktion og miljøkrav er skrevet ind i spildevandsplanen.

1.5.3 **Kloakfornyelsesplan**

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

1.5.4 **Beredskabsplanen**

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

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

- egentlige fysiske foranstaltninger til at reducere effekterne af en oversvømmelsessituation
- beredskab til akut ad hoc indsats
- information/varslinger både internt i kommunens drift og eksternt

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

1.5.5 **Øvrig planlægning og planer for vandkvalitet mv.**

Vandrammedirektivet har stor indflydelse på klimatilpasningen af afløbssystemerne, da det sammen med Spildevandsplanen udgør rammen om kravene til belastning af vandmiljøet.

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

Det skal her bemærkes at tidshorisonterne i klimascenarierne på 50-100 år ligger langt ud over tidsplaner i både spildevandsplaner og de kommende vandplaner efter Vandrammedirektivet, som opererer med tidshorisonter på hhv. 4 til 8 år og 15 til 30 år.

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

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

1.5.6

Risikovurdering og analyse af ekstremregn

Med den eksisterende dimensionering, er der normalt regnet med fuldt løbende rør hvert eller hvert andet år. Ifølge Skrift 27, skal der sikres mod opstuvning til terræn hyppigere end hvert 5. eller hvert 10. år, for henholdsvis separat- og fælleskloakerede afløbssystemer. Derudover anbefales det, at der etableres beredskabsplaner for hændelser, hvor dimensioneringskriteriet er overskredet. Der er ikke i lovgivningen et formelt krav om at vurdere ekstremregn, der ligger ud over disse hyppigheder, som f.eks. en 50- eller 100-års regnhændelse. Kommunerne og deres rådgivere har dog ofte i praksis – afhængigt af hvilket område der kloakeres – anvendt sådanne ekstremberegninger eller mere kvalitative vurderinger af ekstremregn. Spildevandskomiteens Skrift 31 formulerer en generaliseret og formaliseret form for gennemførelse af ekstremberegninger.

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

I dag bruges Skrift 27 af næsten alle danske kommuner til at designe og vedligeholde afløbssystemer for de forhold, hvor der ikke kommer vand på terræn. Skrift 31 giver metoder til at finde det optimale serviceniveau for vand på terræn.

1.5.7

Finansiering af serviceniveau for vand på terræn

En lov om spildevandsselskabernes muligheder for finansiering af klimatilpasning og skybrudssikring giver mulighed for, at forsyningen kan betale for, at der opnås et serviceniveau for vand på terræn, hvis skadesreduktionen balancerer løsningsomkostningerne. Spildevandsselskabet kan betale for det serviceniveau som er billigst. Loven giver mulighed for, at kommunen skriver i Spildevandsplanen, at selskabet skal gennemføre analysen af serviceniveauet for vand på terræn og ved positivt udfald evt. finansiere og implementere de nødvendige tiltag.

1.6

Oversvømmelsesdirektivet

Oversvømmelsesdirektivet er Europa Parlamentets og Rådets direktiv 2007/60/EF af 23. oktober 2007 om vurdering og styring af risikoen for oversvømmelser. Et lovforslag til implementering af direktivet er vedtaget af Folketinget 15. december 2009. Loven hedder "Lov om vurdering og styring af oversvømmelsesrisikoen fra vandløb og søer". For oversvømmelser fra hav gælder bekendtgørelse om "vurdering og risikostyring for oversvømmelser fra havet, fjorde eller andre dele af søterritoriet". Miljøministeriet og kystdirektoratet har i skrivende stund (april 2020), udpeget 14 risikoområder på baggrund af den nationale vurdering af risiko for oversvømmelse fra hav og vandløb.

Baggrunden for oversvømmelsesdirektivet er de store oversvømmelser, som skete i Mellem Europa. Formålet med direktivet er at etablere en ramme for foranstaltninger, som reducerer risikoen for oversvømmelseskader.

I skrivende stund er plantrin nr. 2 i anden planperiode (2016-2021) ved at blive gennemført. I dette plantrin revurderes og opdateres det arbejde, som blev gennemført i de tre plantrin i planperioden fra 2010-15. Dvs. en ajourføring af fare- og risikokortlægningen for oversvømmelse i de områder, der blev udpeget i første planperiode. Der er desuden foretaget modellering for de områder, der blev udvidet eller udpeget i 2018. Klimascenarie RCP 8.5 er anvendt. De tre plantrin som ajourføres er:

1. Plantrin: Vurdering og udpegning af områder, hvor der er en potentiel væsentlig risiko for oversvømmelse eller hvor en sådan må anses for sandsynlig.
2. Plantrin: Udarbejdelse af kort over faren for oversvømmelse og kort over oversvømmelsesrisikoen i de udpegede risikoområder.
3. Plantrin: Udarbejdelse af risikostyringsplaner for de udpegede risikoområder.

Kystdirektoratets hjemmeside opdateres løbende, med de seneste data som kan ses her: <https://kyst.dk/kyster-og-klima/oversvoemmelsesdirektivet/>

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

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

2. Status på viden om klimaændringer

Klimaforandringer vil resultere i ændringer i regnintensitet, -hyppighed og -varighed af ekstreme regnskyl med konsekvenser for byers afløbssystemer. Klimaændringerne vil desuden påvirke både den gennemsnitlige vandstand og de ekstreme vandstandshændelser i havet. Fremskrevne klimaændringer varierer hen over jordkloden og i dette afsnit gives en kort fremstilling set i relation til danske forhold. For Danmark siger prognoserne, at klimaændringerne vil medføre stigninger i intensiteten af regnskyl samt stigning i middel havvandspejlet og intensiteten af stormflodshændelser.

I dette afsnit beskrives regn i et dansk og globalt perspektiv, som skal anvendes til analyse og dimensionering af afløbssystemer.

2.1 Fremskrivning af klimaforandringer

FN's Klimapanel (IPCC) koordinerer aktiviteter mellem forskere rundt om i verden, med det formål at forberede fremskrivningerne af klimaforandringer og tilhørende konsekvenser. IPCC blev etableret i 1988 af FN-organerne United Nations Environment.

Panelets mandat er at udarbejde vurderinger af klimaforandringer med det formål at informere om realistiske responsstrategier på menneskeskabte klimaforandringer. IPCC udgiver deres vurderinger i periodiske rapporter, som beskriver den aktuelle viden om projektioner af fremtidens klima og dets påvirkninger. Der er udgivet evalueringsrapporter i perioden: 1990-2014. Fremskrivninger beskrevet i dette kapitel, er baseret på femte vurderingsrapport (AR5) fra 2014. For en teknisk gennemgang af AR5 fremskrivninger, henvises til IPCC's hjemmeside.

Klimamodeller simulerer, hvordan klimaet vil reagere på forventede koncentrationer af drivhusgasser, aerosol partikler og andre eksterne påvirkninger, såsom ændringer i arealanvendelsen. Disse eksterne påvirkninger skyldes menneskelige aktiviteter og er afhængige af socioøkonomiske faktorer samt politiske aftaler om, hvordan man styrer udledningen af drivhusgasser. IPCC har udviklet scenarier, der beskriver, hvordan udledningen af drivhusgasser og andre eksterne påvirkninger kan udvikle sig i fremtiden, som derefter anvendes som input til klimamodellerne.

Fremskrivningerne af klimaforandringer i AR5 er baseret på computersimuleringer, der beskriver hvordan klimaet kan udvikle sig under forskellige antagelser om koncentrationer af drivhusgasserne i atmosfæren. AR5 gennemgår bl.a. de igangværende observerede klimaforandringer, både for at tjekke klimamodellens fremskrivninger og for at rådgive om klimaforandringer i den nære fremtid.

På grund af beregningsmæssige begrænsninger, anvender globale klimamodeller et beregningsnet der reelt er for stort til at kunne simulere enkelte fysiske processer, der er vigtige for nedbør og andre variabler på lokalt niveau. Derfor bliver de globale klimamodeller koblet med regionale klimamodeller, så karakteristika i lokale vejrfænomener kan inkluderes i projektionerne af klimaforandringerne. En regional klimamodel simulerer derfor et område mindre end hele kloden. Populært sagt er modellen ca. på størrelse med et kontinent.

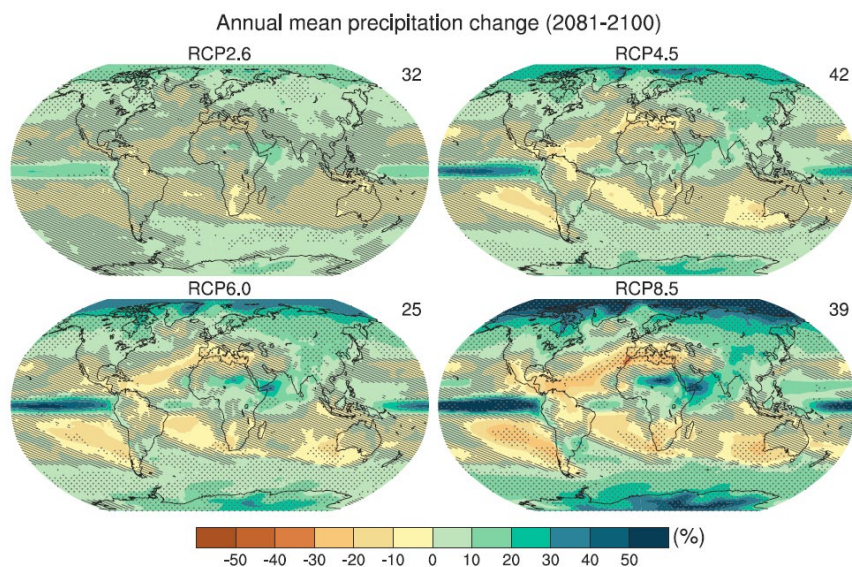
2.2

Skøn over fremtidige nedbørsmængder

IPCC giver, i AR5, et skøn over fremtidige ændringer i nedbør både i gennemsnit og ekstremværdier. AR5 giver også en vurdering af, om der kan observeres klimaændringer i de seneste historiske målinger og en sammenligning af forventede klimaændringer på forskellige tidsskalaer.

De observerede historiske målinger og fremtidige simuleringer viser, at temperaturerne er steget og fortsætter med at stige. Stigende temperaturer øger fugtindholdet i atmosfæren og historiske observationer viser, at atmosfærens fugtindhold også er steget betydeligt siden 1950. Øget luftfugtighed vil føre til øget nedbør, hyppigere og mere intense nedbørshændelser. Det er mindre sikkert, at dette resultat allerede kan udledes af de observerede historiske hændelser.

Nedbøren er påvirket af atmosfæriske cirkulationsmønstre, som betyder at ændringer i atmosfærens cirkulation også vil påvirke nedbøren. Et af de mest fremtrædende træk ved den atmosfæriske cirkulation er det mønster, der genereres af den termiske udvidelse af luft nær troperne. Denne ekspansion forårsager luft til at stige og den efterfølgende nedkøling resulterer i nedbør. Det er sandsynligt, at klimaændringerne vil øge størrelsen af den tropiske zone, skubbe de tørre zoner længere mod nord og syd. På den anden side er det sandsynligt, at ved midten af breddegraderne vil nedbøren stige. Figur 2.1 repræsenterer fremskrivninger af ændringer i fremtidens nedbør for de fire RCP-scenarier. I Danmark er der fokus på scenarierne RCP4.5 og RCP8.5. I Danmark forventes klimaændringerne at medføre lidt større nedbør om vinteren og samme eller lidt større nedbør om sommeren. Om sommeren forventes flere kraftige og volumenrige regnhændelser end i dag.



Figur 2.1: Procentvise ændringer i årsmiddel nedbør i forhold til en 1986-2005 baseline. Titelne i toppen af hvert kort viser RCP scenario forbundet med hvert estimat. Nummeret øverst til højre på hvert kort angiver antallet af modeller, der anvendes til at simulere gennemsnittet. Områder angivet med stiplede linjer er områder, hvor fremskrevne ændringer ikke er af større betydning end det kunne forventes i betragtning af den naturlige variation i klimasystemet. Områder angivet med prikker er regioner, hvor forventede ændringer er betydeligt større end det der kan forklares med

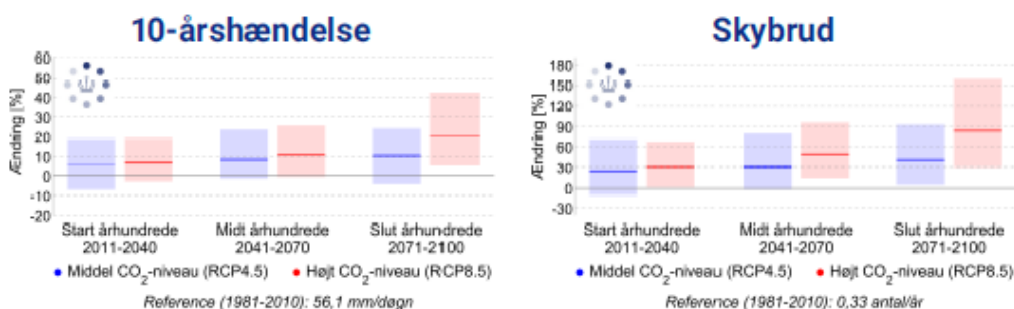
naturlig variation. Kortene viser, at nedbøren vil stige ved højere breddegrader og nær ækvator samt falde på breddegraderne længere væk fra ækvator. Kilde: IPCC 2014.

2.3

Fremskrivning af regn i Danmark

Spildevandskomiteen anbefaler hvilke fremskrivninger af regn, som skal anvendes til analyser og dimensionering af afløbssystemer og har et tæt samarbejde med DMI og Klimaatlas om dette, se afsnit 2.3. Til dimensionering af kloakker skal Spildevandskomiteens anbefalinger anvendes. P.t. findes klimafaktorerne i Spildevandskomiteens Skrift 30.

DMI har udgivet Klimaatlas, som beskriver det nuværende samt fremtidens klima i Danmark. Klimaatlas indeholder fremskrivninger af temperatur, nedbør, vandstand og stormflod i det fremtidige danske klima på kommuneniveau. Klimaatlas indeholder fremskrivninger for scenarierne RCP4.5 og RCP8.5. Det nuværende klima defineres ud fra gennemsnittet i perioden 1981-2010 og det er disse data, som er grundlaget for fremskrivningen af det danske klima. Data er typisk baseret på timeværdier og Klimaatlas anvender data for fire perioder: 1981-2010, 2011-2040, 2041-2070 og 2071-2100. Resultaterne i Klimaatlas er baseret på op til 36 forskellige klimamodeller og usikkerhederne på fremskrivningerne er angivet med percentilen omkring medianværdien (50%). Et eksempel er ændringer i nedbør, som det ses i figur 2.2. Resultaterne i Klimaatlas angives for hver kommune i Danmark og inkluderer f.eks. ændringer i vinter og sommernedbør samt procentvise ændringer for en 10-årsregnhændelse eller et skybrud. Et eksempel på beskrivelse af regn i fremtidens Danmark, ses nedenfor.



Figur 2.2: Procentvis ændring af Danmarks ekstremnedbør hen over året mellem 1981-2010 og fremtidsperioderne 2011-2040, 2041-2070 og 2071-2100 i scenarierne RCP4.5 og RCP8.5. Til venstre 10-års hændelsen for døgnnedbør, til højre: hyppigheden af skybrud. Den forventede ændring i slutningen af århundredet for RCP8.5 er 20% (5 til 42%) for 10-års hændelsen for døgnnedbør og 80% (30 til 160%) for skybrud (Klimaatlas).

2.4

Regn til beregning af oversvømmelser

Oversvømmelser af byområder skyldes normalt kraftige og volumenrige regn. For at regn kan give oversvømmelser, skal regnintensiteten være så kraftig, at afledningssystemets hydrauliske kapacitet overskrides og de skal være så volumenrige, at der er overskydende vand nok til at give oversvømmelser på terræn. Ud over oversvømmelser, som forekommer som direkte effekt af regnen på afløbssystemet, kan det også spille ind om der er styrende recipientvandspejl, som reducerer afledningssystemets hydrauliske kapacitet.

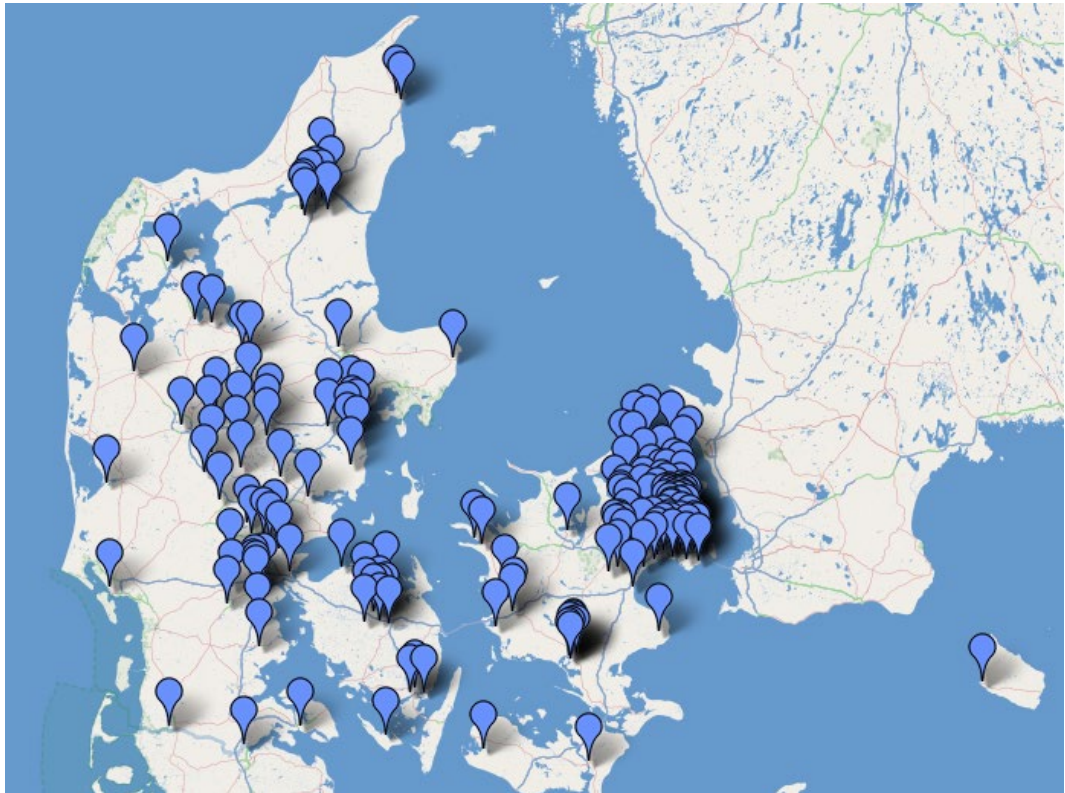
Ved beregning af afløbssystemers funktion under kraftig regn og ved dimensionering af tiltag til forebyggelse af oversvømmelser benyttes på nuværende tidspunkt (2020) regndata

beskrevet i Skrift 30: "Opdaterede klimafaktorer og dimensionsgivende regnintensiteter" (IDA/SVK 2014). Skriftet bygger på en bearbejdning af regndata fra regnmålerne i SVK-systemet målt i perioden 1979-2012. Skriftet er suppleret med regneark, som findes på Spildevandskomiteens hjemmeside, hvor der er adgang til forskellige bearbejdnings af dataene.

Data der er til rådighed ved dimensionering og analyser er:

- regionale regn. CDS-regn og regnrækker. Data fra perioden 1979-2012
- regnserier målt med alle SVK-målere. Data fra 1979 – nu, opdateres løbende

Derudover findes regneark til beregning af nødvendige bassinvolumener for forskellige afløbstal og gentagelsesperioder for overløb. På figur 2.3 ses en oversigt over SVK regnmålerne (2019).



Figur 2.3: Oversigt SVK regnmålere
http://svk.dmi.dk/dmi/RainEvents/oversigtpaakort/*.stationskort

2.4.1

Regional regn/CDS-regn

Data fra alle de lokale regnserier er bearbejdet statistisk op til varigheder på 24 timer. Derudfra er opstillet regnrækker og regnformler samt der er bestemt regndata for enhver lokation i landet. Specielt interessant er, at der er beregnet CDS-regn for alle lokationer og data er ekstrapoleret således, at der findes CDS-regn med gentagelsesperioder svarende til meget længere gentagelsesperioder end regnserierne. Regndata for enhver lokation i

Danmark findes på SVK's hjemmeside¹. Ud fra punktets koordinater findes regnformel, regnrækker, CDS-regn for forskellige gentagelsesperioder og nødvendige bassinvolume-ner for forskellige afløbstal og gentagelsesperioder. Stort set alle oversvømmelsesbereg-ninger udføres med disse CDS-regn f.eks. med gentagelsesperioder på 20, 50 og 100 år.

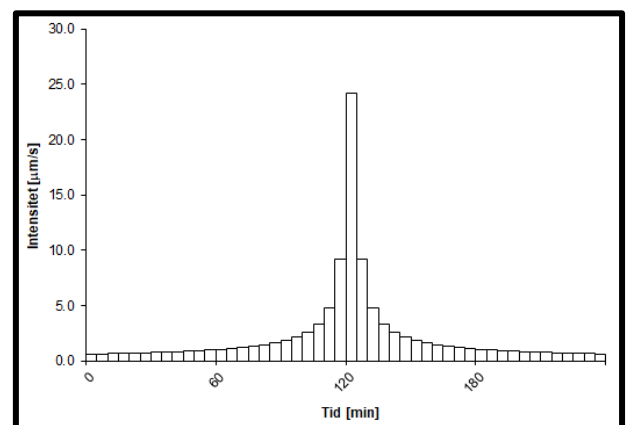
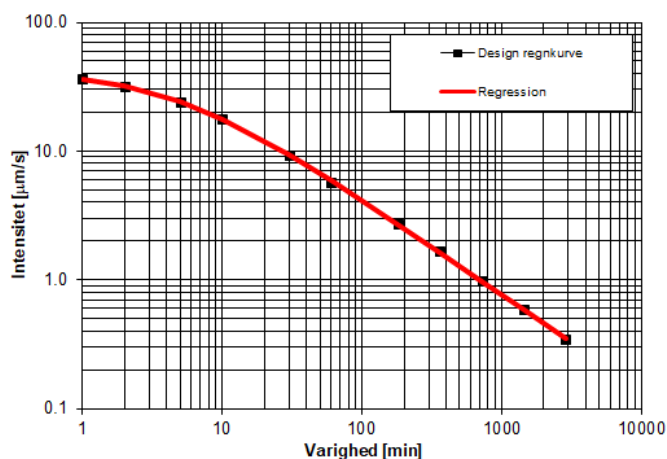
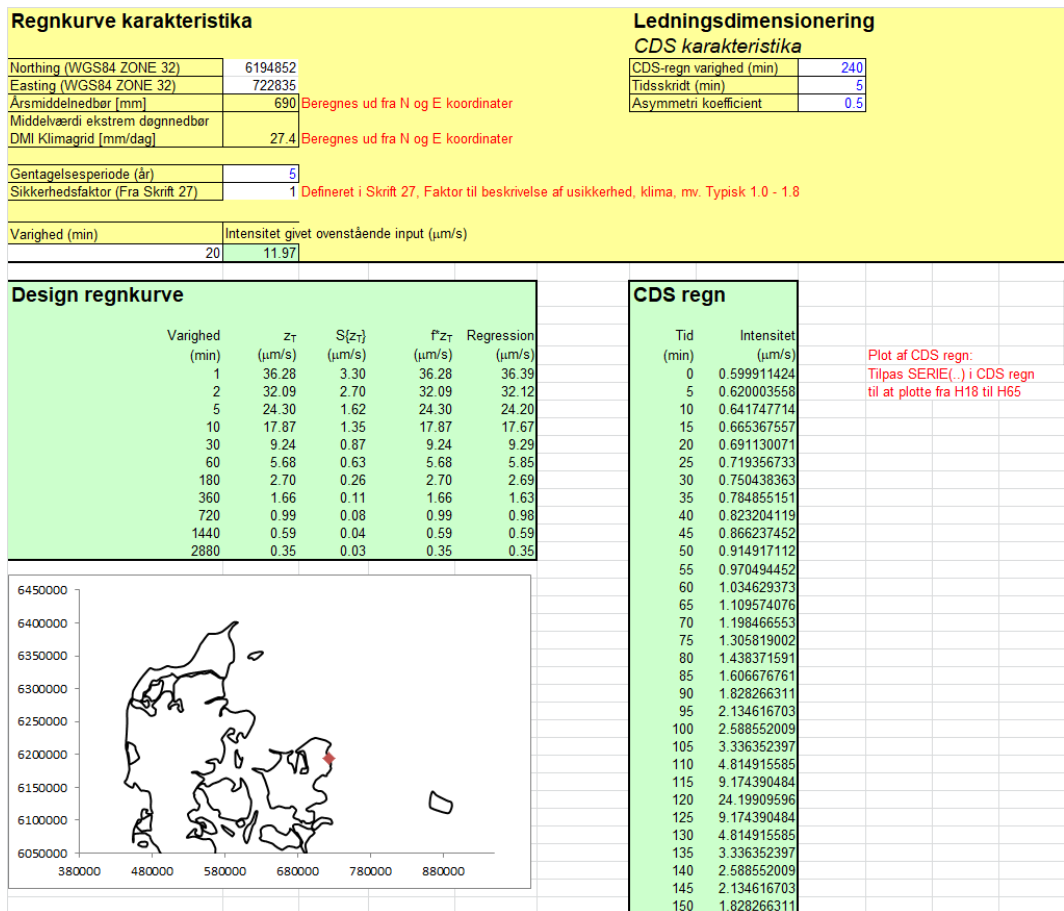
På figur 2.4 ses skemaet fra SVK's hjemmeside. Der skal blot indlæses koordinater for det punkt, hvor man ønsker regndata samt gentagelsesperiode og eventuel sikkerhedsfaktor.

Hvis man ønsker data for CDS-regnen svarende til valgt gentagelsesperiode indlæses va-righed, tidsskridt og asymmetrikoefficient. For at hjælpe med at verificere at der er indlæst korrekte koordinater vises punktet med rød firkant på et kort. Alle resultater kommer i et format, som det ses på figuren. En afbildning af CDS-regnen ses nedenfor.

På figuren ses endvidere en tabel med værdier til den lokale design regnkurve og nedenfor ses regnkurven, dvs. middeldintensiteten for alle varigheder. Dette svarer til de tidligere meget benyttede regnrækker. Endvidere er vist data, der fortæller, hvor godt regnformlen passer med de benyttede regndata.

Det skal bemærkes at effekten af langvarige koblede regn ikke indgår i dataene, da der ikke er set på perioder af mere end 24 timers varighed ved bearbejdningen. Dette er især vigtigt at bemærke ved bassinberegninger samt ved beregninger, hvor afstrømningsforhold på overflader og i recipienter er væsentlige for resultaterne. Langvarige regnrige perioder kan give anledning til overfladisk afstrømning fra ubefæstede flader i byområder, f.eks. grønne arealer og de kan give anledning til ekstremt høje vandspejl i recipienter, især vand-løb. Det forventes, at der i løbet af få år vil være data til rådighed, som kan benyttes ved beregninger af sådanne forhold.

¹ <https://ida.dk/om-ida/spildevandskomiteen/skrifter-spildevandskomiteen#se-og-hent-skrifter>



Figur 2.4 Skærbillede fra Regnrække Version 4.1 (xls)

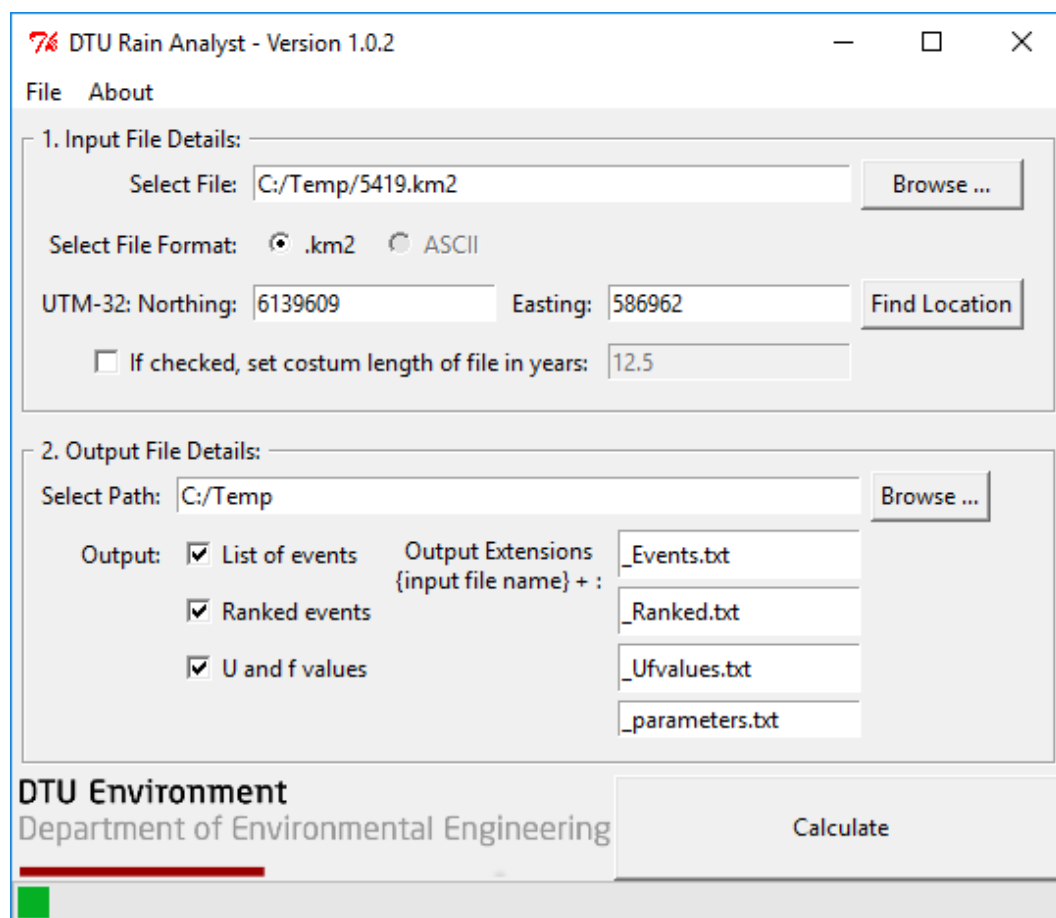
2.4.2

Regnserier

Lokale regnserier er et udmærket grundlag ved vurdering af et afløbssystems kapacitet og ved udpegnig af kritiske punkter i systemet. Ligeledes kan de anvendes ved

dimensionering af udbygninger for gentagelsesperioder på op til 5 og 10 år. Regnserier har den fordel sammenlignet med CDS-regn (syntetiske regn), at der kan tages hensyn til koblede regn, hvilket kan være væsentligt ved bassindimensionering. Man bør dog på forhånd tjekke om den lokale regnserie er typisk for den del af landet, hvor den er målt. Dette kan gøres ved at sammenligne forskellige statistiske karakteristika f.eks. max intensiteten med forskellige varigheder, som tjekkes mod værdier i den regionale model for området.

Der findes et program Rain Analyst på SVK's hjemmeside², der kan anvendes til dette. Den lokale serie kan være atypisk kraftig eller atypisk svag. I begge situationer bør serien før brug korrigeres vha. en korrektionsfaktor, så den kommer til bedre at svare til den regionale model. Dette er ikke let bl.a. fordi der beregnes forskellige korrektionsfaktorer for forskellige varigheder af de intense perioder i regnen. Normalt må det derfor anbefales at vælge en helt anden serie, der bedre svarer til den regionale model. På figur 2.5 ses skærmbildet til indlæsning af lokal regnserie, for at sammenligne med den regionale model. Resultatet består i tabeller der fortæller, hvordan serien passer med den regionale model for forskellige varigheder og gentagelsesperioder. For en nærmere beskrivelse af anvendelsen af dette henvises til "Teknisk dokumentation og brugervejledning til programmet "DTU Rain Analyst" version 1.0.2", DTU 2015.



Figur 2.5 Skærmbillede fra DTU Rain Analyst – Version 1.0.2

² <https://ida.dk/om-ida/spildevandskomiteen/skrifter-spildevandskomiteen#se-og-hent-skrifter>

Det skal bemærkes at de lokale regnserier er målt gennem en periode, hvor der gradvist er kommet flere og flere kraftige regn, hvorfor den beregnede gennemsnitlige gentagelsesperiode for oversvømmelser, måske ikke svarer til de virkelige forhold i dag. Dette kan der eventuelt kompenseres for ved at medtage en klimafaktor eller man kan eventuelt vælge at bruge en årrække fra den sidste del af måleperioden.

Anvendelse af målte regnserier giver den fordel, at man kan medtage data helt frem til beregningstidspunktet og dermed have de mest aktuelle hændelser med i resultaterne. Anvendes en lokal serie er der endvidere mulighed for at sammenligne beregningsresultater med observationer.

2.4.3 Klimafremskrivning af regn

I Skrift 30 anbefales at man fortsat benytter samme klimafaktorer som anbefalet i tidligere skrifter. Dvs. at for den kommende 100 års periode forventes de kraftigste regn at blive forøget svarende til faktorerne angivet i tabel 2.1.

Tabel 2.1

Anbefalede klimafaktorer for gentagelsesperioder 2, 10 og 100 år for planlægningsperioder på 50 og 100 år. Fra Skrift 30.

Gentagelsesperiode	2 år	10 år	100 år
50 års horisont	1.1	1.15	1.2
100 års horisont	1.2	1.3	1.4

Det er ikke afklaret, om man kan sætte faktorer på de kraftigste historiske regn og så bruge dem i stedet for CDS-regn. Gentagelsesperioden bliver i hvert fald usikker. Det er også uklart om klimaændringerne vil påvirke fordelingen af regnintensiteten i de kraftigste hændelser, dvs. om det er de kraftigste perioder, der bliver endnu kraftigere, eller om det er en mere jævn forøgelse af regnintensiteten. På Aalborg Universitet og ved DTU-miljø arbejdes der med modeller, der kan generere kunstige regnserier dækkende forholdene om f.eks. 100 år. Dette arbejde er dog endnu ikke så langt, at det er et alternativ til brug af CDS-regn. Det må derfor anbefales at bruge CDS-regn indtil bedre metoder er udviklet.

I Skrift 30 er angivet klimafaktorer, hvor der er taget hensyn til usikkerheden på bestemmelsen af ovenstående faktorer. F.eks. er det angivet at faktoren 1,4 øges til 2,0, hvis der tillægges 1 x spredningen. I Skriftet anbefales det dog ikke at benytte disse høje faktorer, men de kan anvendes til vurdering af, hvor det går galt i meget ekstreme skybrudssituationer. Ligeledes kan ekstreme målte regn anvendes til dette, f.eks. regnen den 2. juli 2011 i København.

2.4.4 Distribueret regn

Ved oversvømmelsesberegninger på mindre oplande anvendes normalt samme regn på hele oplandet, men ved beregninger på store oplande (geografisk udstrækning over 5-10 km) kan det være rimeligt at tage hensyn til at regnen næppe er ensartet fordelt over hele oplandet. Hvis der findes lokale regnmålere, som dækker oplandet godt, kan de benyttes i modelberegningerne for at distribueret regn indregnes. Findes der ikke lokale distribuerede regnserier, kan der benyttes repræsentative regn som kan findes ved hjælp fra Skrift 30.

Dette gælder også ved beregninger for lange gentagelsesperioder (større end 10 år). Disse regndata (CDS-regn) tager ikke hensyn til arealfordeling. Hvor stor betydning distribueret regn har for oversvømmelser, dimensioner mv. afhænger meget af den fysiske udformning af oplandets afløbssystem og oplandets topografi. Hvis systemet er opdelt af overløbsbygværker, drosselledninger mv. er effekten lille på maksimumafstrømningerne, men for store systemer og hvor det især er volumener der er afgørende, kan reduktionen i belastning være betydelig.

2.4.5 Kunstige regnserier

Ved beregninger af afløbssystemers funktion i fremtiden vil det være rart at have kontinuerede regnserier, der dækker de forventede forhold om f.eks. 50 og 100 år under hensyn til de forventede klimaændringer. Dette vil muliggøre at dimensionere på traditionel vis og lave analyser af, hvordan systemet passer til den fremtidige belastning, herunder hvornår de enkelte dele af systemet skal udbygges. Det vil også muliggøre beregninger af hvor mange skader der gennem perioden kan forventes pga. oversvømmelser og dermed danne grundlag for at beregne, hvornår det er økonomisk fordelagtigt at lave tiltag til forebyggelse af skader.

Kontinuerede serier vil ligeledes være fordelagtige ved vurdering af bassiner med meget små afløb, da det her ofte er effekt af lange perioder (op til måneder) med meget regn, der bliver bestemmende for nødvendig bassinstørrelse. Det samme gælder i tilfælde hvor søer med begrænset afløb er recipienter for regnafstrømning. Her skal det ligeledes vurderes om vandspejlsstigningerne er acceptable.

Fremtidige beregninger forventes at inddrage flere og flere hydrologiske forhold. Også her vil kontinuerede serier være væsentlige, da de vil muliggøre at inddrage jordmætning, fordampning mv. på realistisk vis og dermed muliggøre beregning af afstrømning fra grønne områder og andre ubefæstede flader i afløbsoplandene samt beregne afstrømning fra landbrugsarealer f.eks. til beregning af vandføring i vandløb.

Kontinuerede serier vil desuden løse det problem, vi har med at beregne overløbshyppighed og -mængder i fremtiden. Mange tiltag mod oversvømmelser er også tiltag, der har betydning for overløbene, der må forventes at optræde relativt hyppigt sammenlignet med oversvømmelser. For at kunne beregne afløbssystemernes i fremtiden under alle forhold, er der derfor behov for regndata, der ikke kun omfatter ekstrem-situationer.

2.4.6 Radardata/korttidsprognose

Hvis man ved, at der om kort tid (nogle timer) vil komme et skybrud, vil man have mulighed for på forhånd at lave skadesforebyggende foranstaltninger f.eks. opsætte pumper, udlægge watertubes eller sandsække, tømme bassiner, sænke overløbskanter mv. Sådanne data kan med ret god sikkerhed fås fra de radarmålinger, der kontinuert foretages af DMI og de varsler DMI udsender. Dette bør i høj grad udnyttes af forsyningerne og beredskaberne i kommunerne, så skader minimeres.

Prognoserne er desværre ikke så sikre at de altid fortæller om kommende skybrud og ofte under- eller overvurderer de den virkelige regn. Dette må man dog leve med og i mange tilfælde hellere forberede sig på det værste end passivt vente på at der sker oversvømmelseskader.

Efter ekstremhændelser og oversvømmelser kan radardata være meget vigtige ved analyser af, hvad der faktisk er sket i oplandet og afløbssystemet og dermed være vigtige ved overvejelser om, hvilke tiltag det vil være hensigtsmæssigt at foretage for at forebygge fremtidige oversvømmelseskader.

Findes der i afløbssystemet elementer, der er styret automatisk ud fra flow, vandstand mv. kan disse også være indrettet til automatisk at tage hensyn til, at der kommer en skybrudssituation og der derfor skal anvendes en anden styrestrategi end normalt, f.eks. at der åbnes op for direkte udløb til havet.

Radardata vil kunne give en betydelig bedre beskrivelse af arealfordelingen af regn end det er muligt med regnmålere, men måleusikkerheden er til gengæld en del større. Det må dog forventes at radardata med tiden vil blive mere sikre og derfor vil komme til at spille en central rolle i forbindelse med styring af afløbssystemer.

2.4.7

Bassinberegninger

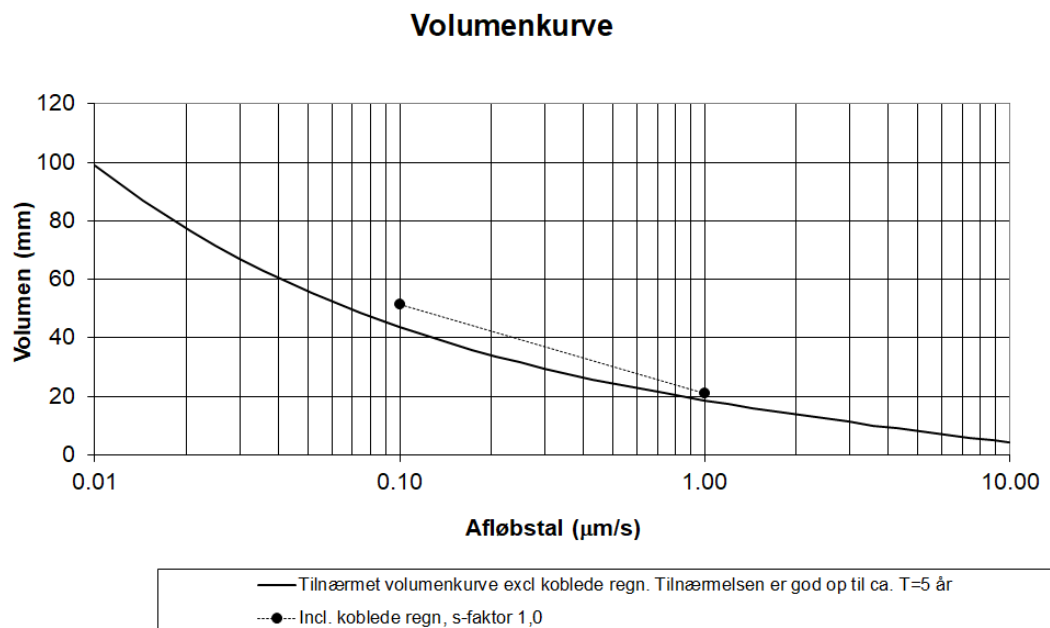
I SVK regnearket findes også program til beregning af bassinvolumener. Programmet bygger på samme principper, som har været anvendt i tidligere SVK-skrifter. Dvs. ud fra den lokale regnformel og det valgte faste afløbstal findes det nødvendige bassinvolumen. På figur 2.6 ses et eksempel på dimensionering af et bassin i samme punkt som på figur 2.4. Der er indlæst befæstet areal, hydrologisk reduktionsfaktor og afskærende ledningskapacitet.

Det skal bemærkes, at det beregnede volumen er ganget med faktoren 1,2 for at tage hensyn til eventuel effekt af koblede regn. Dette er i mange tilfælde helt tilstrækkeligt, men ved beregning af bassiner med meget små afløbstal og hvor der er krævet meget lange gentagelsesperioder for overløb, er det måske på den usikre side. Bassinet får i sådanne tilfælde meget lang tømningstid og der er derfor stor sandsynlighed for at bassinet ikke er tomt når en regn starter og at bassinet ikke når at tømme ud inden næste regn starter.

Bassindimensionering opstrøms udløb		Regression	
Oplandskarakteristika		Estimates, 3 parameters:	
Befæstet areal (ha)	4.642	Alpha	126.91
Hydrologisk reduktionsfaktor (-)	1	Theta	4.42
Afskærende lednings kapacitet (l/s)	45	Nu	0.738736
NB. Frekvens- og sikkerhedsfaktorer på regnen indgår ved beregning af bassinvolumen		Dur (min)	Intensity
		In(dur) dur+Theta	In(int) r+Theta)^2 ieta)*ln(int) t. Intensity
		Obj:Func	
		1	36.28 0.00 1.69 3.59 2.86 6.07 36.39 9.38E-06
		2	32.09 0.69 1.86 3.47 3.46 6.45 32.12 7.91E-07
		5	24.30 1.61 2.24 3.19 5.03 7.16 24.20 1.79E-05
		10	17.87 2.30 2.67 2.88 7.12 7.69 17.67 0.000128
		30	9.24 3.40 3.54 2.22 12.52 7.87 9.29 3.64E-05
		60	5.68 4.09 4.17 1.74 17.35 7.24 5.85 0.00082
Volumen af bassin		180	2.70 5.19 5.22 0.99 27.22 5.19 2.69 2.88E-05
1054 m ³		360	1.66 5.89 5.90 0.51 34.79 2.99 1.63 0.000419
Effekten af koblede regn ER inkluderet (20 % ekstra volumen)		720	0.99 6.58 6.59 -0.01 43.37 -0.09 0.98 7.12E-05
		1440	0.59 7.27 7.28 -0.52 52.93 -3.79 0.59 0.000113
		2880	0.35 7.97 7.97 -1.06 63.47 -8.48 0.35 0.000476
		Sum	49.11065 16.99846 270.1312 38.31073 0.002121
Mellemresultater svarende til Skrift 16		Afløbstal	tr, 3 par
Dvs. at effekt af koblede regn IKKE er inkluderet i mellemresultaterne.		Vr,k 3 par	dV/dt
Reduceret areal (ha)	4.64	(...)	(...)
Afløbstal (mu-m/s)	0.97	Faktisk opland	0.96941 122.0 18.92 0.051063 0.051063
Varighed (h)	2.03	Initialisering	119.29
Vr,k (mm)	18.92	Tilnærmet volumenkurve excl koblede regn. Tilnærmelsen er god op til ca. T=5 år	
		Volumenkurve	0.010 58300.77 98.9
		Tilnærmet for store afl	0.012 45550.12 92.7
			0.014 35588.10 86.9
			0.017 27804.82 81.5
			0.021 21723.77 76.4
			0.025 16972.68 71.6
			0.030 13260.68 67.2

Figur 2.6 Skærbillede fra Regnrække Version 4.1 (xls)

På figur 2.7 er vist volumenkurven for ovenstående eksempel, gentagelsesperiode 5 år, uden faktoren 1,2. Der er samtidig vist de mere korrekte værdier, der fås ved en beregning, hvor der tages hensyn til koblede regn. Det ses at faktoren i dette tilfælde fint kompenserer for effekten af koblede regn.



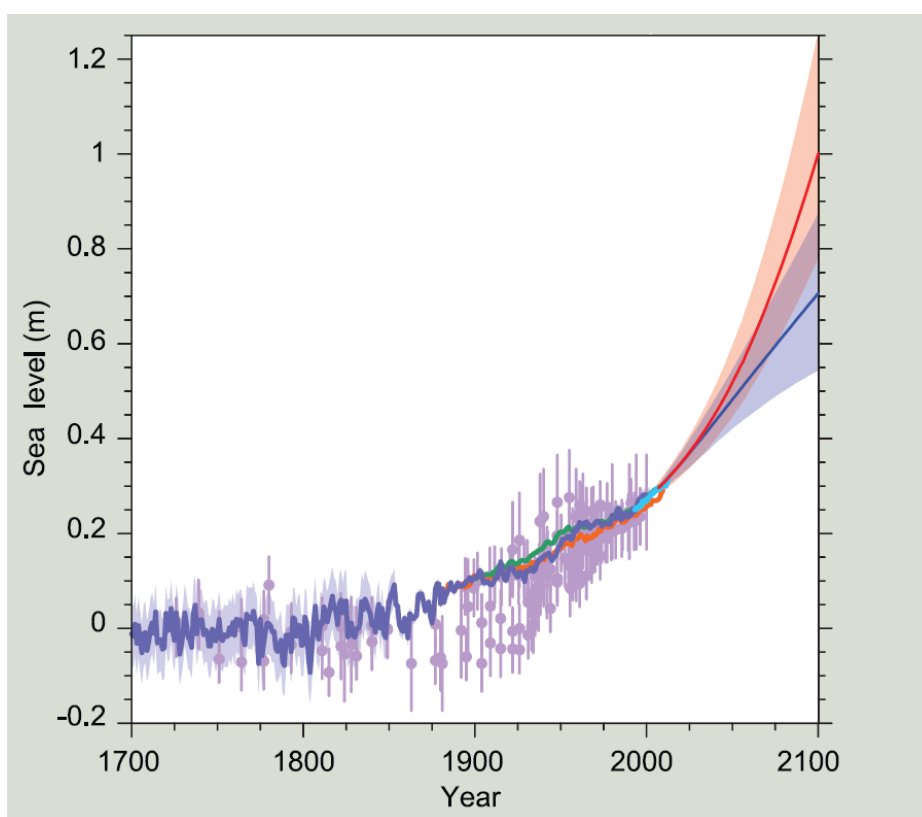
Figur 2.7 Skærbillede af Volumenkurve beregnet ud fra regnrække. Regnrække Version 4.1 (xls)

2.5

Fremtidige vandstande i de marine farvande

Fremtidige vandstande i havområder er af betydning for byernes planlægning af afløbssystemer i kystnære områder, hvor afløbssystemet har en randbetingelse til den marine recipient. Desuden kan ændringer i farvandenens vandstand påvirke grundvandsstand med konsekvenser for byernes dræning.

I AR5 konkluderer IPCC, at det er så godt som sikkert, at vandstand i havene steg i det 20. århundrede med en rate, der kan måles i mm/år. De dominerende bidragsydere til havstigningerne er oceanernes termiske udvidelse (ca. 30-35%) og gletsjernes massetab (fra Grønland og Antarktis). IPCC forudsiger at havniveauet vil fortsætte med at stige i hele det 21. århundrede og videre frem. Historiske og forventede fremtidige vandstande er sammenlignet i figur 2.8.



Figur 2.8 Sammenligning af vandstand fra paleo data (lilla), tidevands måledata (blå, rød og grøn), højdemåler data (lyseblå) og de gennemsnitlige estimater og variationer til RCP 2,6 (blå) og 8,5 (rød) scenarier. Kilde: IPCC 2014.

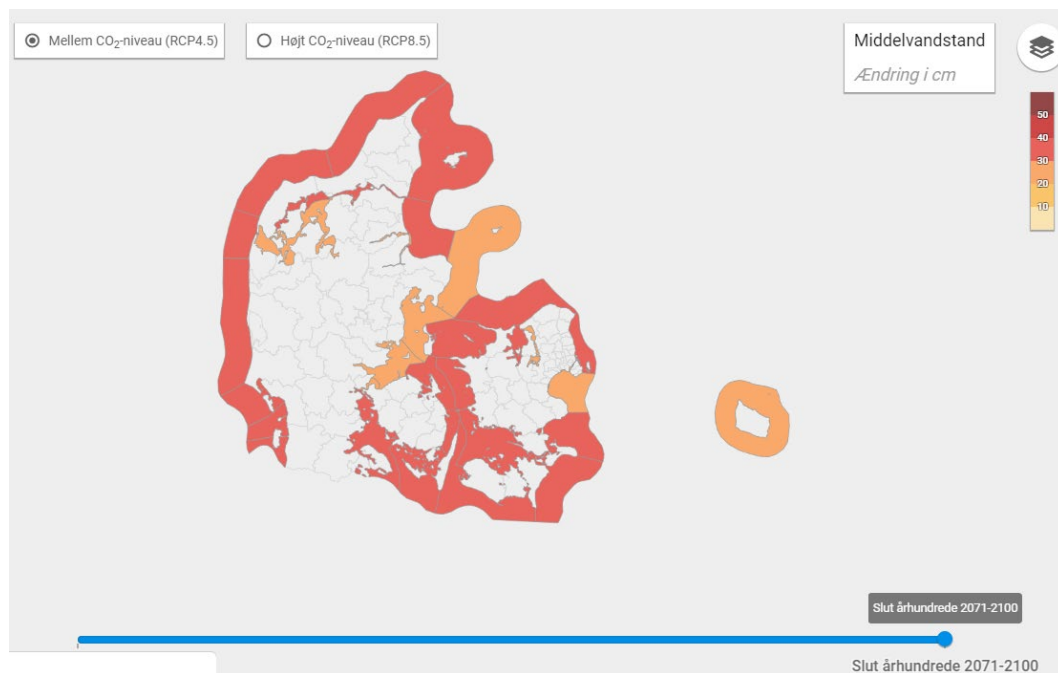
2.5.1

Fremtidige vandstande i havområder omkring Danmark

I fremtiden vil det gennemsnitlige havniveau stige langs de danske kyster på grund af klimarelaterede stigende vandstande i verdenshavene. Ud over dette, vil nye klimarelaterede ekstreme vindfelter føre til opstuvning eller havstigninger i kystnære områder i form af stormflod. Dette vil påvirke afløbssystemerne, da havet er en randbetingelse for afløbssystemerne, som udleder ved gravitation til havet.

Det gennemsnitlige havniveau omkring Danmark er steget cirka 2 mm om året siden 1900. Beregninger af fremtidens havniveau omkring Danmark er baseret på tal for det globale

havniveau kombineret med viden om landhævning i Danmark. I Klimaatlas er DMI's havmodel anvendt til beregningerne for klimascenarierne RCP4.5 og RCP8.5. Modellen tager højde for ændringer i vindstyrke og vindretning i fremtidens klima. Vandstand og stormfloder er simuleret for perioden 1981-2010 (nutidens klima), og for 2041-2070 og 2071-2100. I Klimaatlas præsenteres stormflodshøjder som 20- og 50-års hændelser for forhøjet vandstand med tilhørende usikkerheder. Et eksempel på data i Klimaatlas ses i figur 2.9, hvor ændringen i middelvandstand i de danske farvande er vist for år 2100.



Figur 2.9 Ændring i middelvandstand i de danske farvande i år 2100. Klimascenarium RCP8.5. (Klimaatlas, 2019)

2.6 Recipientvandspejl ved beregninger

Vandstanden i recipienten er ofte randbetingelse for afstrømningen fra regnvandssystemer og i nogle tilfælde ligeledes randbetingelse for overløb fra fællessystemer. Ved alle udløb fra disse systemer bør det derfor vurderes om recipientvandspejlet nu eller i fremtiden vil få betydning for udløbsmulighederne. Dette er i høj grad blevet aktualiseret af det forventede stigende havspejl og den forøgede max afstrømning i vandløb som konsekvens af klimaændringerne.

2.6.1 Vandløb

I vandløb er vandstanden afhængig af basisvandføringen samt udledningerne fra rurale og urbane oplande. Hvordan basisvandføringen vil udvikle sig, afhænger af mange lokale faktorer bl.a. drænsystemernes effektivitet samt grundvandsstanden i fremtiden. De overfladiske udledninger fra de kraftigste regn må i fremtiden forventes at blive endnu kraftigere og den maksimale afstrømning i vandløb vil derfor øges. De maksimale vandføringer og vandstande i vandløb kan enten optræde om sommeren, ofte i forbindelse med skybrud, eller om vinteren, ofte i forbindelse med snesmeltning eller langvarige regnrige perioder, afhængigt af vandløbets oplandstype og oplandsstørrelse. Ved små vandløb, hvis vandføring især stammer fra regnudledninger fra kloakerede byområder, vil der være en meget

direkte effekt af regnen på vandføringen i vandløbet, mens det for store vandløb kan være effekten af langvarige regnperioder eller snesmeltning, der bliver mest kritisk.

Ved beregning af hvordan et afløbssystem og vandløb fungerer sammen, i de tilfælde hvor et vandløb er recipient for regnudledningerne fra et byområde, vil det normalt være bedst at lade vandløbet indgå i modelleringen, så der fås et samlet billede af, hvordan systemet virker under ekstreme hændelser. Herudfra kan det vurderes, hvilke tiltag der vil være mest effektive til at forebygge oversvømmelser. Der kan være tale om tiltag i både vandløb og afløbssystem.

2.6.2

Søer

I søer afhænger vandstanden af nedbøren, tilledningerne, infiltration/interaktion med grundvandszonen og af fordampningen. Fordampningen vil øges i fremtiden pga. stigende temperatur, mens udviklingen i de andre parametre er usikker og meget lokalafhængig. Hvis søens vandspejl påvirker udledningmulighederne fra regnvandssystemerne, er det vigtigt at vurdere, hvor meget vandspejlet i søen kan forventes at stige under kraftige regn. Der bør altid laves en beregning af forventet vandspejlsstigning i recipienten, hvis der er risiko for, at den kan være kritisk for udledningmulighederne eller for oversvømmelsesrisikoen omkring søen.

2.6.3

Havet

Ved udledninger direkte til havet eller til fjorde, hvor vandspejl følger havet, er det vigtigt at tage statistikken for højvande samt den forventede effekt af klimaændringer i betragtning. De forventede fremtidige højvande kan i mange kystbyer vanskeliggøre direkte udledninger fra afløbssystemerne i højvandsituationer. Sandsynligheden for at ekstremt højvande optræder samtidigt med skybrud eller kraftig regn er vanskelig at bedømme, men antages normalt for at være lille. Derfor benyttes i mange tilfælde blot middelvandspejlet som randbetingelse. Sandsynligheden for samtidighed af forskellige grader af forhøjet vandstand og kraftig regn, bør dog altid overvejes. Det kræver lange måleserier af vandstand og regn for at kunne udtrykke sandsynligheden præcist. Sådanne måleserier findes normalt ikke. Kun enkelte steder er sammenhængen undersøgt detaljeret. Det gælder f.eks. i en rapport fra Kystdirektoratet: Joint Probability method report (2019), hvor der som eksempel er gennemgået, hvordan samtidighed af højvande og regn kan beregnes for området omkring Ribe.

På DMI's hjemmeside findes højvandsstatistikker for mange kystbyer rundt i Danmark og der er angivet maksimale vandspejl for forskellige gentagelsesperioder, som de er målt frem til nu. Det er vigtigt at bemærke, at der i disse vandspejl ikke er taget hensyn til klimaændringer. For at tage klimaændringer i regning skal suppleres med prognoser fra Kystdirektoratet, som har oplyst forventede havspejlsstigninger for alle danske kyststrækninger frem til år 2100. Der henvises til Kystdirektoratets hjemmesider og hjemmesiden www.klimatilpasning.dk for at indhente denne information.

Er der behov for vandstande lokalt for andre gentagelsesperioder end de offentligt tilgængelige, f.eks. for gentagelsesperioden, som afløbssystemet dimensioneres efter, må de beregnes med en 2D hydrodynamisk model. Output fra sådanne hydrauliske beregninger vil være ekstremvandstande for relevante gentagelsesperioder inklusiv et mål for varigheden (f.eks. døgnmaksimum eller lignende).

2.6.4

Samspil

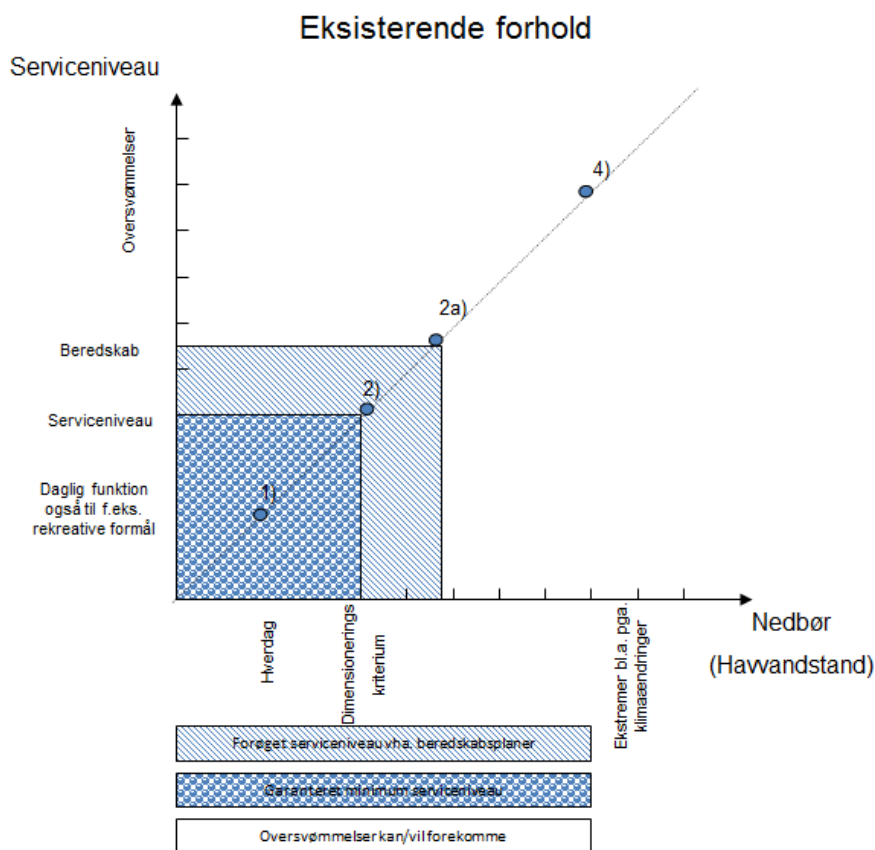
Hvilket recipientvandspejl der skal benyttes i en konkret situation må normalt afgøres ud fra en samlet vurdering af forholdene på stedet, ikke mindst konsekvenserne af oversvømmelser. Det er vigtigt at alle randbetingelser vurderes og at der ses på samspillet mellem dem. Kombinationer af kraftig regn efter en meget våd periode med høj grundvandsstand, stor vandføring i vandløb og relativ høj vandstand i havet er forekommet og har f.eks. givet problemer i flere jyske byer. Der bør altid tages hensyn til forventet havspejlsstigning samt højvandssituationer ved vurdering og beregning af oversvømmelsesforholdene.

Hvis der skulle tages hensyn samtlige ovennævnte effekter af klimaændringer, som potentielt kan have betydning for funktionen af det fremtidige afløbssystem, og dermed også oversvømmelser, vil det være nødvendigt at opstille en fuld hydrologisk model, der inkluderer hav, grundvand, søer, vandløb og regnvandssystemer. I de fleste tilfælde vil det dog ikke være muligt da alle modellerne sjældent findes og beregningerne i øvrigt vil være meget tidskrævende. Det må derfor anbefales ved beregninger at anvende de tidligere nævnte randdata, som svarer til de forventede klimaændringer.

3. Overholdelse af funktionskrav under påvirkning af klimaændringer

3.1 Beskrivelse af serviceniveau

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



Figur 3.1 Eksisterende forhold i afløbssystemerne.

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

Bevæger man sig op mod højre langs linjen til punkt 2), kommer man til grænsen for garantien mod oversvømmelser, som afstrømningssystemerne er dimensioneret i dag. Denne

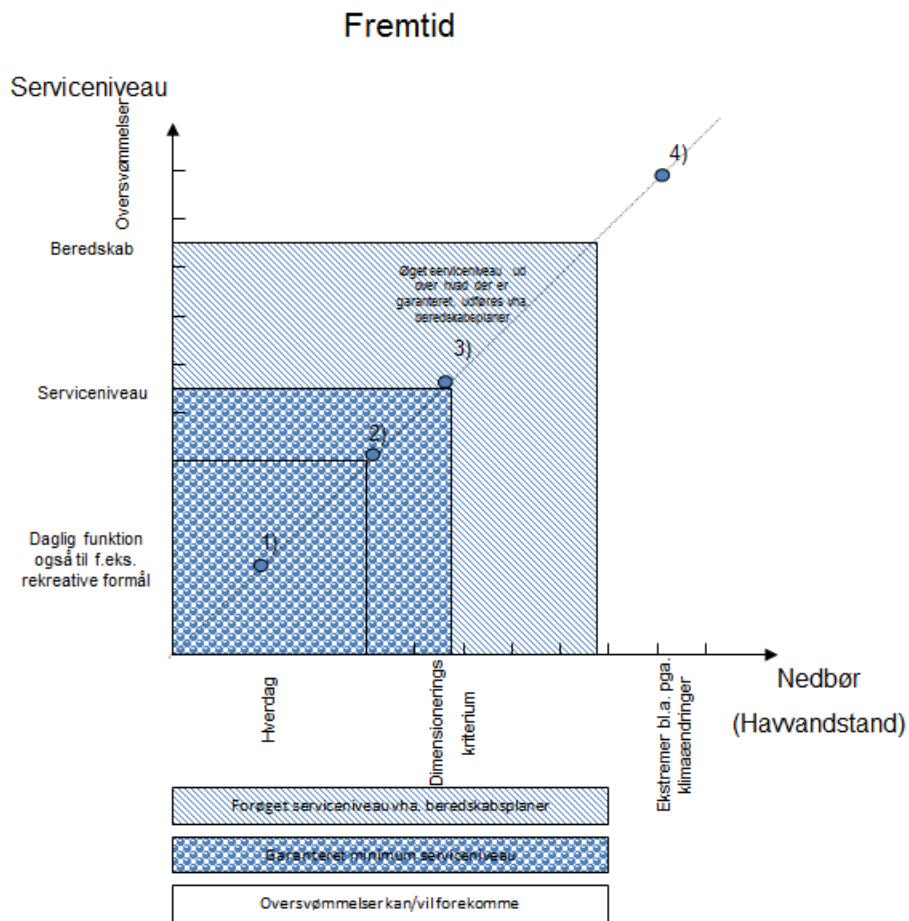
situation er for de eksisterende afstrømningssystemer svarende til en nedbør med en intensitet på 8-9 mm over 10 minutter, som tidligere kunne forventes at forekomme ca. hvert 2. år (i gennemsnit over mange år). I denne situation vil regnvandssystemerne komme under pres, men der vil netop ikke ske oversvømmelser. Dette er under den forudsætning at afløbssystemet er tilstrækkeligt renoveret og vedligeholdt.

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

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

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

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



Figur 3.2 Forhold efter udbygning af afløbssystemerne pga. klimaændringer (farveforklaring svarer til den i figur 3.1).

Det sidste punkt på linjen 4) angiver forholdene ved den ekstreme nedbør, som er set de seneste årtier i mange kommuner, f.eks. i Greve i henholdsvis august 2002 med 100 mm på tre timer og i juli 2007 med 250 mm på tre uger (og ca. 60 mm på et døgn) samt i København 2. juli 2011 med 128 mm på 8 timer. I disse situationer 4) er der ingen garantier mod oversvømmelse. Beredskabsplaner kan eventuelt reducere oversvømmelserne og skaderne, men det må forventes, at der sker oversvømmelser.

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

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

Spildevandsforsyningerne er ansvarlige for at opfylde nationalt stillede krav, som er beskrevet i henholdsvis Landvæsenskommissionens afgørelser for gamle systemer og i Spildevandskomiteens skrifter i de senere år (punkt 2 i figuren). Disse krav kan betragtes som

dansk praksis på området, når vi taler om anlæg udført før 2005. Taler vi om anlæg udført efter 2005, skal de nye krav (Skrift 27) være opfyldt svarende til punkt 3) i figuren.

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

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

3.2 **Serviceniveau og overholdelse af funktionskrav under påvirkning af klimaændringer**

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

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

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

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

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

For at undersøge om serviceniveauet er opretholdt, kan der gennemføres beregninger (svarende til nedbøren beskrevet i afsnit 2.4), som vil vise afløbssystemets respons på udviklingen i klimaet med gentagelsesperioder på 10, 25, 50 og 100 år. Denne analyse vil vise, hvilke steder i afløbssystemet funktionskravet overskrides sammen med en indikation af, hvornår det sker. Denne information kan indgå i planer for vedligehold og udbygning.

Det anbefales i Miljøstyrelsens rapport Miljøprojekt nr. 1123 (2006), at der foretages en 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 der planlægges en håndtering af vandet på terræn. Denne vurdering indgår i en planlægning af, hvornår afløbssystemet bør tilpasses, så det kan håndtere den ekstra nedbør på grund af klimaændringer.

Spildevandskomiteen under Ingeniørforeningen har i 2017 udgivet et skrift som giver anbefalinger til, hvilke metoder der skal anvendes, når der skal træffes beslutning om serviceniveau for vand på terræn – kaldet Skrift 31:

”Dette skrift anvender risikobaseret dimensionering, hvilket nødvendiggør en sammenlignelig og entydig definition af begrebet risiko. Det er valgt at benytte den forventede årlige omkostning af skader (Eng: Expected Annual Damage) forårsaget af ekstreme regnhændelser, som mål for risikoen. EAD opgøres som summen af skadesomkostninger forårsaget af årlige maksimale regnhændelser vægtet med sandsynligheden for deres forekomst.

Baseret på samfundsøkonomisk optimering fastlægges funktionskrav for regnvand på terræn med udgangspunkt i et af de følgende tre principper:

1. Funktionskrav fastsættes for kommunen som helhed, som en maksimal skadevoldende vanddybde på terræn, der kun må overskrides med en generel fastsat gentagelsesperiode. Herved bliver der afhængig af bygningers og delområdets værdi forskel på den risiko, der optræder forskellige steder i kommunen.
2. Funktionskrav fastsættes, differentieret på arealanvendelsen i kommunen, som maksimale skadevoldende vanddybder på terræn, der kun må overskrides med fastsatte gentagelsesperioder.
3. Funktionskrav fastsættes i hvert delområde for sig i kommunen som maksimale skadevoldende vanddybder på terræn, der kun må overskrides med en lokalt fastsat gentagelsesperiode.

Som baggrund for den risikobaserede analyse udarbejdes et oversvømmelseskort og et værdikort for området.

Til brug for udarbejdelse af oversvømmelseskortet skal der gennemføres en hydraulisk beregning. Valg af model til denne beregning bør bero på dels områdets kompleksitet og dels analysens omfang.

Værdikortet kan ligeledes udarbejdes med forskellige detaljeringsgrader. Inden analysen skal det besluttes, hvilke typer af skader der skal indgå i analysen. Der skelnes mellem direkte og indirekte skader og mellem markedsomsatte værdier og ikke markedsomsatte værdier (immaterielle aktiver).

Metoden fra Skrift 31 er beskrevet i kapitel 6.

4. Modellering af oversvømmelser fra regnvandssystem og vandløb

4.1 Fra hulkort til avancerede hydrauliske modeller

4.1.1 Modelværktøjerne – det tekniske spor

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

- hvad er formålet med beregningerne?
- hvordan ser terrænet i området ud?
- hvilke data er der til rådighed?

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

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

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

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

Der er ofte stor variation i detaljeringsgraden og kvaliteten af data. Foreligger der f.eks. en kalibreret dynamisk afløbsmodel for området.

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

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

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

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

4.1.2

Beslutningsprocessen

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

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

4.1.3

Den tværfaglige vinkel

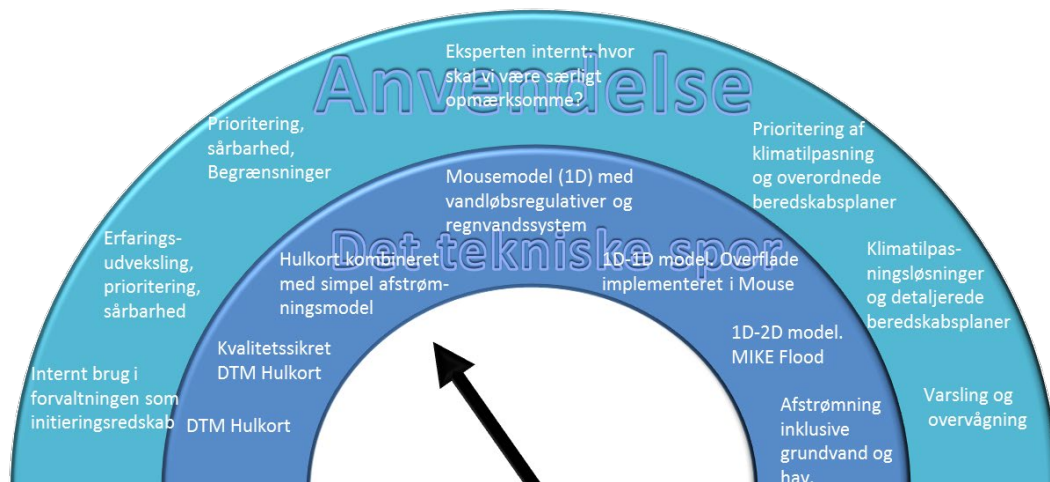
Når klimatilpasning skal implementeres i forvaltningerne, kan terrænmodeller kombineret med hydrauliske vurderinger anvendes til vidt forskellige ting: de kan give byplanlæggeren en idé om, hvilke arealer der skal friholdes fra andre anvendelser og bruges som opmagasineringsarealer for regnvand, de kan anvendes af byggesagsbehandleren til at vurdere, om der kan gives byggetilladelse i et aktuelt område – eller om der skal nærmere analyser til for, at en tilladelse gives, de kan anvendes af miljøplanlæggeren/vandløbsmyndigheden til vurderinger om etablering af f.eks. våde enge til tilbageholdelse af næringssalte og af landskabsarkitekten til at vurdere, hvor forskellige naturelementer skal placeres. Igen kræver de forskellige fagområder forskellig anvendelse af teknisk viden og følger "klimameteret" for det tekniske spor:

Byplanlæggeren kan anvende et simpelt "hulkort" til at fastlægge arealanvendelse i kommuneplanen, men i lokalplanen skal der mere kendskab til de hydrauliske forhold i kombination med terrænmodellen, før en decideret arealanvendelse kan fastsættes i et lokalområde. Vandløbsmyndigheden skal kende de specifikke vandstande i vandløbene for at kunne fastsætte de våde enges dimensioner og har derfor brug for hydrauliske modeller af vandløbene og terrænkoter for at kunne gennemføre en vandløbsregulering, der også har en god effekt på klimatilpasningen. Landskabsarkitekten kan i nogle tilfælde anvende det simple hulkort f.eks. til at placere en sø, men skal i andre tilfælde kende vandstande for at sikre at søen faktisk kommer til at indeholde vand! På klimameteret kan der derfor tilføjes et "*tværfagligt spor*", hvor anvendelsesmulighederne for forskellige fagområder i tekniske forvaltninger kan placeres.

4.1.4

Økonomi

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



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

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

Illustrationen på figur 4.1 kan f.eks. anvendes til at formidle beslutningsprocessen.

I de følgende kapitler vil det tekniske spor blive gennemgået i detaljer, eksempler på klimatilpasning vil blive vist, og forslag til gennemførelse af risikoanalyser og prioritering af klimatilpasning vil blive givet.

4.2

Beregningsmetoder

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

1. Terrænmodel. GIS–analyse, hvor der ved hjælp af DTM beregnes fordybninger i terrænet. Metoden tager kun overfladiske afstrømninger i regning uden rør og øvrig hydraulik.
2. Hulkort kombineret med simpel afstrømningsmodel. GIS–analyse, hvor der ved hjælp af DTM beregnes fordybninger i overfladen. Metoden tager kun overfladiske afstrømninger i regning uden rør og øvrig hydraulik. Ved hjælp af en simpel volumenbetragtning på nedbørsmængder og afstrømningskapaciteter på terræn indlægges i "hulkort" beregningen, så der kan findes et første skøn på risikozoner. Et eksempel på en automatiseret anvendelse af dette niveau er SCALGO®
3. Hydrodynamisk afløbsmodel i 1D. Der beregnes kun i rør og kanaler. Metoden medtager ingen terrænstrømninger og simulerer ikke oversvømmelser på terræn. Metoden giver informationer om kritiske punkter i afstrømningssystemet.
4. Kombineret hydrodynamisk afløbsmodel og overflademodel (1D-1D). I en 1D afstrømningsmodel (eksempelvis Mike Urban eller SWMM) implementeres overfladen som bassiner forbundet med overløbskanter. Metoden viser risikozonerne, mængden der opstaves, og hvor vandet når til, men ikke strømhastigheder og bevægelsesveje på overfladen.

5. Kombineret hydrodynamisk afløbsmodel og 2D-overflademodel (1D-2D) f.eks. MIKE Flood. Afløbsmodel og hydrodynamisk 2D overflademodel kombineres. Metoden medtager strømhastigheder og bevægelsesveje på overfladen, men er meget beregningstung.
6. Simulering af det samlede vandkredsløb. I fremtiden vil man eventuelt kunne kombinere modeller af afstrømningen fra grundvandszonen, vandløb, afløbssystem og havet. Dette vil give det samlede overblik over afstrømningsforholdene i byerne. P.t. kan afstrømningssystem og vandløb kombineres med hydrologien i grundvandszonen, men det er meget beregningstungt og svært at opstille modellerne i en detalje, der gør det værd at gennemføre det store arbejde.

I de følgende afsnit beskrives disse metoder i detaljer:

4.2.1

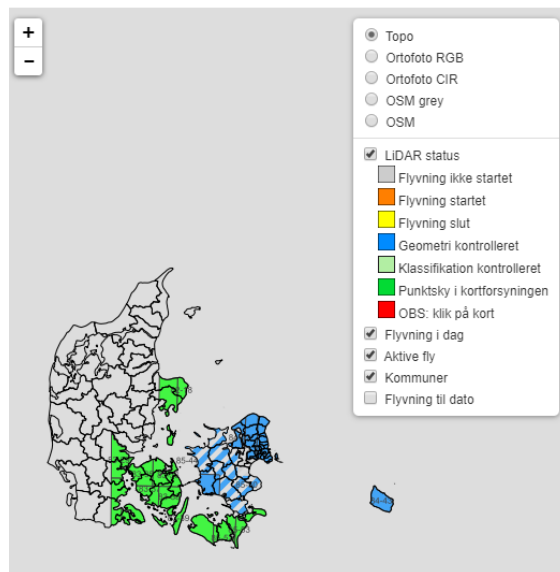
Terrænmodel

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 skadevoldende oversvømmelser. Det er muligt at udpege lavninger, hvor vand kan samles.

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

I Danmark findes "Danmarks Højdemodel", som er lagret i et grid med en cellestørrelse på 0,4 meter. Data er første gang indsamlet i perioden 2014-2015 og har nøjagtigheder på horisontalt 0,15 m og vertikal 0,05 m (Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering, Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet, 2019).

Danmarks Højdemodel er en del af de fællesoffentlige grunddata, der stilles frit til rådighed for borgere, private virksomheder og den offentlige sektor. Danmarks Højdemodel består af flere datasæt, der optages vha. en laserscanning af hele Danmark fra fly. Data opdateres løbende og der bliver fløjet en femtedel af Danmark om året. Status ultimo 2019 for opdateringen af modellen er vist i figur 4 2.



Figur 4 2 Status på Lidar overflyvninger i Danmark, "Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering", 2019

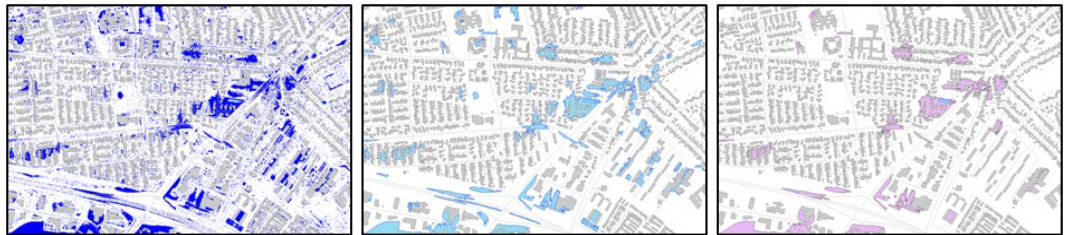
Højdedata er kvalitetssikret til en vis grad. Objekter som huse, biler og træer er fjernet. Oftest vil broer og rørlagte vandløbsstrækninger virke som barrierer i de rå højdedata og der er derfor indbygget underføringer i terrænmodellen, såkaldte "hydrologiske tilpasninger". Data bør dog stadig gennemgås – dels kan der være steder, hvor justeringer mangler, dels kan der i byområder være vandveje som ikke er registrerede, så som porte i bygninger mv. Sidstnævnte kan være vanskelige at lokalisere, men håndtering og konsekvens af fejl i slutresultat bør afvejes mod hvor lang tid der bruges på at rette højdemodellen. Se appendiks G for et eksempel på kvalitetssikring af højdedata.

4.2.2

Hulkort kombineret med simpel afstrømningsmodel

Terrændata er anvendt til at beregne hulkort, strømningsveje samt oplande for alle fordybninger i Danmark og disse data er offentligt tilgængelige. Data er udarbejdet ved at antage, at alle overflader er fuldstændig impermeable, dvs. der er ikke mulighed for nedsivning eller afstrømning via dræn og afløbssystem. Kortene viser potentielle risikoområder – nærmere betegnet fordybninger i terrænet – hvor der er risiko for, at vand kan samles og forårsage oversvømmelser. Kortmaterialet viser dels udbredelse af fordybninger med information om arealmæssig udbredelse og volumen, dels en opgørelse over dybder, hvis lavningerne fyldes helt op med vand.

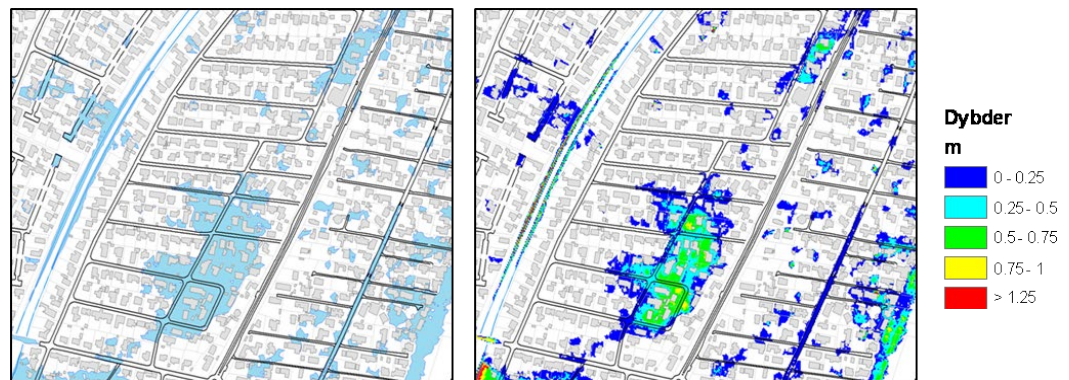
Fordybninger i terrænet kan vises på forskellige niveauer, f.eks. alle fordybninger eller kun fordybninger over f.eks. 100 eller 500 m³, som vist i figur 4.3. Viser alle fordybninger, vil støj i terrænmodellen forstyrre billedet en del.



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

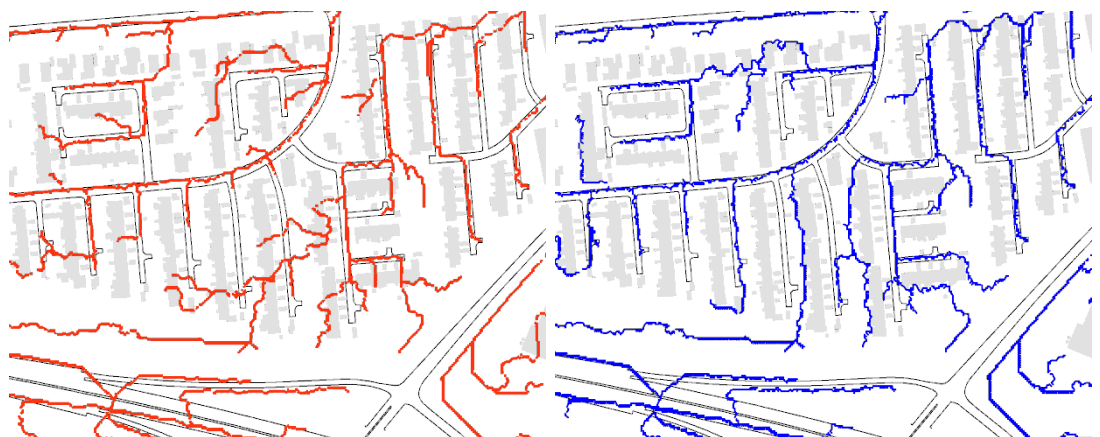
Efter lavningerne er identificerede kan dybder vises, se figur 4.4. Informationer om lavningerne kan forholdsvis let kædes sammen med data for grundvandsspejlet.

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



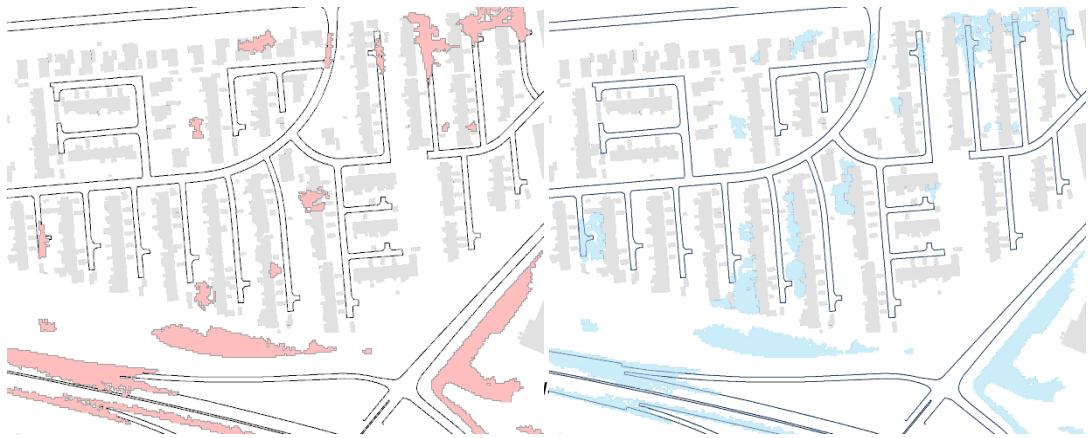
Figur 4.4 Udpegning af lavninger og beregninger af dybder.

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



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

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



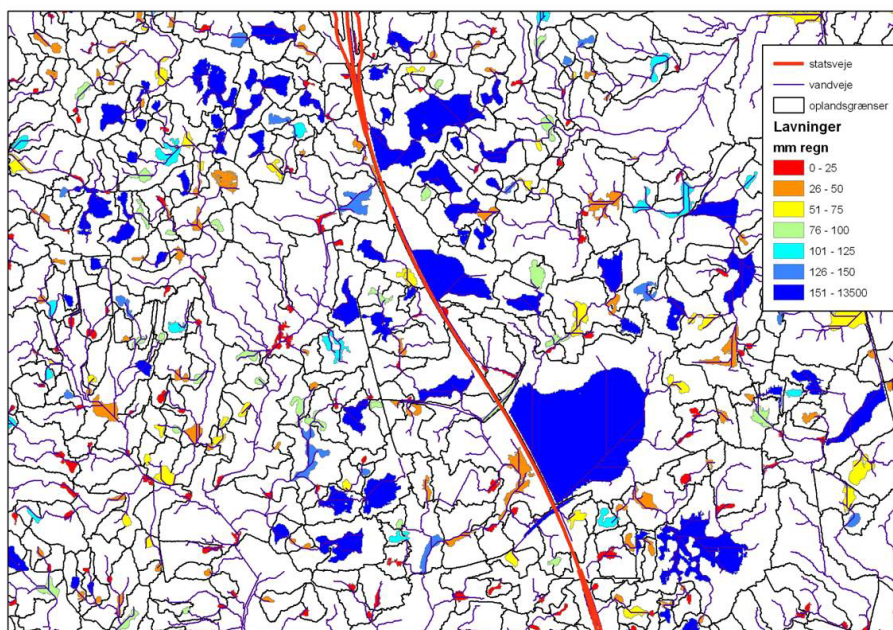
Figur 4.6 Oversvømmelse beregnet med og uden huse i den digitale terrænmodel.

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



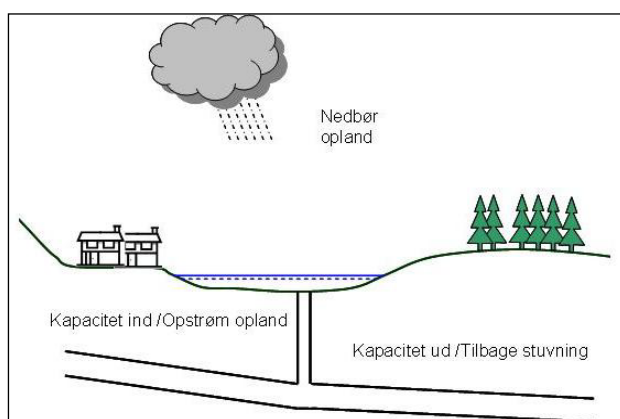
Figur 4.7 Bidragende arealer.

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



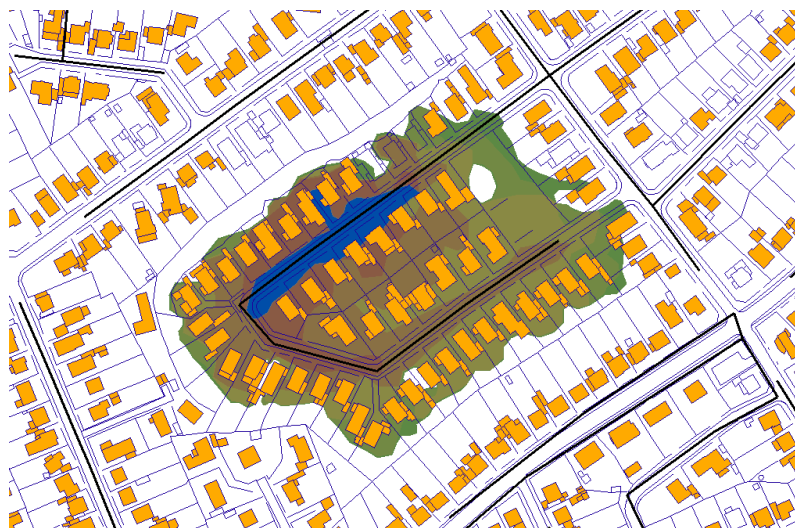
Figur 4.8 Millimeter regn pr. lavning (Vejdirektoratet 2009).

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



Figur 4.9 Skitse af mindre system.

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



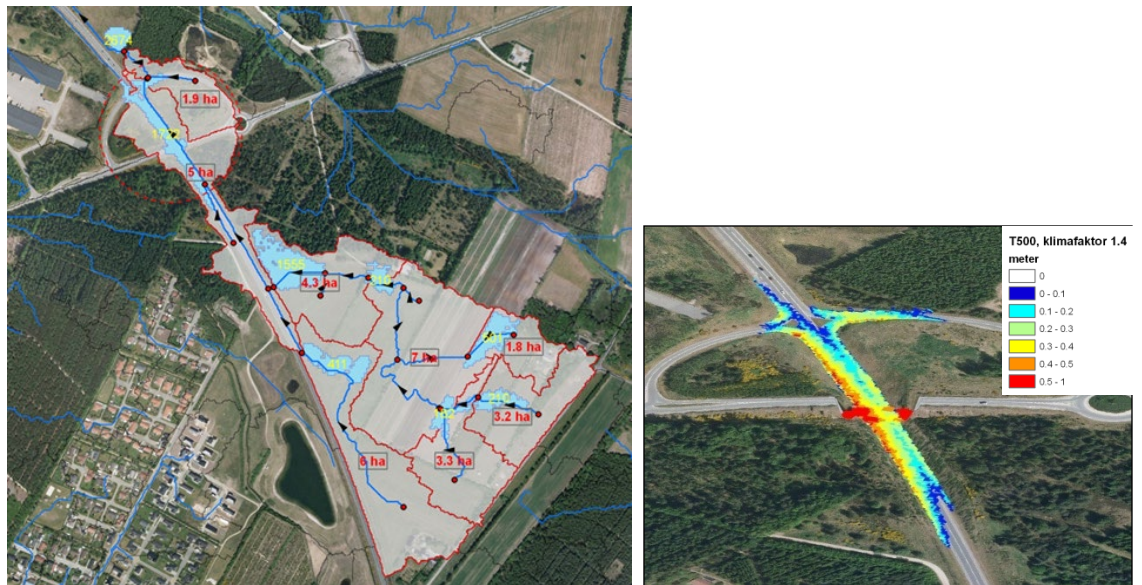
Figur 4.10 Oversvømmet område er vist med blå.

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

Hulkortmetoden viser udelukkende fordybninger i terrænet, udbredelsen af fordybningernes oplande og strømningsveje på overfladen. Via f.eks. fotoanalyse (Nielsen, 2010) og/eller GIS-analyse af grunddata kan overfladen suppleres med befæstelsesgrader, hvorefter der er basis for en egentlig hydraulisk overfladeberegning af oversvømmelser for aktuelle nedbørshændelser. Beregningerne kan gennemføres som 1D eller 2D overfladeberegninger (jf. afsnit 4.2.2 Kombineret hydrodynamisk afløbsmodel og overflademodel 1D-1D og 4.2.4 Kombineret hydrodynamisk afløbsmodel og overflademodel 1D-2D).

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

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



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

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



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

4.2.3

Hydrodynamisk afløbsmodel 1D

En hydrodynamisk afløbsmodel (1D) kan anvendes til at give et første overblik over, hvor vandet først kommer op på terrænen. Dette kan kombineres med viden om, hvordan vandet løber på overfladen og hvor vandet kan samle sig i fordybninger. Stiger vandet op flere steder i nærheden af et risikoområde, udpeget f.eks. ved hulkortsanalysen, bør der foretages yderligere beregninger i dette område. Ved etablering af hydrodynamiske modeller bør

der anvendes målinger i afstrømningssystemerne for at sikre, at modellerne i tilstrækkelig høj grad repræsenterer virkeligheden.

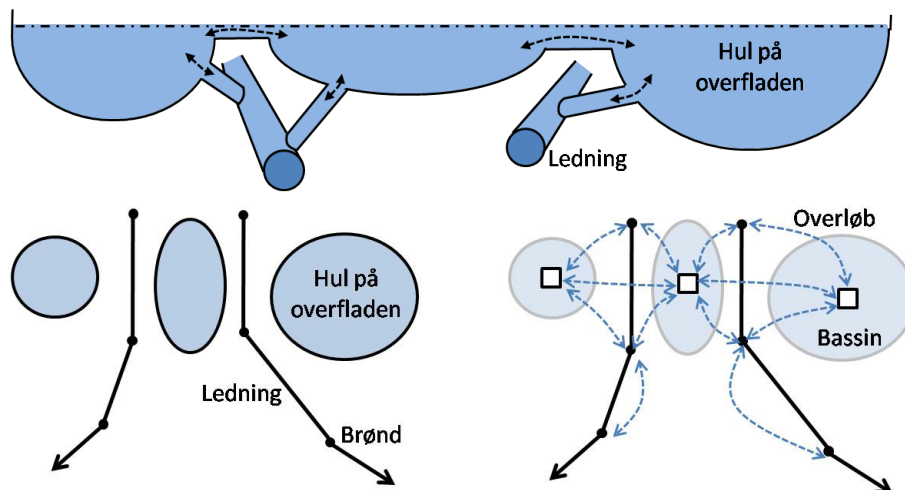
4.2.4

Kombineret hydrodynamisk afløbsmodel og overflademodel 1D-1D

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

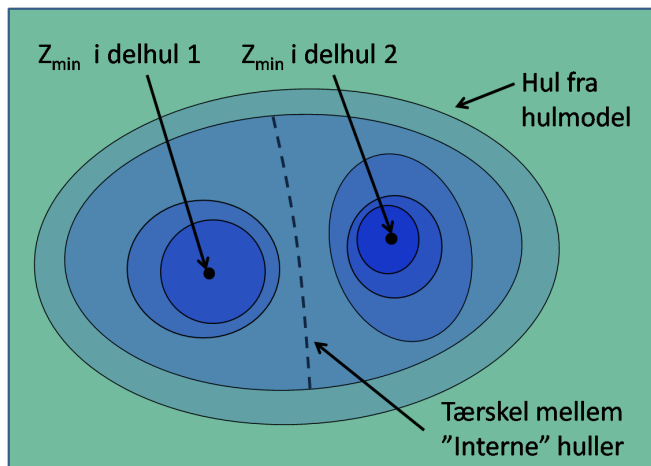
Ved digital analyse af en terrænmodel fremkommer et komplekst system af strømningmønstre på overfladen. Yderligere analyser kan afdække, at overfladen simplificeret består af en række fordybninger, kanaler og overløb svarende til de beregningsmetoder, der er implementeret i dynamiske 1D afløbsmodeller.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

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



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

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



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

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

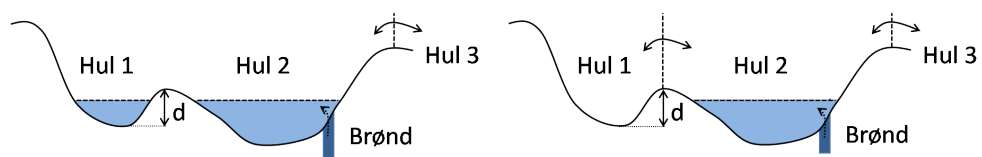
Hvis tærskelværdien for et delhul f.eks. er mindre end den valgte grænseværdi, lægges delhullet sammen med det tilstødende delhul. Konsekvensen af sammenlægning af delhuller kontra separation er illustreret på figur 4.15 og 4.16. De valgte grænseværdier for tærskeldybder får størst betydning i de tilfælde,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

Case 1

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

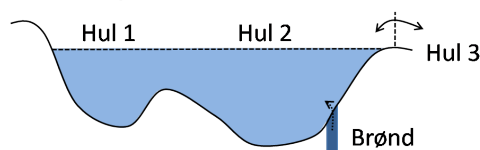
Case 2

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

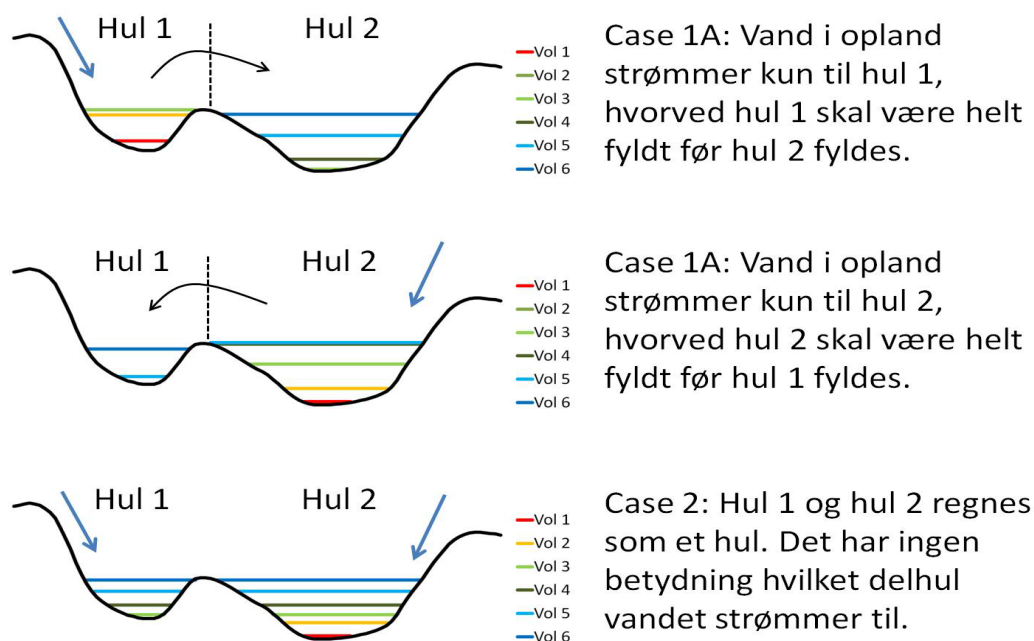


Case 1 og Case 2

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



Figur 4.15 Illustration af fyldning af huller.



Figur 4.16 Kvantitativ illustration af fyldning af huller.

Reduktionsgraden bør overvejes i forhold til hvad oversvømmelsesberegningen skal anvendes til. F.eks. vil en minimumtærskeldybde på 30 cm ikke give mening hvis oversvømmelseskortet skal anvendes til en risikoberegning med skader ved 10 cm på terræn.

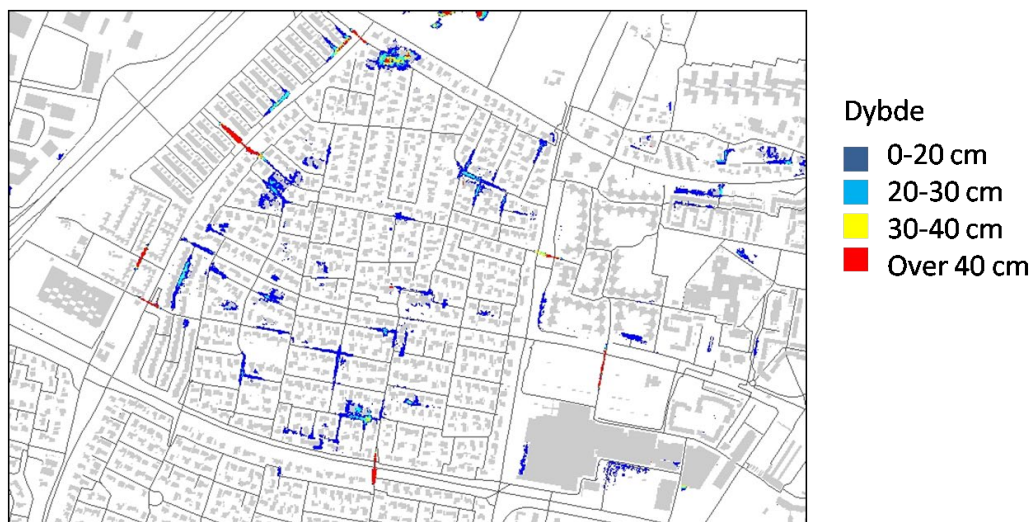
Når detaljeringsmetode og detaljeringsniveauet er fastlagt, kan overfladehullerne med tilhørende niveauareal kurve og overløbskanter genereres via GIS-applikationer (Nielsen et al 2009 og Jensen et al., 2010), hvorefter de kan importeres til en hydraulisk 1D afløbsmodel som bassiner og overløb.

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

Der er gennemført en række sensitivitetsanalyser på detaljeringsgrad og randeffekter. Hovedkonklusionerne er, at detaljeringsgraden på resultatet er højere eller den samme som den valgte detaljeringsgrad på modellen. Fejlen forårsaget af detaljeringsgraden er størst i deloplande beliggende på skrånninger, med stor opmagasineringskapacitet på selve skrånningen. I disse tilfælde negligeres selve skrånningens evne til at tilbageholde vand.

Herudover overestimeres den hastighed, hvormed vandet strømmer på overfladen (fra brønde til bassiner og mellem bassiner) – med mindre strømningsveje indlægges som kanaler. Til gengæld er der fuld volumenbevarelse i systemet svarende til den valgte afløbsmodel og det valgte tidskridt.

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



Figur 4.17 Eksempel på afbildning af oversvømmelsesresultater.

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

4.2.5

Kombineret hydrodynamisk afløbsmodel og overflademodel 1D-2D

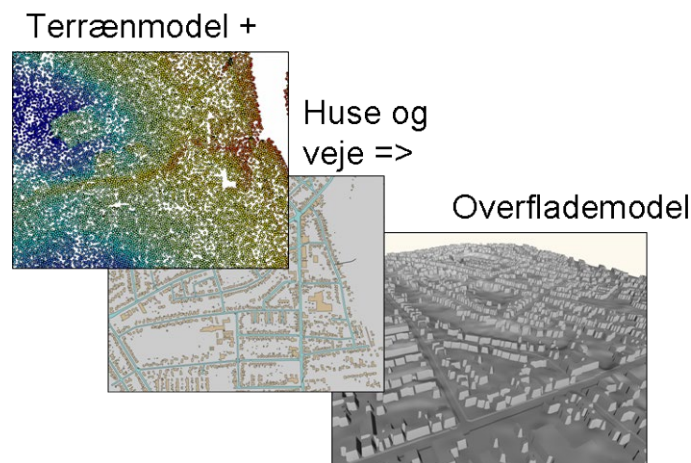
Den hydrodynamiske afløbsmodel kan kombineres med en 2D hydrodynamisk beskrivelse af afstrømningen på overfladen, f. eks MIKE FLOOD, (Mark et al., 2006). I overflademodellen er det muligt at give en detaljeret beskrivelse af en ekstrem regnsituation, hvor både dynamikken i afløbssystemet og på terrænoverfladen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

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

- I de "rå" terrændata er der primært fire typer af justeringer, der bør overvejes og holdes opdaterede: data der er forældede i forhold til seneste overflyvning
- bygninger og andre konstruktioner på overfladen
- data der bør justeres af hensyn til hydrauliske beregninger
- fremtidige planlagte terrænreguleringer og skybrudsveje

Frekvensen af reelle overflyvninger er sjældent høj nok til at terrændata holdes fuldstændig opdateret i forhold til de seneste fysiske ændringer af terrænet. I forbindelse med modelberegninger er det derfor væsentligt at "rå data" justeres kontinuerligt med de seneste kendte projekter.

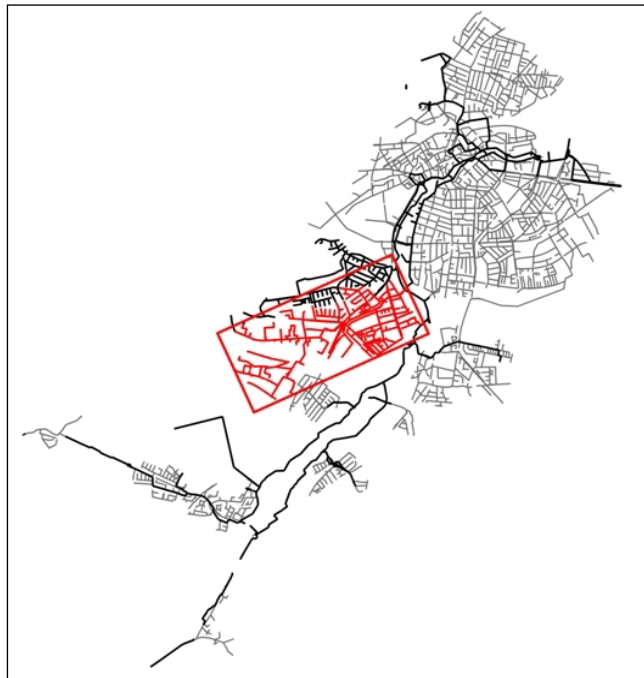
Ligeledes kan bebyggelser være et dynamisk element, der typisk vil være mere forældede i terrændata end i det "Fælles OffentligT geografisk administrationsgrundlag" (FOT)-data. Så for at opnå datasæt, der bedst afspejler dags dato, kan det være fordelagtigt at benytte terrændata påført FOT-data. Ved kombination af terrændata og FOT-data vil det primært være bygninger der suppleres. F.eks. hæves husene 4 m over terrænets niveau og vej sænkes 20 cm. Processen er skitseret på figur 4.8. De seneste års udvikling i detaljeringsgraden og usikkerheden på terrændata har resulteret i at veje afspejles betydelig bedre i "rå" data end tidligere og behovet for sænkning af veje er derfor blevet mindre.



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

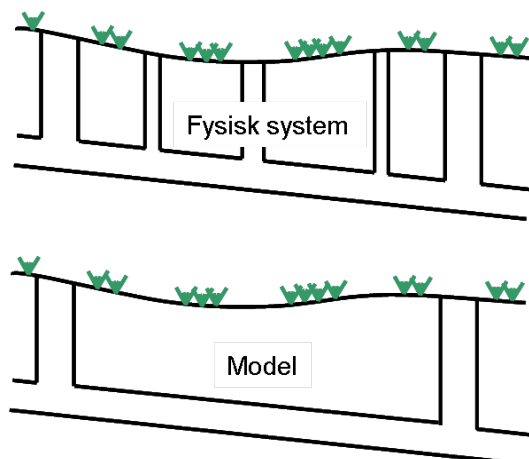
Endelig skal det overvejes, om og i hvilket omfang planlagte terrænjusteringer i form af f.eks. skybrudsveje håndteres og i hvilket omfang.

Ved kobling mellem afløbssystem og overfladen kan der vælges et mindre delområde, hvor de to modeller kobles, dvs. modellerne udveksler vand mellem rørsystem og terræn – dynamisk under beregningen, se figur 4.19. 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 0,4 x 0,4 m, er det en god idé at vælge et mindre område. En typisk (realistisk) gridstørrelse vil være 2-4 m.



Figur 4.19 Afløbssystem kobles med overflademodel.

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 stikledninger og nedløbsriste der ikke er beskrevet i afløbsmodellen, udgør.



Figur 4.20 Skitse af fysisk system kontra model.

Der vil være en del usikkerhed om, hvordan vandet udveksles mellem de to modeller. Hvor hurtigt kan vandet komme op af riste og brønde i det valgte område, og hvor hurtigt kan det komme ned igen? Det kan selvfølgelig være en kalibreringsparameter, men som udgangspunkt må man antage, at det er begrænset, hvor stort et overtryk der kan være i

systemet, før afløbsvandet står op af alle riste og brønde. Tilsvarende må det formodes, at vandet på overfladen strømmer ned i afløbssystemet, så snart der er plads.

Grænsen for hvilke elementer, der håndteres hvor, er ikke nødvendigvis skarpt opdelt. F.eks. kan vandløb, skybrudsveje og åbne bassiner håndteres i overflademodel, såvel rørmodel som overflademodellen må derfor justeres afhængig af de valg der foretages.

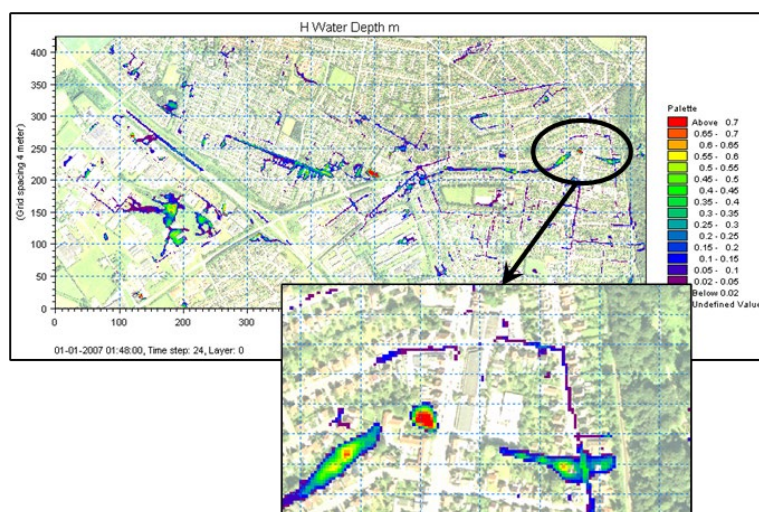
De valg der gøres i forbindelse med opdeling af hvilke elementer, der håndteres i overflademodel, får væsentlig indflydelse på valget af den nødvendige detaljeringsgrad af overflademodellen. Hvis det vælges at beskrive overfladen i et 2-dimensionelt grid, kræver det en forholdsvis stor detaljeringsgrad at beskrive vandløb og skybrudsveje tilstrækkeligt korrekt. Samtidig skal det nøje overvejes, om der skal bruges mesh grid og hvordan grid lægges i forhold til strømningsretningen. En strømningsretning på tværs af et grid eller en for stor gridstørrelse kan resultere i væsentlige numeriske fejl.

Hvis det vælges at beskrive elementer som f.eks. vandløb og skybrudsveje i rørmodellen og de resterende overfladestrømninger i overflademodellen, kræver det en del tilretning af DTM-data, så der ikke opstår dobbeltvolumen og dobbelt strømning. F.eks. skal vandløb og kanaler fyldes op i terrænmodellen, hvis de er implementeret i 1D modellen.

Kalibrering og validering af den koblede model er vigtig, men ofte er der ikke detaljerede data til rådighed. Kalibreringsdata til overflademodellen kan f.eks. bestå af udbredelse af oversvømmelser i bestemte områder under en eller flere historiske regnhændelser. De vigtigste forhold ved en kalibrering er:

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

Det er forholdsvis simpelt at opstille en koblet model, men beregningstiden er lang og der kræves en mængde inddata af høj kvalitet. figur 4.22 viser et eksempel på resultater fra en beregning med koblet model. Som baggrund er der anvendt et luftfoto.



Figur 4.22 Eksempel på beregningsresultater fra en koblet model.

4.3

Sammenligning af beregningsmodeller

Ved hydrauliske beregninger af afløbssystemet i kombination med vand der strømmer på overfladen, er der en række problemstillinger og overvejelser der bør gøres. Hvilke typer af hydrauliske modeller og hvilken detaljeringsgrad der vælges, afhænger i høj grad af den konkrete opgave og hvilke oplysninger, der søges. I takt med udviklingen inden for planlægning af klimatilpasning og skybrudssikring integreres overfladen i stigende grad i løsningsforslagene. Dette sætter øgede krav til modellering af hvordan vand strømmer på terræn og hvordan skader evt. kan mindskes ved ændringer ikke kun i afløbssystemet, men også på overfladen. Det er f.eks. køreveje der i fremtiden skal benyttes som vandveje under ekstremregn eller eksisterende ubebyggede fordybninger og parker der benyttes som forsinkelsesvoluminer eller skadesreducerende elementer. Modelberegninger, hvor afløbssystemet integreres med overfladen, er derfor betydelig mere almindelig end tidligere.

Analyserne på terrændata giver ingen information om påvirkning fra afløbssystemet og derfor er det væsentligt at understrege, at resultaterne skal tages med forbehold. På baggrund af strømningslinjer og udbredelsen af bidragende arealer kan analysen karakterisere et område som lavrisiko zone uden hensyntagen til bidrag fra ledningerne i afløbssystemet, se figur 4.23. En GIS-analyse ville ikke have givet anledning til øget beredskab ved oversvømmelser af Greve Rådhus eller Ejersmindevej i Odense, idet de bidragende arealer har ringe udbredelse.



Figur 4.23 Terrænmodeller og hulkort giver en god screening over potentielle oversvømmelser og strømningsveje på overfladen.

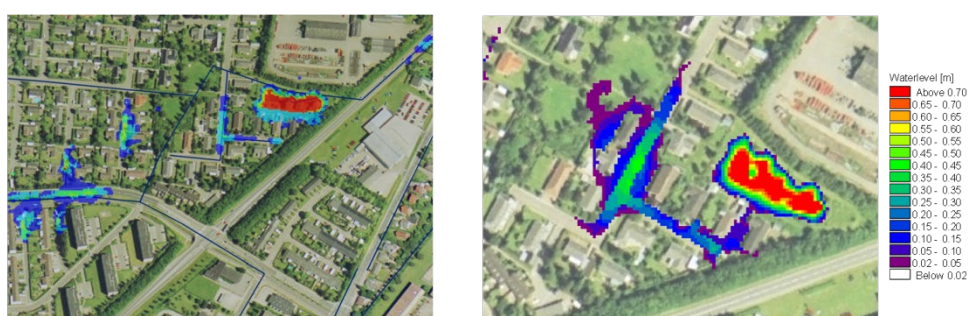
Den traditionelle 1D hydrodynamiske afløbsmodel giver et godt billede af, hvor vand i første omgang vil stuve op på terræn, men den manglende beskrivelse af strømningerne på overfladen og interaktionen mellem overflade og afløbssystem mangler. Det er derfor kun muligt at give en sikker bestemmelse af hvor intensive og hvor volumenrige regn, afløbssystemet netop har kapacitet til. Ved vand på terræn bliver resultater fra modellen upålidelige.

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



Figur 4.24 Sammenligning mellem resultater af hulkort (grå), hydraulisk overfladeberegning (rød) og kombineret hydrodynamisk afløbsmodel og overflademodel 1D-1D (gul). Blå er sammenfald mellem hydraulisk overfladeberegning og kombineret hydrodynamisk afløbsmodel og overflademodel.

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



ID-1D model

ID-2D model

Figur 4.25 Resultater fra modeller med henholdsvis 1D og 2D overfladebeskrivelser.

Fordelen ved at benytte en 2-dimensional model på hele overfladen er, at der kræves mindre forarbejde med overfladedata, da de allerede ligger på 2-dimensionalt format. Til gengæld kan der i nogen grad være udfordringer i forbindelse med definition af et hensigtsmæssigt grid, der giver en god tilnærmelse af hastigheder på overfladen. Dertil kommer bearbejdning af udvekslingspunkter og justering af åbne strukturer i afløbsmodellen. I de tilfælde, hvor der skal beregnes på mange scenarier eller store områder, er det også væsentligt at være opmærksom på at selve beregningstiden kan være stor.

Ved 1-dimensional beskrivelse af overfladen sænkes beregningstiden væsentligt. Til gengæld kræver generering af 1D overflade og formidlingen af resultater en del mere end ved en 2-dimensional overflade. Routning mellem 1D bassinelementer giver ikke korrekt beskrivelse af hastigheder, så disse bør beskrives som åbne kanaler, hvilket komplicerer generering af overfladen yderligere.

Oftentimes benyttes en kombination mellem 1- og 2-dimensional beskrivelse af overfladen, hvor specielt vandløb og væsentlige strømningsveje beskrives i den 1-dimensionale model, som typisk er rørmodellen og de resterende dele af overfladen beskrives af den 2-dimensionale model. Herved undgås en del udfordringer med hensyn til gridgenerering, på bekostning af det ekstra arbejde der skal lægges i identificering af strømningsveje og tilhørende justering af DTM-data.

I appendiks G, findes et eksempel fra Helsingør Centrum, hvor der er udført integreret afløbs- og overfladeberegninger med henblik på skadesanalyse. Alle beregninger er

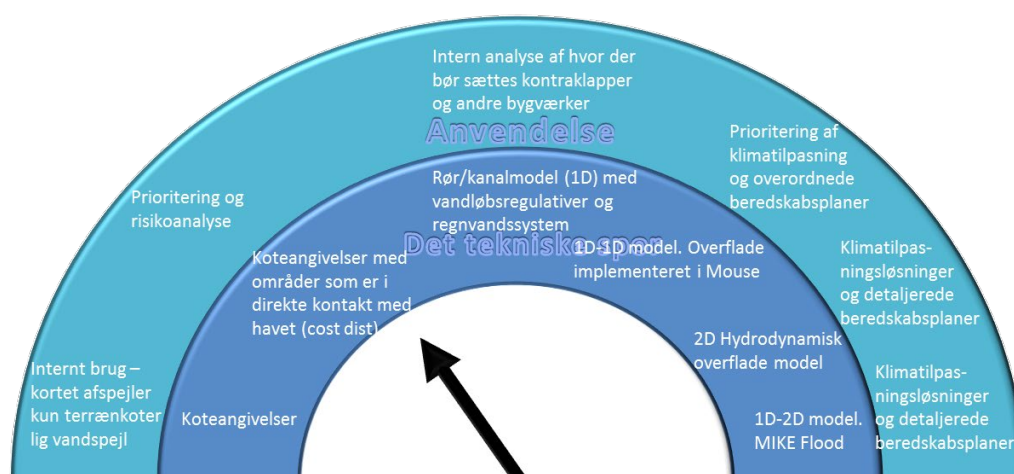
udelukkende beregnet med 1-dimensional model. I denne case er det primært hastigheder og dybder for strømninger på veje, der er af interesse.

I appendiks F er vist en case fra Carl Jacobsens Vej i Valby. Ved Carl Jacobsens Vej er beregninger først gennemført med 1-dimensional beskrivelse af skybrudselementer på overfladen, dernæst udvidet med 2-dimensional beskrivelse af det omkringliggende terræn. Konklusionen er, at der beregnes store forskelle i hastigheder og vandføringer på vejene. Det kan f.eks. have betydning ved kapacitetsvurdering af vejprofiler eller hvis vand på overfladen skal ledes gennem rør under en forhindring på overfladen.

5. Oversvømmelse fra hav

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

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



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

5.1

Beregningsmetoder

- Metoderne til analyse af risikoen for oversvømmelse fra hav inkluderer: "Vandstandskoteangivelser": GIS-analyse, der kun anvender en digital terrænmodel til at identificere oversvømmede arealer. Metoden benytter vandstand i havet samt terrænkoter. Metoden viser kun, hvor der potentielt kan komme vand på terrænen, hvis der var forbindelse til kysten
- "Vandstandskoteangivelser over områder som er i forbindelse til havet" (i GIS kaldet "Cost-distance"): GIS-analyser, hvor digers og barrierers indflydelse på oversvømmelsen tages med i betragtningen. Ved denne analyse bør der foreligge en kvalitetssikret højdemodel
- 1D - MIKE URBAN beregning, hvor kun ledninger og eventuelle vandløb simuleres ved at øge havvandstanden. Beregningen viser potentielle udbredelser af oversvømmelser fra havet via regnvandssystemet og eventuelle vandløb, dog kun punktvis
- 1D-1D fordybninger i terrænmodellen implementeres i Mike Urban-modellen, som er opbygget med det komplette afstrømningssystem (vandløb og regnvand-/fælles-system). Vandet fra havet routes via afstrømningssystem og terrænen via Mike Urban-bassiner og ledninger. Modellen giver ikke strømhastigheder på terrænen. En detaljeret beskrivelse af metoden findes i afsnit 5.1.4.

- 2D Hydrodynamisk modellering af strømningen på terræn: En 2D hydrodynamisk model anvendes til at simulere vandets strømning fra hav og ind over land. Routingen af vand følger terrænets koter
- 1D-2D Hydrodynamisk modellering af strømningen på terræn kombineret med en hydrodynamisk model af afløbssystemet. Metoden anvender en 2D hydrodynamisk model til at simulere vandets strømning fra hav og ind over land. Routingen af vand følger terrænets koter. Samtidig beregnes vandets strømning i en model af afløbssystemet og lavtliggende områder. Det kan beregnes om områder, som står i forbindelse med åbninger i afløbssystemet, kan blive oversvømmede

5.1.1

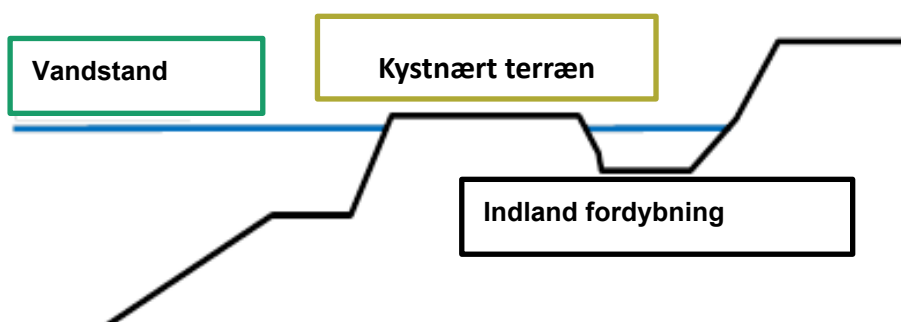
Vandstandskoteangivelser

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

Dvs. oversvømmelseskortet findes ved, at den lokale vanddybde på terræn beregnes som forskellen mellem vandstanden i havet og den lokale terrænkote. Dvs. alle områder i terrænmodellen, som ligger lavere end vandstanden i havet, vil blive oversvømmede - også selvom de ikke står i forbindelse med havet. Det gøres i praksis ved at sætte signaturen for vandstand til blå ind til den kote, der ønskes visualiseret (f.eks. 2 m vandstand).

Resultater fra denne metode er naturligvis behæftet med stor usikkerhed idet det i metoden antages, at også områder, der ikke har direkte kontakt med havet, oversvømmes. Vil man anvende en metode, hvor kun områder, der har direkte kontakt til havet (via terrænet) medtages i analysen, kan man f.eks. anvende værktøjet "Cost-Distance" i ESRI's program-pakke.

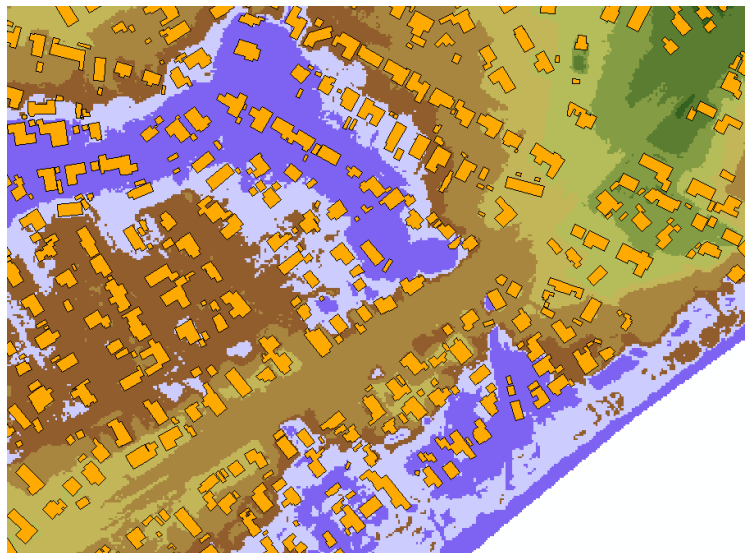
Den beskrevne metode er mest anvendelig for kystnære områder med stor hældning på terræn, således at kun områder tæt på kysten oversvømmes. Begrænsninger i metoden er, at fysiske processer ignoreres, f.eks. tiden det tager vandet at strømme på terræn. Metoden giver det maksimale oversvømmelseskort og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



Figur 5.2 Illustration af kotekortmetoden ved anvendelse af GIS-analyser.

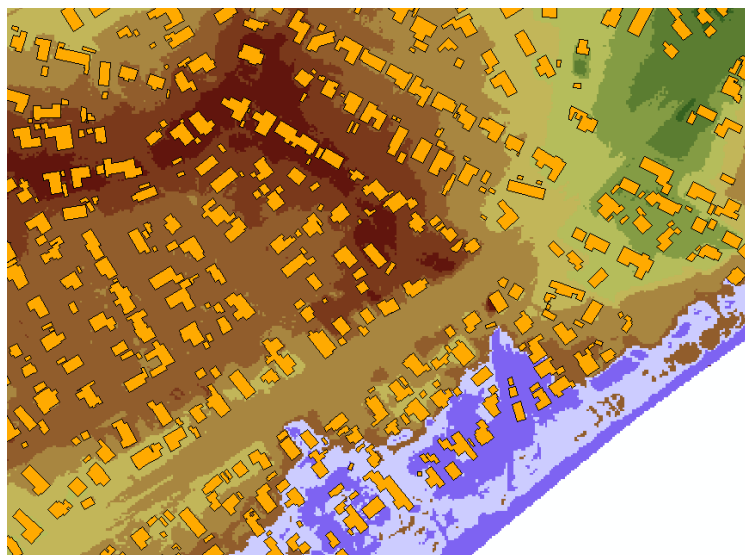
I det følgende eksempel er der vist et oversvømmelseskort for en maksimal vandstand i havet på 2,24 m.

Den digitale terrænmodel af området har en gridstørrelse på 1,6 x 1,6 m. Den beregnede oversvømmelse er vist i figur 5.3. Kortet viser oversvømmelser langs kysten og i de bagved liggende lavere områder.



Figur 5.3 Oversvømmelseskort baseret på kotekortmetoden – en ren GIS-analyse.

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



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

5.1.2

Vandstandskoteangivelser som er i forbindelse med havet

Det er mere relevant at analysere, hvilke områder der er direkte i kontakt med havet og derfor oversvømmes. Cost Distance funktionen analyserer ved definition af en kilde (altså hvorfra vandet kommer), hvilke områder der vil blive påvirket direkte fra kilden (havet) ved brug af oplysningerne i højdemodellen (DTM). På dette trin skal man være særligt

opmærksom på, at vand kun routes ind i områder, hvor DTM'en definerer, at der er hul fra hav til land.

Begrænsninger i den eksisterende DTM definition er f.eks. hvor:

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

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

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

Implementeres DTM'en, med hensyntagen til punkt 1-4, er Cost Distance metoden et stærkt værktøj til at vise worst case oversvømmelse af byer i forbindelse med høj vandstand i havet. Dynamikken i systemet (herunder energitab i vandløb) og varigheden af vandstanden er fortsat ikke med, men kan vurderes ved at analysere varighederne af stormflod og skønne betydningen af denne ved brug af en gennemsnitlig vandhastighed (f.eks. 0,25 m/s). Hvis f.eks. distancen fra havet til et lavtliggende område er lille, får varigheden mindre betydning, end hvis distancen er lang.

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

5.1.3

1D-afstrømningssystemer

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

5.1.4 1D-1D-kombineret hydrodynamisk model

Ved brug af metoden som er beskrevet i afsnit 5.1, kan der gennemføres beregninger af oversvømmelsesrisikoen fra havet, ved at sætte havvandstanden på som udløbsrandbetingelse.

5.1.5 2D-Hydrodynamisk beregning af terrænoversvømmelser

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

5.1.6 Input til den hydrodynamiske beregning af oversvømmelser

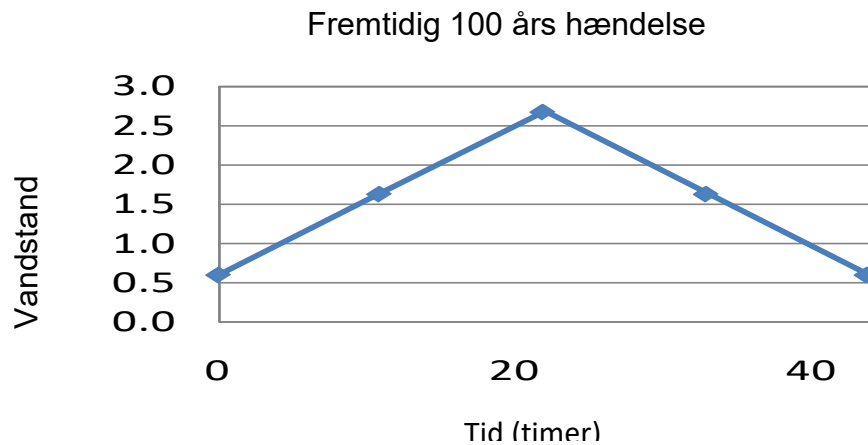
Beskrivelsen af strømmingen på terræn bygger på input i form af en digital terrænmodel, som beskriver topografien i modelområdet. Havspejlet i havet er randbetingelsen, som definerer variationen af vandstanden og den følgende potentielle oversvømmelse.

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



Figur 5.5 Modelområde med grænse for oversvømmelse ved den forventede maksimale vandstand på 3,0 m.

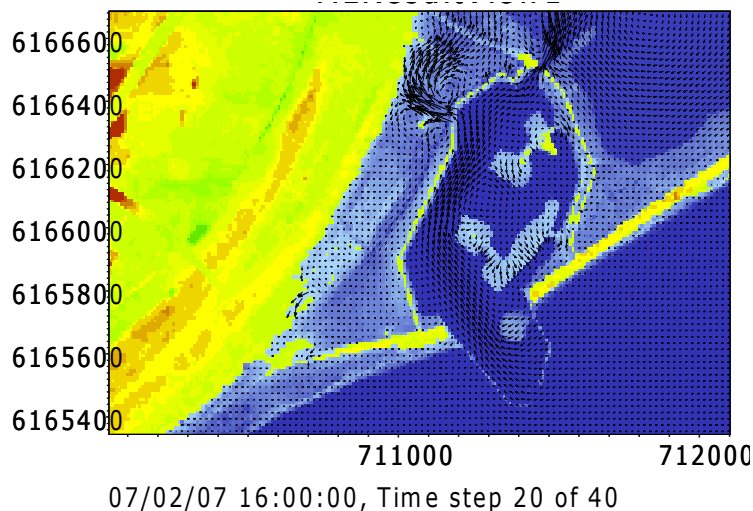
Det er muligt at beregne effekten i form af oversvømmelser fra tidsvarierende vandstande i havet.



Figur 5.6 Eksempel på en tidsvarierende vandstand i havet – som input til en oversvømmelsesberegning.

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

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

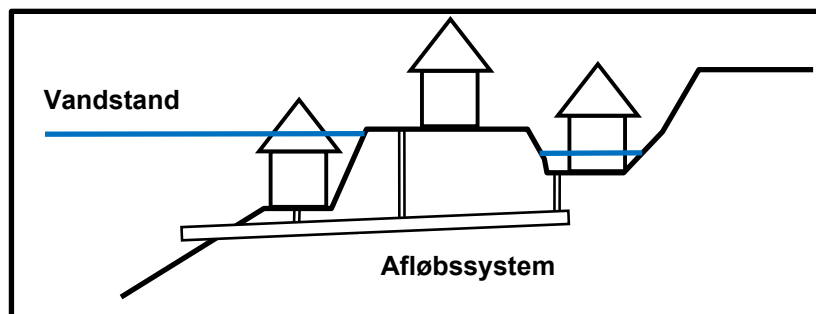


Figur 5.7 Eksempel på modelresultater, som viser vanddybder og strømningshastigheder.

5.1.7

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

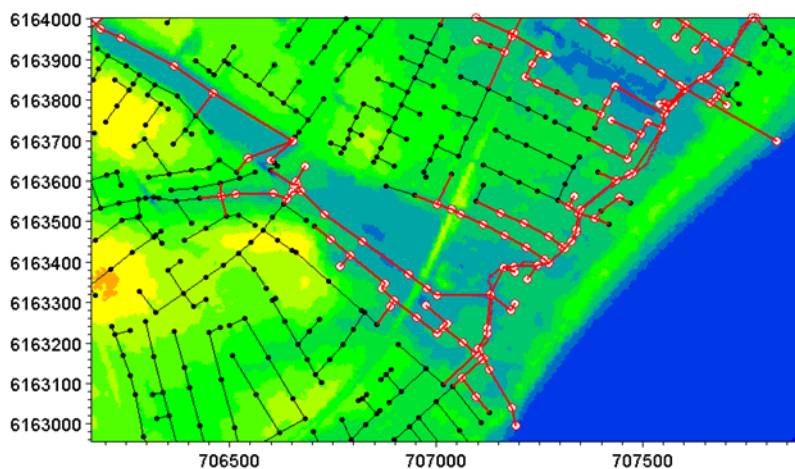
En model, som beskriver oversvømmelser fra hav, kan kombineres med en model af afløbssystemet. Denne kombination gør det muligt at beskrive vandstrømmingen på terræn samtidig med en beskrivelse af havvandets strømning ind i baglandet gennem afløbssystemet. Dvs. en sammenkobling af en afløbsmodel (f.eks.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



Figur 5.8 Illustration af elementerne i en beregning med en afløbsmodel i kombination med en model, som beskriver oversvømmelse fra hav.

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

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



Figur 5.9 Kun udvalgte områder af afløbsmodellen (vist med rødt) er koblet til 2D strømningssmodellen. Dette sker for at optimere beregningstiden.

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

Resultater

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

6. Klimatilpasning af byområder

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

I 2017 har Spildevandskomiteen udarbejdet Skrift 31: Metoder til bestemmelse af serviceniveau for regnvand på terræn. Skriftet beskriver hvilken "samfundsøkonomisk" metode, der kan anvendes til at finde optimalt serviceniveau for vand på terræn. I dette kapitel er denne metode uddybet og der er givet andre eksempler på, hvordan samfundsøkonomiske analyser (her kaldet cost-benefit-analyser) kan anvendes til valg af afløbsstrategi, prioritering af klimatilpasning og valg af afløbsløsninger.

6.1 Risikoanalyse

6.1.1 Skadesvurdering ved hjælp af risikoanalyse

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

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

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

- direkte skader – typisk materielle skader forårsaget af vand
- 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, der udsættes for oversvømmelser og langsommere økonomisk vækst

En stor fordel ved en risikoanalyse er, at alle årsager til oversvømmelser bliver sammenstillet og vægtet. Herved kan det undgås, at der ofres uforholdsmæssigt meget på nogle tiltag, mens andre, der måske er mere vigtige, forbigås. F.eks. kan stop af en pumpestation på grund af tilstopning eller strømsvigt under en moderat regn give lige så store oversvømmelser som en ekstremregn. En metode til at finde omkostningerne relateret til oversvømmelser i bymæssige bebyggelser er at indsamle information om dokumenterede oversvømmelser fra forsikringsselskaber, som det f.eks. er gjort i Norge (König et al., 2002), Danmark (DANVA, 2005) eller Brasilien (Nascimento et al., 2005). En international anerkendt teknik til at opgøre skader er "Flood Damage Curves", der beskriver skadens størrelse som funktion af arealanvendelse og vandstand, jf. Speight, 2006 og Nascimento et al., 2005. P.t. eksisterer der ikke "Flood Damage Curves" for områder i Danmark.

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

- at det i videst mulig udstrækning undgås, at befolkningen bringes i kontakt med en blanding af spildevand og regnvand på terræn, som følge af overfyldte fælles afløbssystemer
- at vitale samfundsfunktioner, f.eks. elforsyning, vandforsyning, varmforsyning, vitale kommunikationsknudepunkter og adgangsveje til hospitaler ikke sættes ud af funktion på grund af vand på terræn
- at antallet af berørte kældre og bygninger minimeres
- at antallet af oversvømmede el-skabe og andre installationer minimeres
- at trafikgener minimeres

Bygninger er, som beskrevet, et centralt element når man skal opgøre skader i byen som følge af oversvømmelser. Erfaringer fra Danmark viser, at op mod 80-90% af alle skader er skader på bygninger (se f.eks. figur 13 i "Methodological framework analytical tool and database for the assessment of climate change impacts adaptation and vulnerability in Denmark (DTU dec. 2012)). Forsikring og Pension har gennem de sidste 15 år indsamlet bygningsskader til kommunerne, som de kunne bruge i skadeskortlægningen for bygninger.

Mange har anvendt disse data til at beregne en kvadratmeterpris på bygningsskader. Bl.a. har HOFOR fået udarbejdet en analyse for København, og der er udarbejdet en analyse for Greve baseret på konkret viden om vandstand i en oversvømmet bydel i 2007 og skadesdata. I denne blev følgende sammenhænge mellem vandstand og skader fundet:

Vandstand	Opgjort mio. kr.	omkostning	Bygningsskade kr./m ²	Bemærkning
> 20 cm	0,5		2500	Bygning
> 40 cm	1,25		6500	Bygning
> 0 cm	0,1		500	kun for kældre

6.1.2

Risikoanalysen

Definition af risikobegrebet

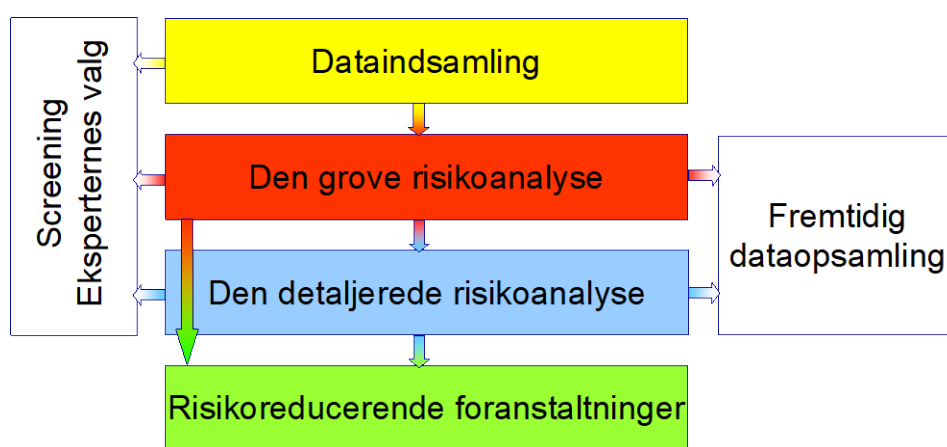
Risiko er kombinationen af sandsynligheden for en uønsket hændelse (f.eks. driftsstop af renseanlæg/pumpestation, kælderoversvømmelser, udledning af farlige stoffer, fejl i styring/SRO) og omfang af konsekvenserne (f.eks. skade på anlæg, personskade, lugt, trafikale forsinkelser, fiskedød) samt alvoren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

Matematisk udtryk: risiko=sandsynlighed gange konsekvens.

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

1. hvad kan gå galt?
2. hvor sandsynligt er det og hvilke konsekvenser medfører det?
3. hvorledes kan vi forbedre tilstanden?
4. hvad er den økonomiske udgift og den økonomiske, miljømæssige, PR- og driftsmæssige gevinst ved forbedringen?
5. hvilke aktiviteter bør igangsættes?
6. hvem beslutter?
7. hvornår sker der noget?

Fremgangsmåden i en risikoanalyse er illustreret i figur 6.1.



Figur 6.1 Forløbet ved en risikoanalyse.

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

Såfremt det vælges at gå videre med den detaljerede risikoanalyse, kan der ud fra en kvantificering opstilles prioriterede risikoreducerende foranstaltninger.

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

- o en frekvensmatrice
- o en konsekvensmatrice
- o en risikomatrice

Frekvensmatricen består af syv intervaller benævnt F1 til F7. F1 er en hændelse, der statistisk indtræffer sjældnere end 1 gang hvert 10.000 år. F7 er en hændelse, der statistisk indtræffer 10 til 100 gange om året. Frekvensintervallerne er opbygget efter en logaritmisk skala. På grund af den logaritmiske skala er det ikke vigtigt at kende frekvenserne for de uønskede hændelser nøjagtigt. Det er størrelsesordenen af en given hændelse, der skal benyttes. Frekvensmatricen er vist på figur 6.2.

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

Figur 6.2 Den opbyggede frekvensmatrice.

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

Den økonomiske skala anvendt i konsekvensmatricen er ikke sat arbitrær, men hvert enkelt tal er vurderet ud fra tilgængelige kilder og erfaringstal. Konsekvensmatricen kan beskrive forskellige konsekvensklasser gående fra ingen/negligerbart konsekvens til katastrofal konsekvens, der beskrives kvalitativt såvel som kvantitativt.

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

RISIKOMATRICE		Konsekvenser						
		Ingen / negligerbart	Ubetydelig	Marginal	Alvorlig	Kritisk	Katastrofal	
Klassificering af farer			0	1	2	3	4	5
Frekvensklasser antal per år			0	1	2	3	4	5
10 - 100	7	7	8	9	10	11	12	
1 - 10	6	6	7	8	9	10	11	
0,1 - 1	5	5	6	7	8	9	10	
0,01 - 0,1	4	4	5	6	7	8	9	
0,001 - 0,01	3	3	4	5	6	7	8	
0,0001 - 0,001	2	2	3	4	5	6	7	
0,00001 - 0,0001	1	1	2	3	4	5	6	

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

Figur 6.3 Risikomatrice. I matricen er eksempler på udvalgte lokaliteter i kloaksystemet placeret i forhold til de vurderede frekvenser og konsekvenser.

I risikomatricen benyttes fire farver, som angiver, hvorvidt det beregnede risikoniveau for en given uønsket hændelse er tolerabel eller ej. Et risikoniveau over 6 eller 7 skal medføre implementering af tiltag, der kan reducere risikoniveauet. Jf. figur 6.3 bør der altså identificeres risikoreducerende foranstaltninger for de to hændelser i det ikke-tolerable område (angivet ved cirkel nr. 4 og cirkel nr. 13 i figur 6.3).

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

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

6.1.3

Risikoanalyse for oversvømmelser fra ekstrem regn

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

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

- hvis en park eller boldbane oversvømmes for en given gentagelsesperiode, er 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?
- opgørelse af skader

Priser på skader varierer en del afhængigt af, hvad der er skadet, om der allerede er foretaget afskrivning af det skadede, genanskaffelsesværdi m.m. Hertil kommer, at udgifter afhænger af, om der er tale om regnvand eller spildevand og hvor i landet området er beliggende. Det er derfor meget svært at sige noget generelt om skaders omkostning.

Dvs. der kan ikke umiddelbart opstilles en generel liste, som præcist beskriver omkostninger for oversvømmelse af el-skabe, kældre, huse m.m. Det anbefales derfor først at opgøre antallet af skader fordelt på typer og derefter at prissætte skaderne.

For at opgøre tabet ved oversvømmelser er det hensigtsmæssigt at have en geografisk oversigt over, hvilke værdier der er beliggende, hvor der kan ske oversvømmelser. Typisk findes der i kommunerne opgørelser over, hvor bygningerne i kommunen er placeret, og i BBR er der forskellige detailoplysninger, f.eks. om en bygning har kælder.

Sammenligningsgrundlaget etableres f.eks. ved, at bygningstemaet og BBR-oplysningerne kombineres. Offentlige bygninger som f.eks. institutioner vil ofte have en højere værdi end et parcelhus, hvorfor det kan være relevant at have specificeret, hvilke bygninger der er institutioner, det kan være relevant at have større detaljeringsgrad, så det vides, om der er tale om en børnehave eller et plejehjem.

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

Værdisætning

Følgende parametre kan anvendes ved værdisætning af oversvømmelserne:

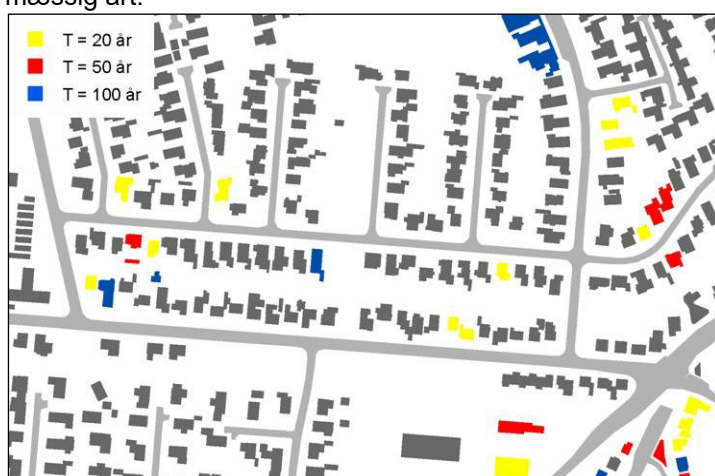
- boliger
- vuggestuer
- børnehaver
- aldersintegrerede institutioner
- plejehjem og beskyttede boliger
- vandforsyning – oversvømmelse af selve vandværkets bygninger, eventuelt med forurening af rent vand til følge
- vandboringer, hvor der kan ske forurening af boringen
- tankstationer hvor der kan være risiko for, at vandet kan løbe ned i tankene, så benzinen løber ud (servicestationer med kiosksalg, autoservice i øvrigt)
- områder med oplag af olie og farligt affald tæt på recipienter
- virksomheder med olie- og benzinudskillere koblet til spildevandssystemet og regnvandssystemet. Her vil olie/benzinen enten flyde op inde i en bygning eller udenfor. (Der vil løbe ca. 50-100 l ud fra hver udskiller)
- Specielt for spildevandssystemer:
 - forebygge, at pumpestationer med spildevand løber over – det kan i nogle tilfælde være aktuelt i separerede systemer
 - forebygge, at svømmehaller ikke bliver forurenede med spildevand.

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

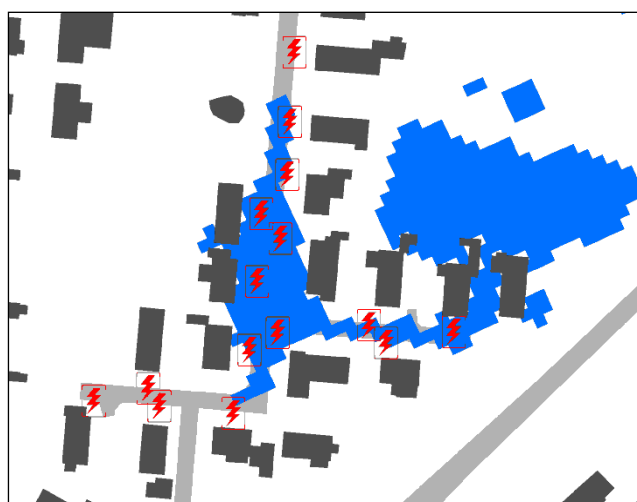
Figur 6.4 viser et tema over, hvilke huse der oversvømmes ved hvilke gentagelsesperioder. GIS-laget for beregnede oversvømmelser er kædet sammen med GIS-laget for huse under hensyntagen til sokkelniveau.

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

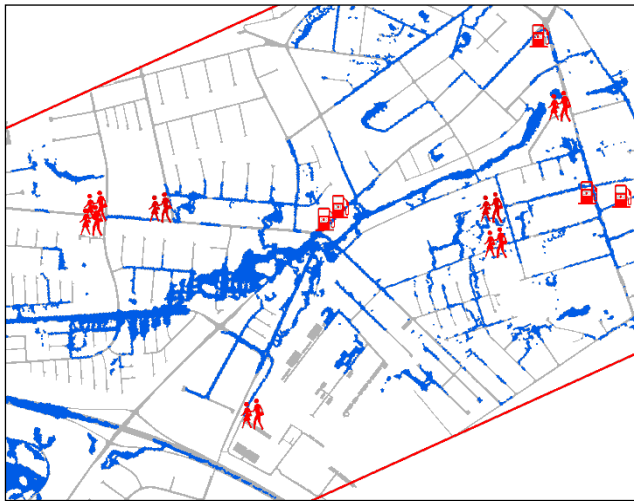
Figur 6.6 og figur 6.7 viser særlige bygninger plottet sammen med henholdsvis oversvømmelsernes udbredelse og dybde. I eksemplet er skoler, børnehaver og servicestationer vist. Denne type GIS-illustration viser, hvor der kan opstå problemer af sundheds- eller miljømæssig art.



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



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



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



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

For værdisætning vedrørende en ny vejkasse skal bemærkes:

- at den varierer efter tykkelse mv.
- dyrest er asfaltbærelagene, der ligger ovenpå og som det alt andet lige vil være nødvendigt at fjerne og deponere forinden etablering af ny vejkasse – efterfulgt af en ny asfaltbelægning
- i dele af 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

I det følgende afsnit 6.2 beskrives en metode til at gennemføre en cost-benefit beregning.

6.2

Metodebeskrivelse – beregning af cost-benefit

I dette afsnit beskrives metoden til beregning af skadesreduktion ud fra de beregnede skader som funktion af gentagelsesperioderne og løsningsomkostninger, som indgår i en cost-benefitanalyse.

Som beskrevet i afsnit 4 og 5 skal der udarbejdes et oversvømmelseskort, der viser hvor meget vand på terræn, der er risiko for i statussituationen i startåret og slutåret (som eksempel er der i dette afsnit anvendt 2020 og 2120 dvs. med en planlægningshorisont på 100 år) og for de klima- og skybrudstilpassede situationer (til forskellige gentagelsesperioder).

Skadesreduktion og omkostninger ved tilpasning til forskellige niveauer findes for afstrømningssystemet efter følgende proces:

1. beregning af skadesprofil
2. beregning af gennemsnitlig årlige skader under forskellige forhold (EAD)
3. beregning af skadesreduktion
4. beregning af løsningsomkostninger
5. når løsningsomkostninger, skader og restskader er beregnet, kan de bruges til at:
 - afgøre om tilpasning til forskellige niveauer kan betale sig at gennemføre.
 - afgøre, hvilket serviceniveau for det aktuelle område som er optimalt.
 - sammenligne effektiviteten af forskellige afløbsstrategier og løsninger ved CBR.
 - sammenligne og prioritere oplande/områder ved en CBR.

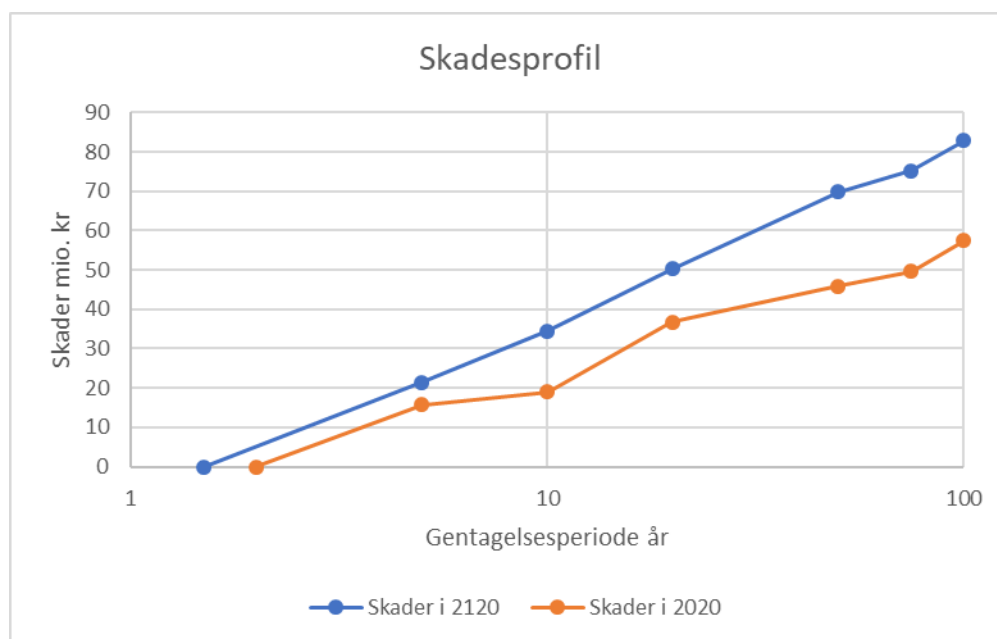
I de følgende afsnit er det beskrevet, hvordan disse kan beregnes:

6.2.1

Beregning af skadesprofil

For hver gentagelsesperiode opgøres den potentielle maksimale skade og sandsynligheden ved brug af oversvømmelseskortene (se afsnit 4.1) og de valgte skadetyper (se afsnit 6.2). For alle gentagelsesperioder opsummeres skaderne nu og i fremtiden (som illustreret på figur 6.10) og danner "skadesprofil".

Når man skal opgøre skader på f.eks. bygninger anvendes oversvømmelseskort, som er beregnet på forskellige niveauer (se afsnit 4 og 5). Bygnings- og kælderskaderne kan opgøres i GIS baseret på matrikel-, bygnings- og kældertemaer i kombination med oversvømmelseskortene. Der er mange forskellige metoder til beregning af om f.eks. en bygning eller en vej er oversvømmet. F.eks. bør det overvejes, hvor stor en del af bygningen som skal være oversvømmet, for at hele bygningens areal medtages i skadesberegningen, kritisk vandstand eller vandhastigheden på vejen skal besluttes og mange andre forhold. I Spildevandskomiteen pågår et arbejde, der vil forsøge at udarbejde retningslinjer for hvordan man skal regne på bl.a. skader, sådan at arbejde i Danmark med Skrift 31 ensrettes.



Figur 6.10 Illustration af skadesprofilen: Skadesomkostningen som funktion af gentagelsesperioden

Som illustrationen antyder, så er der ofte en loglineær sammenhæng mellem gentagelsesperioden og skaderne i byen.

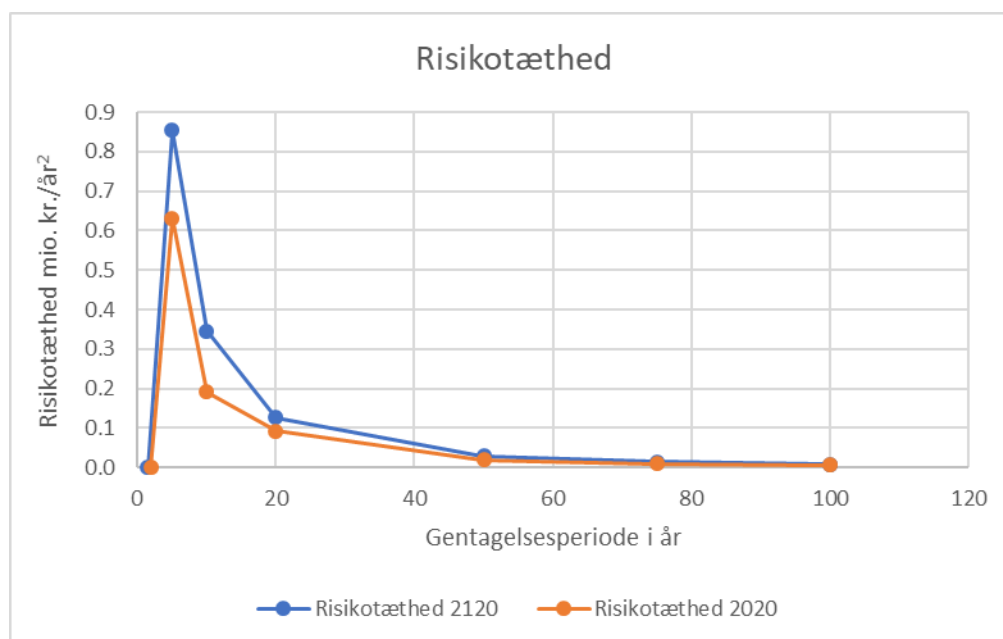
6.2.2

Beregning af gennemsnitlig årlig skade (EAD)

For at beregne den gennemsnitlige årlige skade (Estimated Annual Damage EAD) nu og i fremtiden og med og uden tilpasning, omregnes skadesprofilerne til risikotætheden.

Risikotætheden kombinerer information om skadens størrelse med sandsynligheden for at skaden indtræffer. EAD (kr./år) findes ved at integrere under risikotæthedskurven. Se illustrationen på figur 6.11.

Ofte er der ikke gennemført beregninger af præcist ved hvilken gentagelsesperiode, der lige præcis opstår skader – dvs. punktet hvor kurven skærer X-aksen er ikke kendt. I det tilfælde kan nulpunktet i nogle tilfælde findes ved at ekstrapolere tendenslinjen for den loglineære kurve til nul. Det kræver naturligvis, at man kan overbevise om at der er denne loglineære tendens ud fra skadesdata.



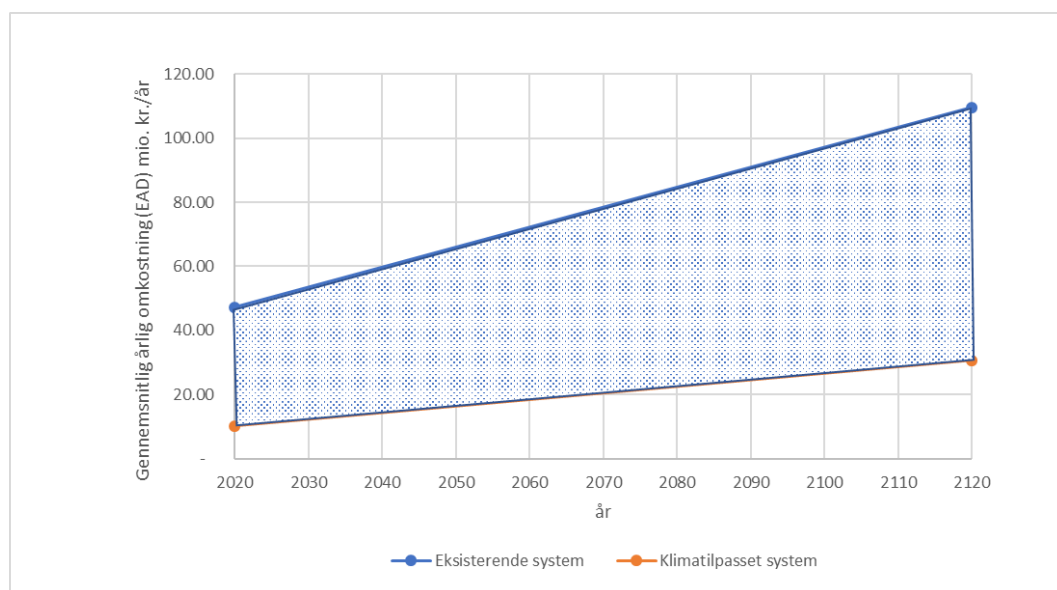
Figur 6.11 Illustration af risikotætheden, som kombinerer information om skadens størrelse med sandsynligheden for at skaden indtræffer. Den årlige skadesrisiko (EAD kr./år), findes ved at integrere under kurven.

6.2.3

Beregning af skadesreduktion

Den gennemsnitlige årlige skade beregnes for hver af de ønskede situationer: det eksisterende system nu og i fremtiden og for et tilpasset system nu og i fremtiden (2020 og 2120). Det kan f.eks. antages, at der er en lineær udvikling af klimaændringerne vedr. ekstrem nedbør i planperioden.

Differencen mellem skaderne beregnet for eksisterende forhold og for klimatilpassede forhold over 100 år diskonteret, er den gevinst der kan opnås ved klimatilpasning i form af reducerede skader. Figur 6.12 illustrerer beregningen af skadesreduktionen.



Figur 6.12 Illustration af beregning af skadesreduktion = skraveringen viser gevinsten i form af undgåede oversvømmelseskader.

Skadesreduktionen kan i nogle tilfælde beregnes ud fra en tænkt "straksinvestering". I virkeligheden kan der ikke gennemføres en fuld klimatilpasning af en hel kommune indenfor få år, hvilket betyder, at der er en fejl i form af en skadesreduktion i starten af perioden, som ikke burde tælles med. Fejlen er lille, hvis investeringen i kommunen forløber over en kort periode, men erfaring viser, at klimatilpasning af hele kommuner ikke kan/bør foretages over få år, da der hverken er midler eller ressourcer til at gøre det.

Derudover viser analyser at effekten af en hurtig investering ikke balanceres af bygnings-skadesreduktionen. Hvis man derimod ser på oplandsniveau, er straksinvesteringen en meget mere rimelig antagelse, idet oplandene må forventes at blive klimatilpasset over relativt få år. Dertil kommer, at skadesberegningen, når den anvendes til prioritering og sammenligning mellem afløbsstrategier og løsningsstyper, er relativ.

Når der skal gennemføres en mere detaljeret analyse f.eks. til prioritering af oplandene og anlægstakt, kan den nødvendige/ønskede investeringstakt for hele kommunen inddrages.

Anvendelse af "straksinvestering" betyder altså, at den beregnede skadesreduktion er for stor, men også at investeringerne/omkostningerne til tilpasning er for store.

6.2.4

Beregning af løsningsomkostninger

Klimatilpasningsløsninger kan findes ved brug af den numeriske hydrauliske model, hvor ledninger, bassiner, pumper eller alternative løsninger som grøfter og render justeres til at afløbssystemet giver maksimal opstuvning til T= 5 år (for regnvandsledninger) og 10 år (for fællesledninger), så de lever op til Skrift 27. For skybrudsløsninger beregnes løsninger for de større gentagelsesperioder og prisen for løsningerne beregnes.

Løsninger, der skal til for at afløbssystemerne er klimatilpassede, kan findes på mange forskellige niveauer afhængigt af hvilket beslutningsniveau de skal bruges til. Til

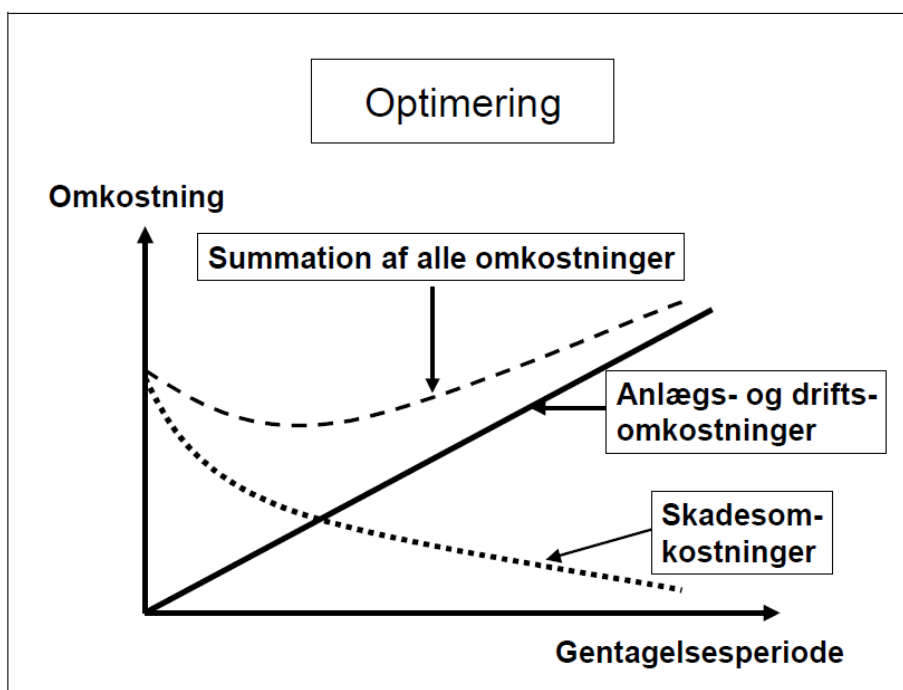
planlægning hvor der skal findes det mest optimale serviceniveau, kan løsningerne findes på et mindre detaljeret grundlag.

Omkostningerne til klimatilpasningen kan f.eks. beregnes ved brug af enhedspriser fra Afløbsteknikken eller fra PULS. Priser skal fremskrives til nutidspriser i henhold til finansministeriets anbefalinger (som f.eks. var 6% fra 2011 til 2018).

Restskaderne efter tilpasningerne af systemerne beregnes med nye oversvømmelseskort for de forskellige tilpasninger og gentagelsesperioder.

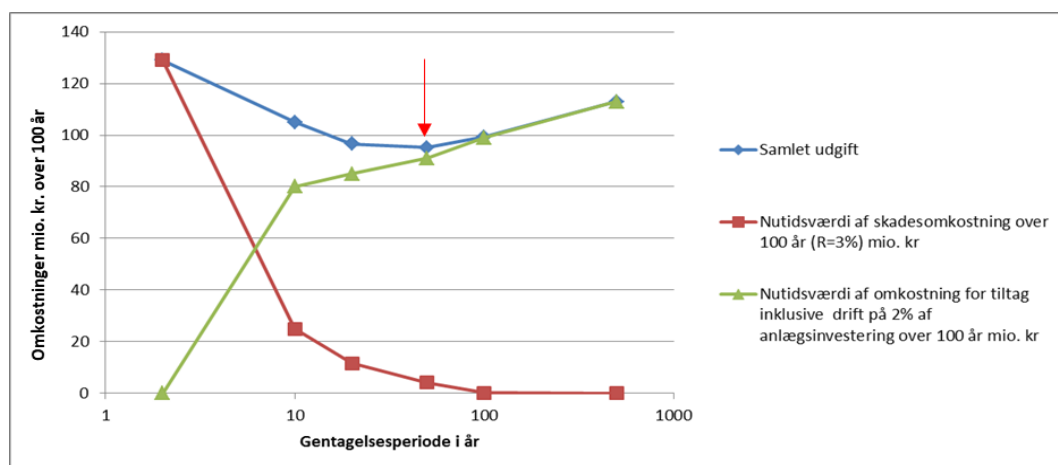
6.2.5 Optimering for at finde skybrudsniveau

Figur 6.13 illustrerer hvordan det økonomisk optimale serviceniveau kan findes, i det punkt hvor den samlede omkostning er mindst.



Figur 6.13 Økonomisk optimering af forholdet mellem anlægsomkostninger og skadeomkostninger (figur fra SVK Skrift 27)

Et eksempel på en sådan økonomisk optimering er vist i figur 6.14. Her er beregningerne udført i Helsingør C og viser at det i dette tilfælde er økonomisk rentabelt at sikre imod skader til et højere niveau end gentagelsesperioder på 10 år, optimeringen viser at niveauet er ca. 50 år. Se appendiks G for yderligere information vedr. de udførte beregninger.



Figur 6.14 Nutidsværdi af udgifter som funktion af sikringsniveauet. Den røde pil indikerer det mest optimale tilpasningsniveau

6.3

Prioritering af indsatsen imod oversvømmelser og klimatilpasning

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

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

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

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

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

6.3.1

Prioritering af klimatilpasning af afløbssystemerne i områder/oplande ved brug af cost-benefit analyse

Skadesstørrelsen for et opland afhænger dels af risikoen for oversvømmelser, dels af oplandets størrelse. Et stort opland vil sandsynligvis have en større samlet skade end et mindre. Derfor kan det være hensigtsmæssigt at finde et andet mål at prioritere efter. En måde er at se på hvor man får mest klimatilpasning for pengene. Dette mål anvendes her.

For hvert opland beregnes der en "cost-benefit-ratio" (CBR_i hvor i angiver oplandet):

$$CBR_i = \frac{\text{skadesreduktion}}{\text{investeringsomkostninger}}$$

CBR betyder at hvis:

- $CBR_i > 1$ er der en gevinst ved at klimatilpasse og
- $CBR_i < 1$ er der ikke en gevinst.

Der kan regnes på skadesreduktion og investeringsomkostninger inklusive drift og reinvesteringer over en periode på 100 år, da det er den forventede levetid på de bygninger som rammes og da det er tæt på samme størrelsesorden, som levetiderne på de anlæg som skal etableres. Samtlige skadesreduktioner og anlægs- og driftsinvesteringer skal beregnes som nutidsværdier.

Når der skal prioriteres klimatilpasning af afløbssystemerne, er der mange forskellige aspekter, som man kan vælge at inddrage i sine overvejelser. Der kan beregnes effekten af anlægsinvesteringer (som beskrevet tidligere), men der er mange andre forhold, som vil spille ind på klimatilpasningsrækkefølgen:

- behov for reovering
- miljøforhold, f.eks. reduktion af overløb til recipienter
- byplanlægning og investeringer i byens overflader, f.eks. udskiftning af belægninger eller byggemodninger
- spildevandsselskabets øvrige aktiviteter f.eks.: opsporing af uvedkommende vand, reovering af renseanlæg osv.
- risiko for overvømmelser pga. stormfloder og koordinering med kystsikringstiltag.

6.3.2

Prioritering af Greve Kommune byområder

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

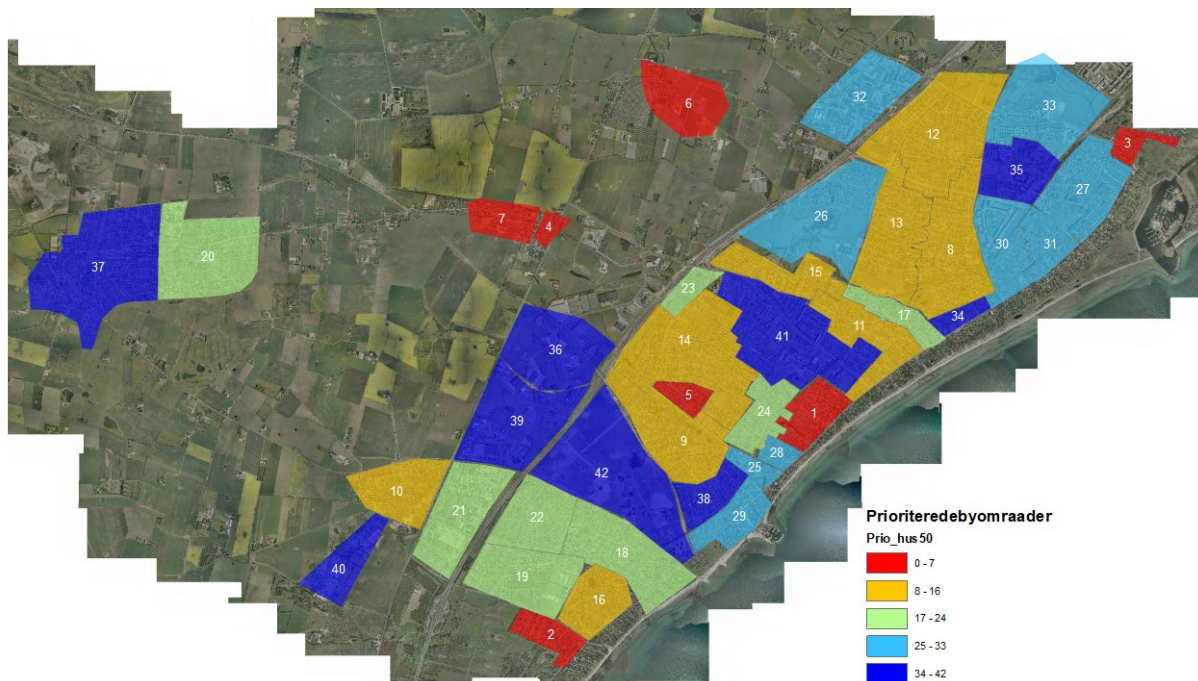
Til prioriteringen anvendes:

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

6.3.3

Beskrivelse af metoden for prioriteringen i Greve

Byområderne rangordnes ved hjælp af erfaringerne fra oversvømmelsen 2007.



Figur 6.15 Prioriteringen af byområderne. Område nr. 1 er det første område, der klimatilpasses. Derefter kommer nr. 2, osv.

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

6.3.4

Kvalitetssikring af prioriteringen

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

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

En tilsvarende prioritering, hvor antallet af berørte ejendomme undersøges, er gennemført ved hjælp af 1D-1D overfladeberegninger som beskrevet i afsnit 4.2.3. Efter den hydrauliske beregning tælles huse m.m. indenfor de oversvømmede områder og en prioritering gennemføres og sammenlignes med den første prioritering.

6.4

Valg af afløbsstrategi og løsninger med CBR

Cost-benefitratio kan også anvendes til at vurdere hvilken afløbsstrategi, som er mest hensigtsmæssig for et konkret område. Afløbsstrategier kan f.eks. være:

- opgradering af de eksisterende systemer – fælles og separate afløbssystemer
- vej eller anden delvis separatkloakering hvor større eller mindre dele af de befæstede arealer afkobles fællessystemet, som evt. også skal opgraderes
- separatkloakering af fællessystemer

Strategien kan også inkludere serviceniveau for vand på terræn eller pege på konkrete løsningstyper: grønne løsninger, terrænnære løsninger i grøfter og render og der kan vurderes forskellige former for lokal afledning af regnvand.

Når løsningsscenerierne eller afløbsstrategierne er valgt, kan de gennemregnes, så der findes en konkret CBR enten indenfor hele kommunen eller for afgrænsede oplande.

CBR-værdien vil fortælle hvilke afløbsstrategier, som giver mest skadesreduktion for pengene.

Ligesom ved prioriteringen mellem oplande, kan der med fordel inkluderes så mange forhold som muligt i beslutningsgrundlaget for valget af afløbsstrategi. Nogle af disse kan værdisættes og indgår derfor i CBR, men andre må belyses ved en kvalitativ tilgang. Det kan være:

- i hvor høj grad borgerne skal gennemføre tiltag (f.eks. ved separatkloakering)
- hvor fremtidssikret en løsning er (f.eks. kan separatkloakering uden rensning af vejvand vise sig at være umulig i fremtiden og fællessystemer umulige fordi krav til overløbshyppigheder skærpes)
- graden af mulighed for at indarbejde fremtidig teknologi (f.eks. kan man have en strategi hvor man først vejseparerer og først giver pålæg om fuld separering efter en år-række, hvilket giver mulighed for at der kan være opfundet teknologier som i stedet for afkobling renses vand inden overløb.)

Et eksempel på valg af afløbsstrategi findes i appendiks E.

7. Muligheder for tilpasning af afløbssystemer

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

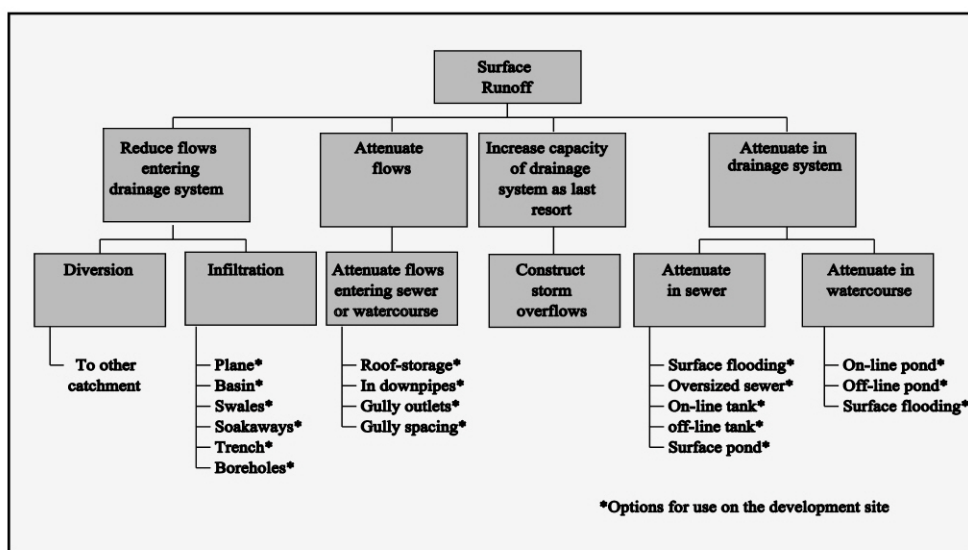
Hovedgrupperne af indgrebsmuligheder er:

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

7.1 Fysiske tiltag på afløbssystemet

Håndtering af de øgede regnmængder fra vore byområder, så funktionskravene overholdes og oversvømmelser minimeres, kan ske på en række forskellige måder. Der findes tre

typer løsninger: at undgå, at den forøgede vandmængde ledes til afløbssystemet; at forøge bortledningen i afløbssystemet eller forøge opmagasineringen, eventuelt en kombination af disse. Undgåelse af tilledning kan normalt kun opnås ved at etablere lokal nedsivning af vandet. Bortledning af regnvand kan ske gennem åbne kanaler eller lukkede rør, til recipient, til større nedsivningsanlæg, eller sammen med eventuelt spildevand til renseanlæg. Opmagasineringsanlæg kan enten være traditionelle bassiner som betonkasser eller rør-bassiner, eller det kan være søer og vandhuller. Ud over de fysiske forhold i oplandet, renseanlæggets kapacitet og recipienttilstanden, er det afgørende, om afløbssystemet er et fællessystem eller et separatsystem. For et separat regnvandssystem er det normalt betydeligt lettere at finde afledningsmuligheder til en lokal recipient, end det er for overløb fra et fællessystem. På figur 7.1 ses en oversigt over mulige metoder til regulering af regnvandsafstrømningen i et afløbssystem.



Figur 7.1 Skematisk oversigt over mulige metoder til regulering af regnafstrømningen.
Kilde: Parkinson & Mark, 2005.

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

Forsyningen skal være opmærksom på at nye tiltag ofte medfører behov for revision af både spildevandsplan og udledningstilladelser/nedsivningstilladelser, f.eks. hvis overløbsmængder øges, eller hvis der etableres nedsivning af overfladevand/vejevand.

7.2

Nedsivning af regnvand

Hvor det er geologisk og hydrologisk muligt nu og i fremtiden kan der vælges løsninger, hvor vandet infiltreres på hver enkelt ejendom, eller der kan laves samlede løsninger for mindre byområder. Vejvand og vand fra pladser, parkeringsanlæg mv. kan i nogle tilfælde også infiltreres, men det skal her vurderes, om det nedsivende vand kan udgøre en trussel mod grundvandskvaliteten.

Infiltration er principielt den miljømæssigt bedste metode til afledning af ikke forurenede regnvand, da det i stor udstrækning svarer til den naturlige måde og kun medfører begrænsede indgreb i det naturlige vandkredsløb. Anlæg kan indrettes, således at der er nødoverløb fra

infiltrationsanlæggene til det offentlige regnvandssystem. Herved reduceres risikoen for oversvømmelser og størrelsen af nedslivningsanlæggene begrænses.

Dette har dog den uheldige konsekvens, at under kraftig regn kan faskinerne blive fyldt op og derefter afledes regnafstrømningen ret uforsinket og uudjævnet til afløbssystemet, som derfor skal dimensioneres til at kunne klare sådanne spidser. Kapaciteten af faskiner kan typisk være af en størrelse svarende til 20-30 mm regn, men der er ingen sikkerhed for, at faskinerne er tomme ved regnens start og for ekstremregn er det derfor ikke sikkert, at oversvømmelser reduceres betydeligt. Faskiner kan derimod reducere årsafstrømningen betragteligt og øge grundvandsdannelsen.

Kombination af infiltration og magasinering

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

7.3

Separering af fællessystemer

Mange af de mest hensigtsmæssige tiltag til håndtering af de øgede regnmængder egner sig dårligt til fællessystemer. Blandingen af spildevand og regnvand er så forurenede, at vandet skal behandles med forsigtighed og omtanke. Kontakt med vandet indebærer en risiko for sygdomme og der er æstetiske problemer på udledningsstederne. Funktionskravene er derfor strengere til fællessystemer end til separatsystemer.

Det er nærliggende at overveje at omlægge eksisterende fællessystemer til separatsystemer, især hvis kapaciteten eller kvaliteten af fællessystemet er sådan, at der alligevel skal foretages store udbygninger eller hvis udlederkravene gør det vanskeligt at fortsætte med fællessystemet. Der sker derfor mange steder en gradvis overgang fra fælles- til separatsystemer. En total eller næsten total overgang, kan dog være en meget tidskrævende og dyr proces, der kræver en meget langsigtet planlægning. Det er desuden en proces der kræver opbakning fra helst både politikere og borgere, da det anlægsmæssigt kan give store gener og det, for den enkelte husejer, kan være dyrt at skulle omlægge kloak.

Separering gennemføres mange steder først i yderområder af byerne eller i mindre bysamfund. I de gamle bykerner, hvor behovet ofte er størst, leder man ofte efter alternative løsninger, da det anlægsmæssigt kan være meget vanskeligt at gennemføre en separering, og det kan være meget dyrt. Der findes ikke i dag nogen universalløsning på disse cityproblemer.

7.4

Udskiftning til større rør

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

Transportledninger

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

7.5

Overløbsbygværker

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

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

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

7.6

Bassiner

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

Dimensionering af bassiner i fællessystemer kan foretages ud fra bassinets afløbstal og valgt gentagelsesperiode for overløb, som beskrevet i kapitel 2. Det må anbefales, at man benytter så opdaterede regnserier som muligt og herudover indregner effekt af klimaændringer.

Bassiner i separate regnvandssystemer kan ofte indgå i rekreative områder og dermed have andre funktioner end blot at skulle udjævne afstrømningen. Her kan bassinstørrelsen blive bestemt af tilladelig vandspejlsvariation samt f.eks. af krav om grænser for opholdstiden i bassinet. Opholdstiden må ikke være for kort, da det giver for ringe stoftilbageholdelse og den må ikke være for lang, da det kan give for stor algevækst i bassinet.

7.7 Lokal magasinering

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

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

7.8 Styling og regulering af afløbssystemet

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

7.9 Anvendelse af vejsystemet

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

7.10 Tiltag på privat ejendom

Fysiske tiltag

Det kan være hensigtsmæssigt at få borgerne til at tilbageholde og aflede regnvandet på egen grund. Herved undgås, at vandet samles og dermed kræver stor transportkapacitet. Yderligere opnås, at bebyggelsen i mindre grad påvirker vandkredsløbet i området. Det kræver dog, at grundvands-, jordbunds- og terrænforholdene er således, at det er muligt at aflede vandet lokalt uden, at det giver anledning til problemer og skader.

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

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

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

Der findes en række metoder, der kan anvendes af borgerne, hvis de vil undlade eller reducere regnvandstilledningen til det offentlige system:

Nedsivning af regnvand

Her tænkes på afledning af regnvandet til faskiner på grunden. Nedsivning forudsætter egnede nedsivningsforhold. Faskiner udføres ofte i en størrelse svarende til 20-30 mm regn, men der er ikke sikkerhed for, at hele denne kapacitet er til rådighed ved regnens start.

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

Regnvandstønder

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

Genbrug af regnvand

Anvendelse af regnvand i boligerne som erstatning for vandforsyningsvand har kun beskedent udbredelse, men har samme fordele som regnvandstønder og yderligere den fordel, at forbruget, i modsætning til vanding, er mere jævnt fordelt over tiden. En væsentlig ulempe er dog også her, at opmagasineringskapaciteten er begrænset og at der derfor ikke er sikkerhed for, at systemer kan opmagasinere vand i de kritiske situationer. I Rørcentrets vejledning "Brug af regnvand" anbefales anvendelse af en tank på 3 m³ til sådanne anlæg og det beregnes, at en ganske stor del af årsnedbøren kan bruges i boligen til WC-skyl og vaskemaskiner. Ved ekstrem regn er det nødvendigt med overløb til andre afledningsformer idet en 5 års hændelse alene som minimum kræver 7,5 m³ for et almindeligt parcelhus.

Genanvendelse af regnvand skal ske i forskriftsmæssige regnvandsanlæg (jf. Miljøstyrelsens bekendtgørelse og Rørcenteranvisningen herom).

Grønne tage

Der er udviklet teknik til brug af såkaldte grønne tage, hvor der på bygningers tagflader udlægges et net med vækstlag, hvor der gror planter. Formålet er, at vandet magasineres i vækstlaget og derfra opsuges af planterne. Magasineringssevnen af vækstlaget er imidlertid begrænset, 6-10 mm, så som ovenfor, er effekten under ekstremregn beskedent. På årsbasis kan der derimod opnås ganske god effekt i form af reduceret tilstrømning til afløbssystemer og dermed rensningsanlæg. Grønne tage kan derfor kun anbefales af hensyn til æstetiske forhold og har meget begrænset effekt på det hydrauliske system i situationer med kraftig regn.

Som det fremgår af de omtalte eksempler på tiltag på privat grund, er det svært at finde løsninger, som for borgeren er lige så sikker og nem som afledning til det offentlige system og det er svært at finde løsninger, som kan klare netop de kritiske perioder med ekstremregn.

Privates forebyggelse af kælderoversvømmelse

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

Administrative tiltag overfor privat ejendom

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

7.11

Afvanding af vejarealer

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

7.12

Eksempler på lokal håndtering af regnvand

I det følgende vises eksempler og illustrationer på lokal håndtering af regnvand. Det skønnes, at vand i bymiljøet vil medvirke til at øge den rekreative værdi. Opbevaring af vand i bymiljøet vil i mange tilfælde kræve en landskabsmæssig udformning, som involverer grønne områder og derved opnås positive sidegevinster som køligere bymiljøer om sommeren, større herlighedsværdi.

Projekter i Odense og København har vist, at løsning med nedsivning sandsynligvis ikke er tilstrækkelig både på grund af grundvandsstigninger og plads til etablering. Det vil være nødvendigt med yderligere tiltag som opmagasinering af regnvand i terrænet og til dette formål er modellering nødvendig. I Odense er etableret en beredskabsløsning til håndtering af regnvandet ved Idrætsparken. Der er etableret en kanal, som leder regnvand uden om en idrætshal, som vist på figur 7.2.



Figur 7.2 Aflastningskanal til reduktion af oversvømmelser ved Idrætsparken i Odense, etableret i 2008. Se appendiks C.

Baggrunden for etablering af kanalen var beregninger med overflademodellen, så både størrelsen og placering førte til den ønskede effekt. Kanalen har efterfølgende været i funktion ved flere regnskyl og har fungeret efter hensigten.

8.

Sundhed

Sygdomsrisiko ved kontakt med oversvømmelsesvand

De vandbårne infektionssygdomme har igennem historien været blandt de største trusler mod folkesundheden. Smittevejen er fækaloral. Nu om dage, hvor drikkevandsforsyningen i Danmark er tæt på 100% sikker og hvor vi normalt har en effektiv håndtering af spildevandet, er risikoen for vandbårne sygdomme reduceret til et så lavt niveau, at vi ikke længere tænker over det og tager det for givet, at vi ikke bliver syge af kontakt med vand.

De klassiske vandbårne sygdomme, som f.eks. kolera, er for længst udryddet i Danmark og *Vibrio cholerae*, der er den bakterie, der giver kolera, forekommer derfor ikke, eller meget sjældent i spildevandet. Derimod forekommer en række enteriske sygdomme sporadisk eller som udbrud. Det er for eksempel Norovirus infektioner, campylobacteriose, cryptosporidiose, osv.. De patogener, der forårsager disse sygdomme, forekommer stadig i spildevandet og hvis vi bliver eksponeret imod dem, er der risiko for, at vi bliver syge.

Et eksempel er Ironman konkurrencen i 2010, hvor der havde været et kloakoverløb umiddelbart inden triatleterne sprang i vandet. Knap halvdelen, 42%, af deltagerne blev syge,

mens der året efter, hvor der ikke var overløb, kun var 8%, der blev syge. (Harder et al 2013). Et andet eksempel er oversvømmelserne efter skybruddet i 2011, hvor 22% af f.eks. forsikringsfolk, rengøringspersonale, ingeniører, der i professionel sammenhæng, havde været i kontakt med oversvømmelsesvand eller sediment blev syge. (Wójcik et al 2013).

I dag eksisterer der kun generelle retningslinjer for at reducere sygdomsrisikoen i forbindelse med kontakt med spildevand. Beredskabsstyrelsen (2014) har udgivet en "Vejledning om indsats i forbindelse med spildevand", der kort beskriver, hvordan indsatspersonale kan beskytte sig. Serumintitutet (2018) har udarbejdet en vejledning i forbindelse med oversvømmelser, der beskriver risici og forholdsregler for borgere og hjælpepersonale.

Der er så vidt vides fra sundhedsstyrelsen eller miljøstyrelsen ikke taget direkte stilling til hvordan kommuner og forsyninger skal forholde sig til sygdomsrisikoen i forbindelse med oversvømmelser og skybrudsplaner. F.eks. hvor stor risiko er acceptabel? eller hvem har ansvaret for at nogen bliver syge, hvis kommunen/forsyningen bevidst har ledt spildevand ind i en park for at reducere omkostningerne til skybrudssikring. En vurdering er, at oplysning om risikoen er tilstrækkelig til at undgå ansvaret. En anden vurdering er, at der skal en mere aktiv indsats til. Under alle omstændigheder bør der tages stilling til sygdomsrisikoen i forbindelse med skybrudsplaner.

Lokalplaner kan indeholde retningslinjer for veje, mm med skybrudsvand. Hermed kan der åbnes mulighed for, at parker kan anvendes til midlertidig opbevaring af oversvømmelsesvand via lokalplanerne. Der tages i dag ikke stilling til den sygdomsrisiko i lokalplanerne.

I dette afsnit har vi beskrevet en metodik til at håndtere denne problemstilling.

Metodikken indeholder tre trin:

1. risikoscreening
2. risikovurdering
3. risikoreduktion

Risikoscreening

Formålet med risikoscreeningen er at lave indledende kvalitative vurderinger, for at undersøge om et specifikt projekt har indflydelse på sygdomsrisikoen. Screeningen anvendes til at vurdere, om der skal laves en mere omfattende risikovurdering eller ej. Det kan f.eks. gøres ved at identificere skadelige hændelser, som kan føre til forøget sygdomsrisiko. I praksis skal der tages stilling til, om der vil være en forøget risiko for kontakt med spildevand, f.eks. i forbindelse med kontakt med spildevandsblandet regnvand i byen under oversvømmelser:

- kontakt med vandet under oversvømmelse af byens terræn eller i kældre
- kontakt med forurenede overflader i byen i perioden efter oversvømmelsen
- f.eks. kældre, grønne områder, befæstede arealer, parker, legepladser og andre offentligt tilgængelige steder
- kontakt med vandet ved badning, dvs. forurenede vand er udledt til en recipient

Risikovurdering

Hvis risikoscreeningen viser at der er en sygdomsrisiko forbundet med planlagte skybrudstiltag, bør der laves en risikovurdering. Til forskel fra risikoscreeningen er risikovurderingen kvantitativ. Traditionelt indeholder risikohåndtering en række trin lige fra kommunikation

med de involverede parter til overvågning af om tiltag, der er igangsat for at kontrollere risici, er effektive (ISO 31000:2018).

Selve risikovurderingen indeholder tre trin:

1. risikoidentifikation
2. risikoanalyse
3. risikoevaluering.

Risikoidentifikation

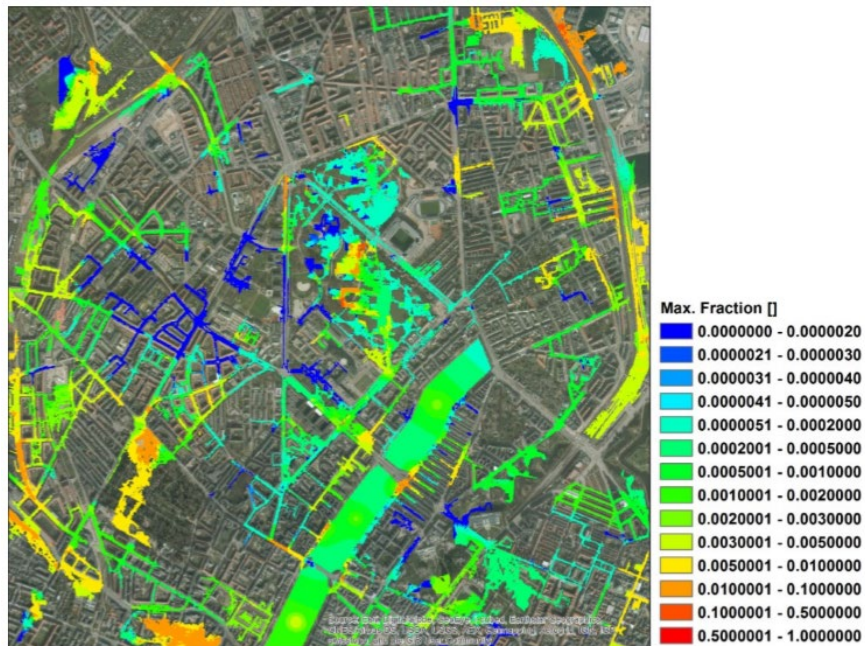
Ved risikoidentifikation bestemmes det, hvilke risikofaktorer der udgør en fare og hvilke skadelige hændelser, der skal vurderes. Risikofaktoren er spildevandet eller mere specifikt de patogene mikroorganismer, der forekommer i spildevandet, hvoraf de vigtigste er beskrevet i indledningen. Den skadelige hændelse kan f.eks. være oversvømmelse af en park og skal inkludere en præcis beskrivelse af, hvem der eksponeres og hvordan det foregår.

Risikoanalyse

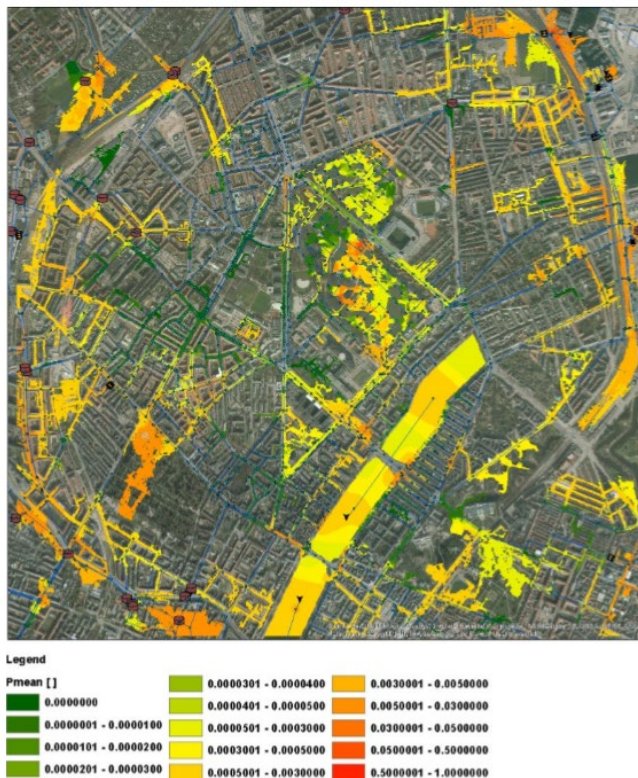
Risikoanalysen er en beregning af sygdomsrisikoen ved kvantitativ mikrobiel risikovurdering (QMRA). På baggrund af risikoidentifikationen skal der sættes tal på, hvor stor patogendosis den eksponerede person udsættes for. Ved hjælp af dosis-respons forhold kan man herefter estimere sandsynligheden for at blive syg.

For at gennemføre analysen skal der anvendes informationer om koncentrationen af patogener i spildevandet (f.eks. beregnet) og hvor meget spildevand der indtages, direkte eller indirekte. Dosis kan herefter beregnes ved at multiplicere koncentration og volumen. For hver enkelt risikofaktor (patogen) beregnes herefter sandsynligheden for at blive syg. Ved lave sandsynligheder og forudsat uafhængighed, kan sandsynlighederne for de enkelte patogener adderes. En beskrivelse af beregninger af spildevandskoncentration i oversvømmelser samt QRMA findes f.eks. i Mark et al. 2015. Eksempler på beregnede koncentrationer i spildevand ses i figur 8.1 og den tilsvarende beregnede infektionsrisiko for campylobakter ses i figur 8.2.

Det største problem ved risikoanalysen er, at der er store usikkerheder og variation på de parametre der indgår i beregningen. Det er derfor bedst at anvende fordelinger til beregningerne i stedet for punkt estimater. Resultatet bliver i dette tilfælde en sandsynlighedsfordeling, hvoraf man kan uddrage gennemsnit og risikopercntiler. QMRA vejledninger kan findes hos WHO (2016), der har opsamlet erfaringer med QMRA i spildevand og drikkevand og hos "Center for Advancing Microbial Risk Assessment" (QMRA-Wiki).



Figur 8.1 Beregnede fraktioner af spildevand i oversvømmelsesvand for området nær Fælledparken i København.



Figur 8.2. Beregnet infektionsrisiko for campylobakter for områder, nær Fælledparken i København.

Risikoevaluering

Formålet med risikoevalueringen er at beslutte om risikoen er acceptabel eller uacceptabel.

Man bør fastlægge en acceptabel risiko inden risikoanalysen gennemføres. Der findes ikke en officielt accepteret risiko for kontakt med spildevand i forbindelse med oversvømmelser. Derfor bør der opnås enighed imellem Kommune og Forsyningsselskab evt. i samråd med Sundhedsstyrelsen.

Til sammenligning er der på badevandsområdet fastlagt grænseværdier for indikator bakterier, der svarer til cirka 3% risiko/per badetur. For drikkevand er der strengere krav. I USA accepterer man f.eks. kun en risiko for 1 infektion per 10.000 mennesker per år. Som tidligere nævnt er risikoen usikkert bestemt og vil være variabel. Hvis man har anvendt QMRA og har fastlagt en risikokurve, kan man udover at sammenligne med en acceptabel risiko også fastlægge med hvilken sikkerhed beslutningen skal tages. Typisk vil man anvende 95% percentilen for at være på den sikre side.

Risikoreduktion

Hvis risikoevalueringen viser, at risikoen er uacceptabel, skal der gøres en indsats for at reducere eksponeringen. På planlægningsstadiet kan man ændre skybrudsplanerne, enten så koncentrationerne i det spildevand, som borger eksponeres imod, bliver lavere, eller de udformes, så muligheden for at komme i kontakt med spildevandet reduceres.

Hvis risikovurderingen er gennemført efter skybrudsplanerne er ført ud i livet, kan man reducere risikoen for at komme i kontakt med spildevandet. Det kan gøres ved fysiske afspærringer og ved informationskampagner.

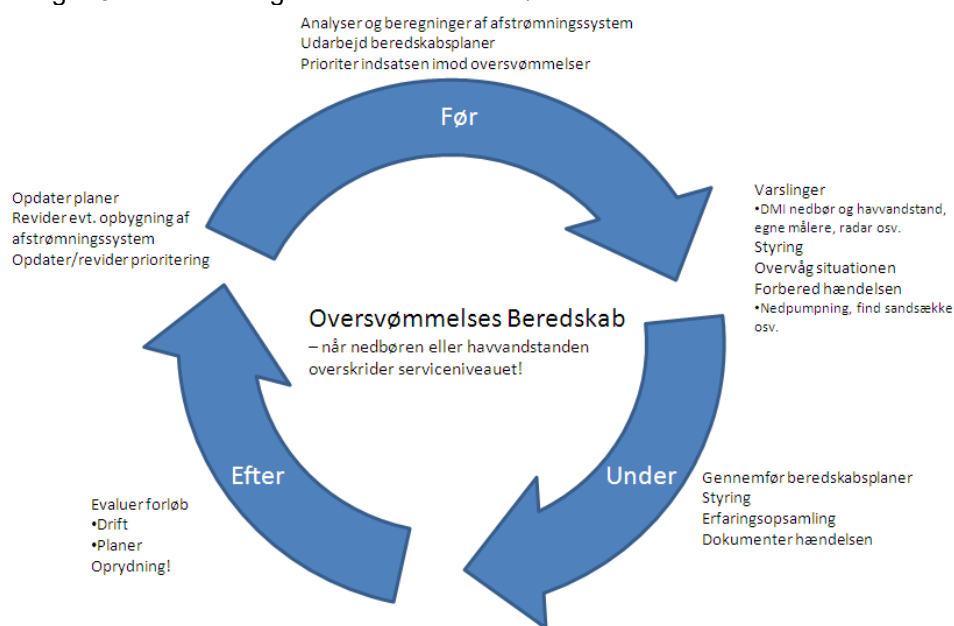
9. Oversvømmelsesberedskab

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

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

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

På figur 9.1 er vist mulige elementer i oversvømmelsesberedskabet.



Figur 9.1 Illustration af et oversvømmelsesberedskab.

I de følgende afsnit er oversvømmelsesberedskabet uddybet.

9.1 Før nedbørshændelsen

Etablering af beredskabsplaner eventuelt i forbindelse med klimatilpasning. Alle kommuner skal – som en del af det generelle civile beredskab – have en beredskabsplan. Der er dog i dag ingen krav om, at der skal laves en specifik beredskabsplan for drift af afløbssystemer og renseanlæg. En del kommuner har dog lavet sådanne planer.

En beredskabsplan for afløbssystemer og renseanlæg kan tage højde for en række forhold, der er kritiske for driften af afløbssystemet, f.eks. nedbrud af elforsyning, stormflodsskader

ved udsatte lokaliteter, personale/entreprenørberedskab til i nødsituationer at kunne opretholde en minimumsdrift.

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

- egentlige fysiske foranstaltninger til at reducere effekterne af en ekstremregn situation og deraf følgende oversvømmelser – f.eks. jordvolde og skodder til opstuvning af vand, i forud udpegede lavninger
- beredskab til akut ad hoc indsats – f.eks. placering af sandsække og brug af mobile pumper
- information/varslinger både internt i kommunens drift og eksternt

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

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

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

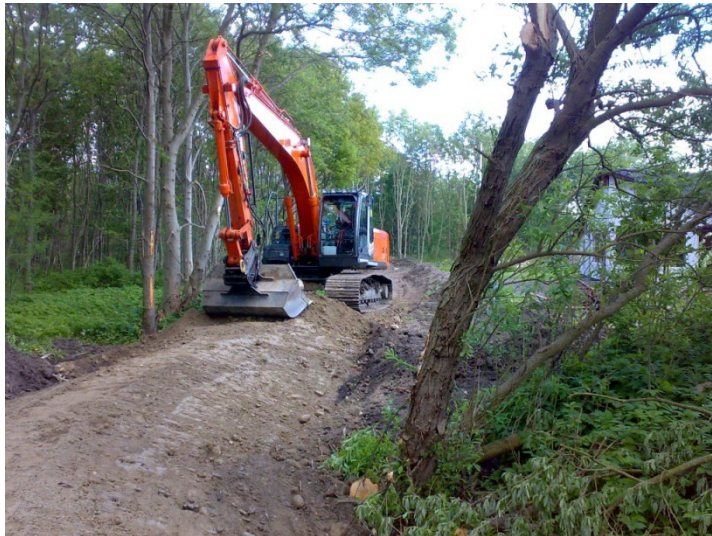
Prioriteringen af beredskabsplaner kan gennemføres efter samme principper som prioriteringen af klimatilpasningen.

Stationære beredskabstiltag

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

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

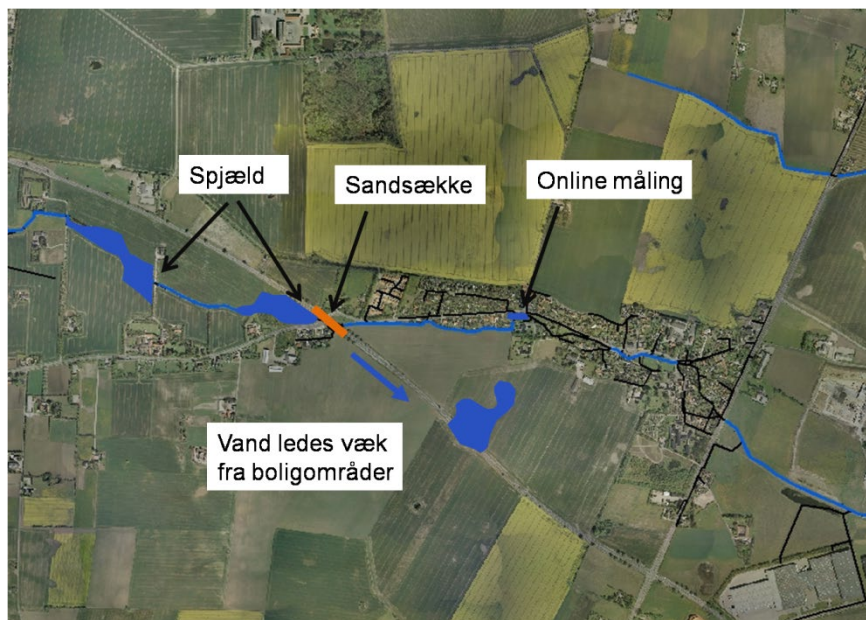
Volden ved Godsparken koster ikke alverden, men sikrer byområdet ikke alene ved ekstrem langvarig regn, men også mod ekstrem vandstand i havet.



Figur 9.2 Etablering af vold ved Godsparken i Greve.

Mobile beredskabstiltag

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



Figur 9.3 Eksempel på forslag til mobilt beredskab i kombination med onlinemåling.



Figur 9.4 Mobilpumpe anvendt ved Greve Gymnasium under ekstremnedbøren i Greve 5. juli 2010.

Varsling

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

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

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

Når varslingen træder i kraft, er det vigtigt, at spildevandsforsyningen har et medium, gennem hvilket der kan oplyses om de tiltag, som har indflydelse på borgernes hverdag.

Borgerne må allerede inden situationen være klar over, hvor de skal søge information - hjemmeside, radio eller lignende.

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

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

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

Styring og overvågning

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

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

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

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

9.2

Under nedbørshændelsen

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

Dokumentation og erfaringsopsamling

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

- er meget værdifulde, når erfaringerne skal bruges i det videre analysearbejde og eventuelt ved opdatering af beredskabsplaner.

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

Styring

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

9.3

Efter nedbørshændelsen

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

Opdatering af beredskabsplaner

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

Driftserfaringer

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

10. Afsluttende bemærkninger

Klimakogebogen er en opdatering af den tidligere udgave fra 2011 og indeholder status på viden om klimaændringer, som anbefales anvendt til at beregne oversvømmelsesrisici fra regn samt fra havet. Når det gælder beregninger af effekter fra ændret nedbør, anbefales det at anvende anbefalingerne i skrifterne fra Spildevandskomiteen under Ingeniørforeningen og DMI's Klimaatlas.

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

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

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

Formidling af serviceniveau på afstrømning fra byer er meget vigtig, når det skal besluttes om der skal analyseres for klimaændringer og ikke mindst, når der skal tages beslutninger om konkret klimatilpasning af afstrømningssystemer, som er meget omkostningstunge. Klimakogebogen indeholder en beskrivelse af serviceniveau på regnvand og havvandstand og et forslag til hvordan dette kan formidles. En udfordring i håndteringen og prioriteringen af klimaændringer, er opgørelse af skader på samfundet, på grund af oversvømmelser. I nærværende projekt er der taget hul på denne problemstilling og principperne bag opgørelse af skader, på grund af oversvømmelser, er beskrevet sammen med metoder til at reducere skaderne.

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

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

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

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

11.

Referencer

DANVA (2005)

Funktionspraksis for afløbssystemer under regn – Baggrundsrapport for Skrift 27

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>

Oversvømmelsesdirektivet, Kystdirektoratet (2020).

<https://kyst.dk/kyster-og-klima/oversvoemmelsesdirektivet/>

Parkinson, J., Mark, O. (2005)

Urban Stormwater Management in Developing Countries

A book - 225 pages published by "The International Water Association" (IWA)

ISBN: 1843390574

Erhvervsstyrelsen (2019). Vejledning i planlægning for forebyggelse af oversvømmelse og erosion.

<https://www.klimatilpasning.dk/media/1525285/vejledning-i-planlaegning-for-forebyggelse-af-oversvoemmelse-og-erosion.pdf>

Sonnenborg, T.O., Christensen, B.S.B., van Roosmalen, L., H.J. Henriksen (2006).

Klimaændringers betydning for vandkredslobet i Danmark.

GEUS rapport

Spildevandskomiteen (1995)

Skrift 25 - Nedsivning af regnvand - dimensionering

Spildevandskomiteen (1999)

Skrift 26 - Regional variation af ekstremregn i Danmark

Spildevandskomiteen (2005)

Skrift 27 - Funktionspraksis for afløbssystemer under regn

Spildevandskomiteen (2006)

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

Spildevandskomiteen (2008)

Skrift 29 – Forventede ændringer i ekstremregn som følge af klimaændringer

Spildevandskomiteen (2014)

Skrift 30 – Opdaterede klimafaktorer og dimensionsgivende regnintensiteter

Spildevandskomiteen (2017)

Skrift 31 (Serviceniveau for vand på terræn)

Sørensen, S., Adeler, O. F., Bentsen, L., (2005)
Risikoanalyse på vej ind i spildevandsbranchen
(NO-DOG-info 4/2005)

Beredskabsstyrelsen (2014). Vejledning om indsats i forbindelse med spildevand.
<https://brs.dk/viden/publikationer/Documents/2014%20Vejledning%20om%20indsats%20i%20forbindelse%20med%20spildevand.pdf>

Harder-Lauridsen, N. M., Kuhn, K. G., Erichsen, A. C., Mølbak, K. og Ethelberg, S. (2013). Gastrointestinal illness among triathletes swimming in non-polluted versus polluted seawater affected by heavy rainfall, Denmark, 2010-2011. PLoS ONE, 8, 11. DOI: 10.1371/journal.pone.0078371

Mark O., Jørgensen, C., Hammond, M., Khan, D., Tjener, R., Erichsen, A. and Helwigh, B. (2015). "A new methodology for modelling of health risk from urban flooding exemplified by cholera - Case Dhaka, Bangladesh". Journal of Flood Risk Management DOI: 10.1111/jfr3.12182.

ISO31000:2018. Risk Management Guidelines.

Seruminstituttet (2018) Vandskade. <https://hygiejne.ssi.dk/retningslinjer/vandskade>
QMRA-Wiki.

[http://qmrawiki.canr.msu.edu/index.php/Quantitative_Microbial_Risk_Assessment_\(QMRA\)_Wiki](http://qmrawiki.canr.msu.edu/index.php/Quantitative_Microbial_Risk_Assessment_(QMRA)_Wiki) 29-3-2019.

Wójcik, O. P., Holt, J., Kjerulf, A., Müller, L., Ethelberg, S., Molbak, K. (2013) Personal protective equipment, hygiene behaviours and occupational risk of illness after July 2011 flood in Copenhagen, Denmark. Epidemiology and infection. 141, 8, 1756-1763.
<https://doi.org/10.1017/S0950268812002038>

WHO (2016) Quantitative microbial risk assessment Application for water safety management https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/qmra/en/

A P P E N D I K S A

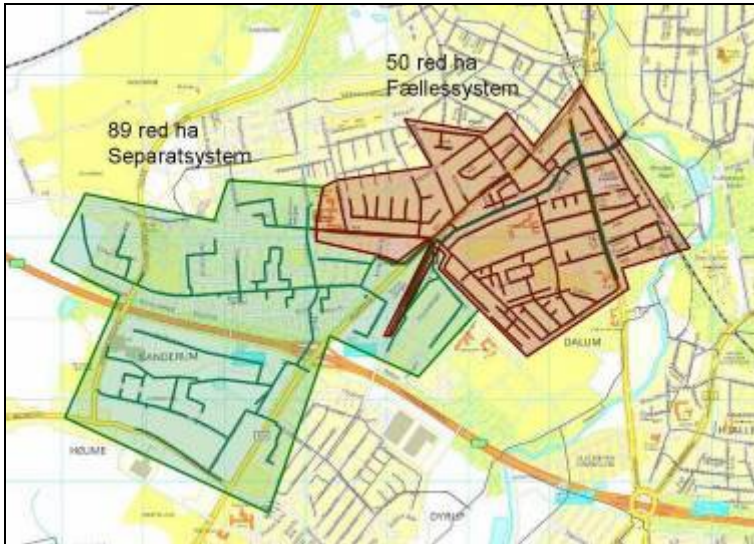
Odense – Sorgenfribækken

(Projektet er udført 2005-2006)

A.1 *Appendiks A. Odense – Sorgenfribækken*

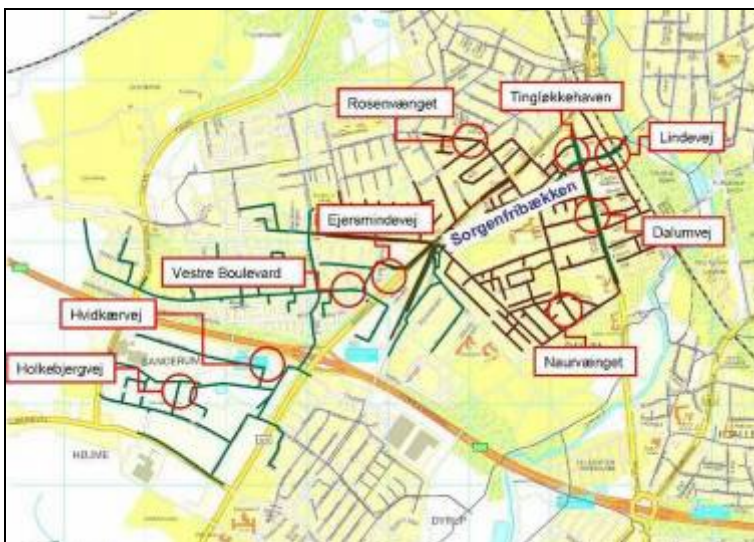
A.1.1 *Opland*

Sorgenfribækken er et rørlagt vandløb i Dalum, i den sydvestlige del af Odense. Oplandet afvander 89 red. ha separat regnvand til Sorgenfribækken. I en ledning parallelt med Sorgenfribækken afvandes 50 red. ha fra fællessystemet, jf. figur A1.



Figur A1 Sorgenfribækken – oversigt.

I oplandet er der rapporteret om stuvningsproblemer, både til kælder og til terræn (se figur A2). 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.

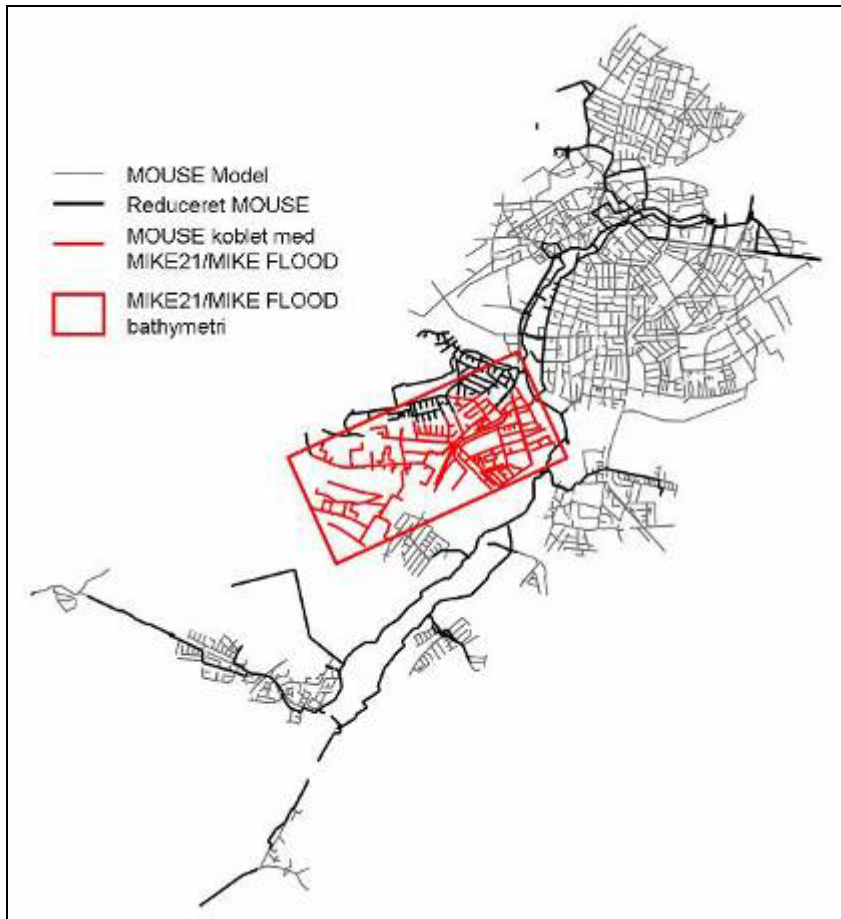


Figur A2 Områder med stuvningsproblemer.

A.1.2 *Model setup*

For oplandet til Sorgenfribækken foreligger en velkalibreret MOUSE model. Nedstrøms er afløbssystemet via overløbsbygværker forbundet til samleloakken langs Odense Å. Samleloakken fører

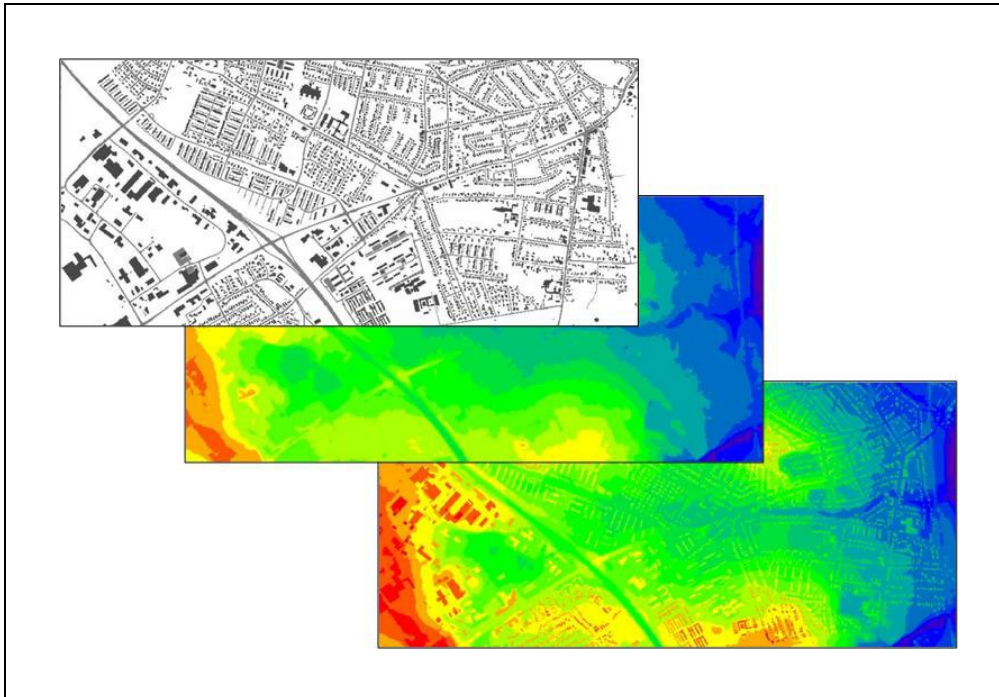
vandet frem til Ejby mølle Renseanlæg. Ved model setup til beregning af Sorgenfribækkens opland, reduceres en stor del af det omkringliggende afløbssystem, og der opsættes kun en MIKE 21 model for det aktuelle område. Af beregningstekniske årsager drejes MIKE 21 bathymetrien, så det kvadratiske grid i videst mulig udstrækning ligger parallelt med vejene i området, jf. figur A3.



Figur A3 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 km², forholdsvis stort, så af hensyn til beregningstiden har det været væsentligt at vælge en hensigtsmæssig gridstørrelse. Detaljeringsgraden for terrænmodellen går kun ned til 5 m, mens huse og veje er beskrevet mere detaljeret. Det indikerer at gridstørrelser på 2-4 m er rimelige i og med, at detaljeringen af inputdata ikke reduceres væsentligt. Af hensyn til beregningstiden, er der valgt et grid på 4 m. Det giver selvfølgelig enkelte unøjagtigheder i form af huse, der flyder sammen i modellen samt veje, der ikke er helt forbundet. Disse detaljeringsproblemer er håndteret manuelt.

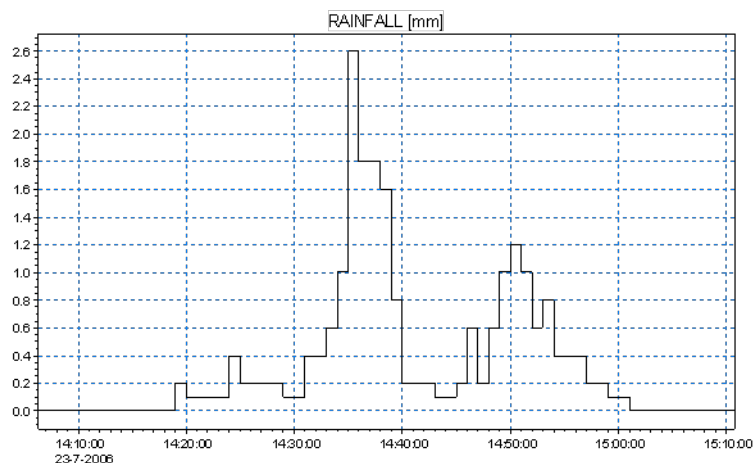
Huse er hævet 4 m, og veje er sænket 20 cm i forhold til terrænmodellen.



Figur A4 MIKE 21 bathymetrien genereres ud fra terrænmodel samt huse og veje.

A.1.3 Kalibrering

Der findes ingen direkte målinger af vandstande under ekstreme regnhændelser. Til gengæld findes der en række informationer om, hvor 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 A5).

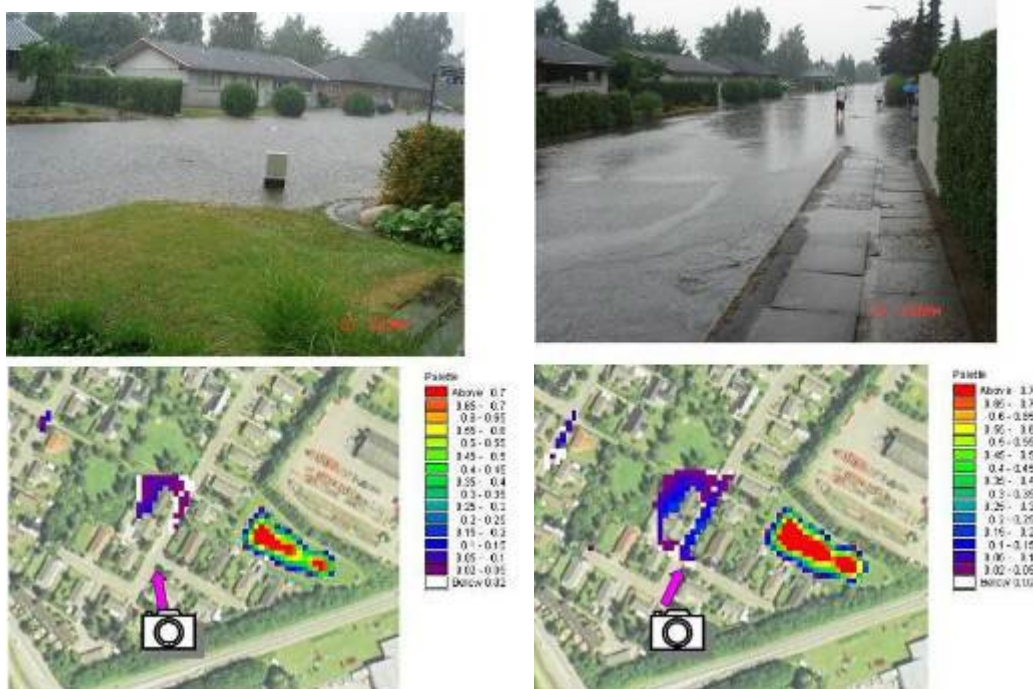


Figur A3 Regnhændelse d. 23. juli 2006 – GMT tid.

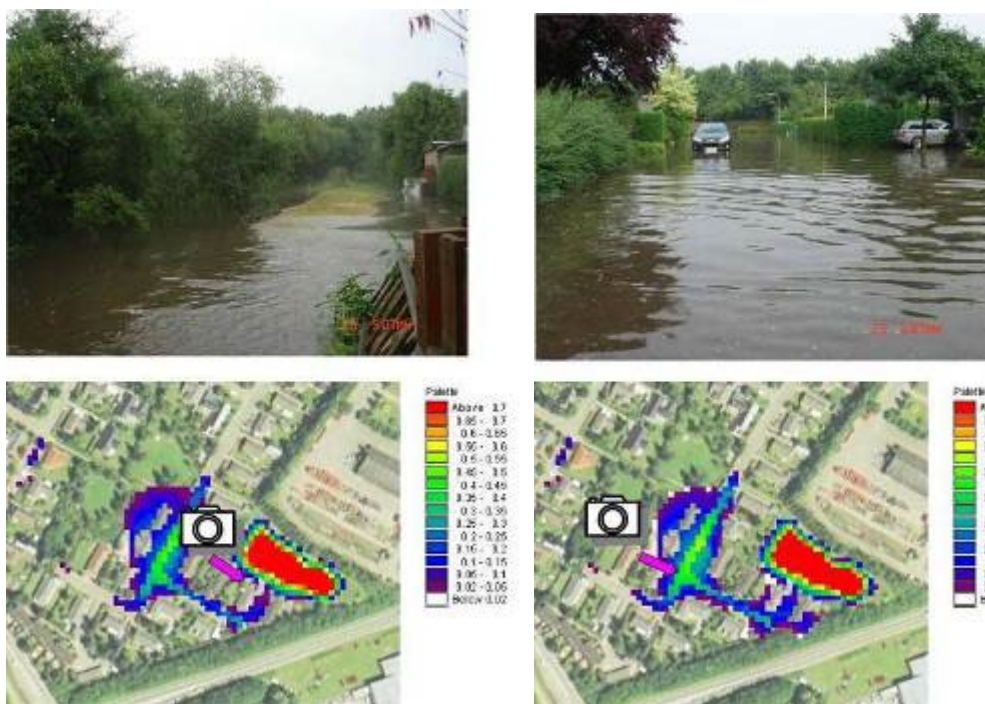
Figur A6 og A7 viser simulering og tilhørende fotografier under regnhændelsen og ved regnhændelsens ophør og efter regnhændelsen. Under regnhændelsen (venstre figur A6), er der ikke overensstemmelse mellem model og reel vandstand. Dette skyldes en lokal faktor, der ikke er beskrevet i modellen: I modellen 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, på figur A6 og på begge foto på figur A7, 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 og ud i hovedledningerne (figur A6, 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 staves tilbage op gennem stikledningerne og op på vejen igen.

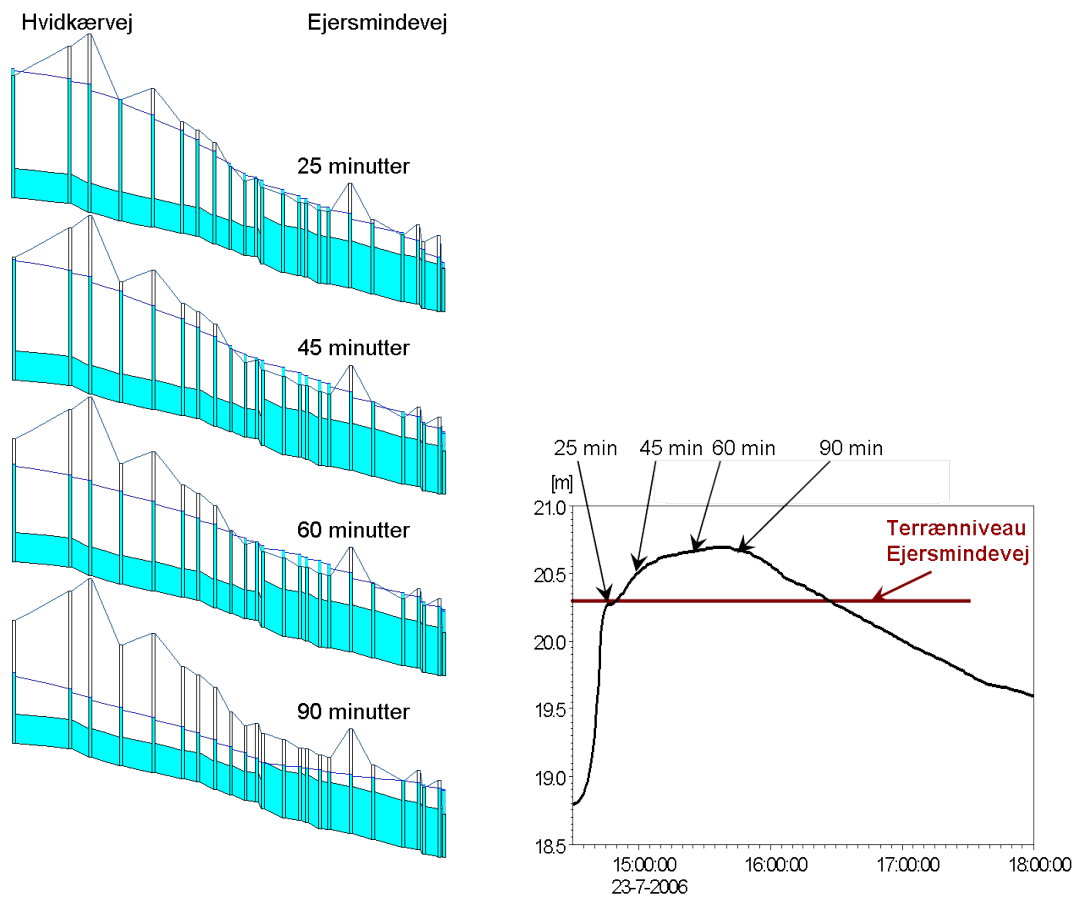
Figur A8 viser længdeprofil mellem Hvidkærvej og Ejersmindevej samt en tidsserie for vandstanden ved Ejersmindevej. Det illustrerer hvordan vandstanden ved Ejersmindevej forsat stiger lang tid efter regnhændelsens ophør.



Figur A6 Ejersmindevej efter 25 og 45 minutter.

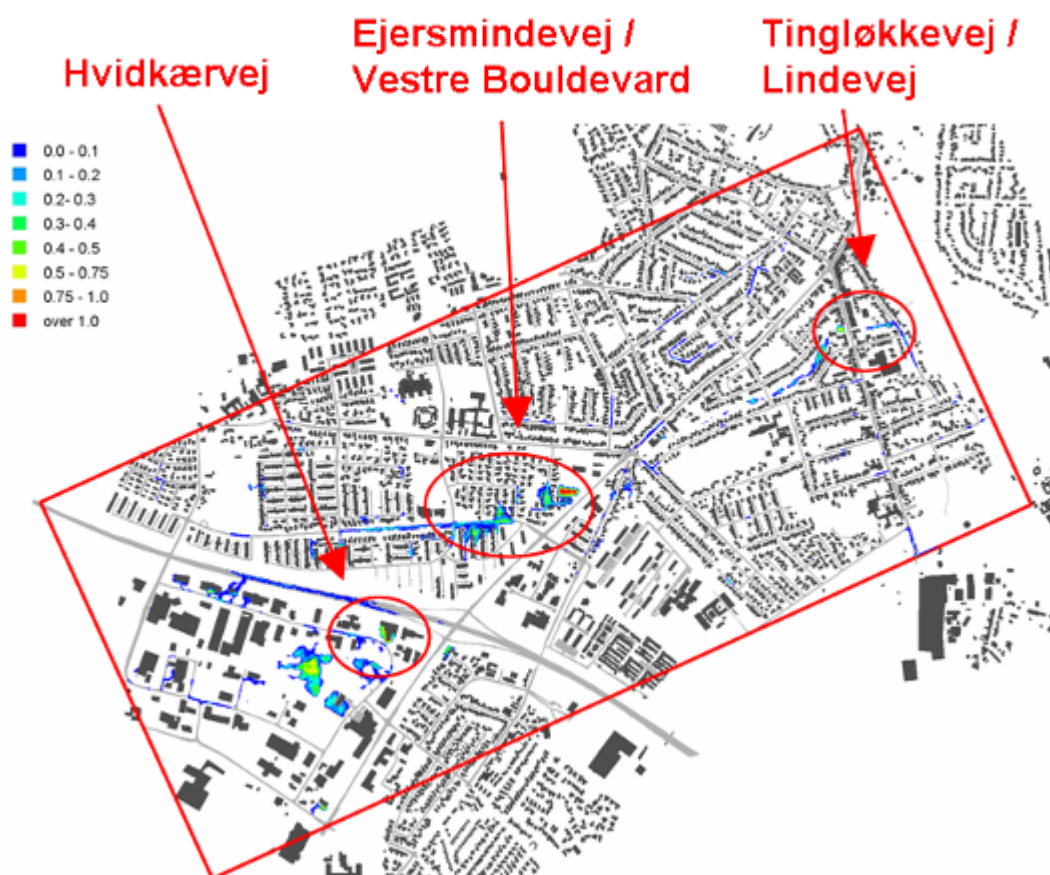


Figur A7 Ejersmindevej efter 60 og 90 minutter.



Figur A8 Længdeprofil fra Hvidkærvej til Ejersmindevej og tidsserie for vandstand ved Ejersmindevej.

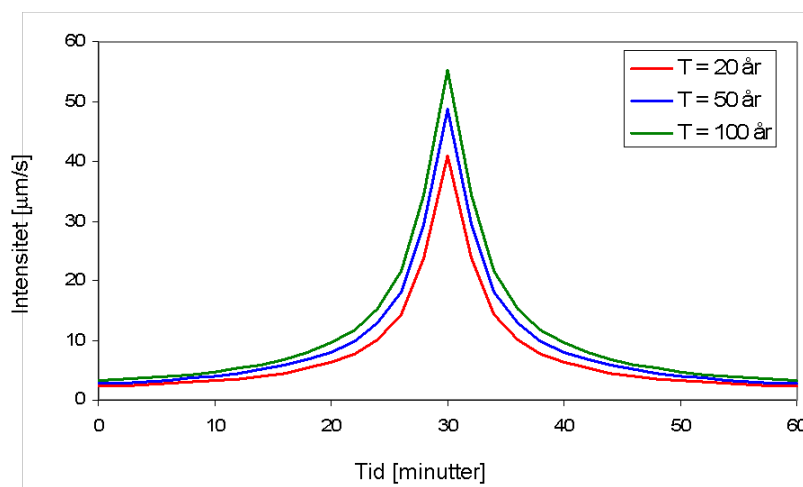
Figur A9 viser maksimum vandstande over terræn for simulering med CDS-regn for gentagelsesperioden 10 år. Kendte problemområder er markeret. Det ses, at der er en god overensstemmelse mellem model og virkelighed.



Figur A4 Beregnede vandstænde over terræn for CDS regn, T = 10 år, samt de vigtigste kendte problemområder.

A.1.4 Beregninger

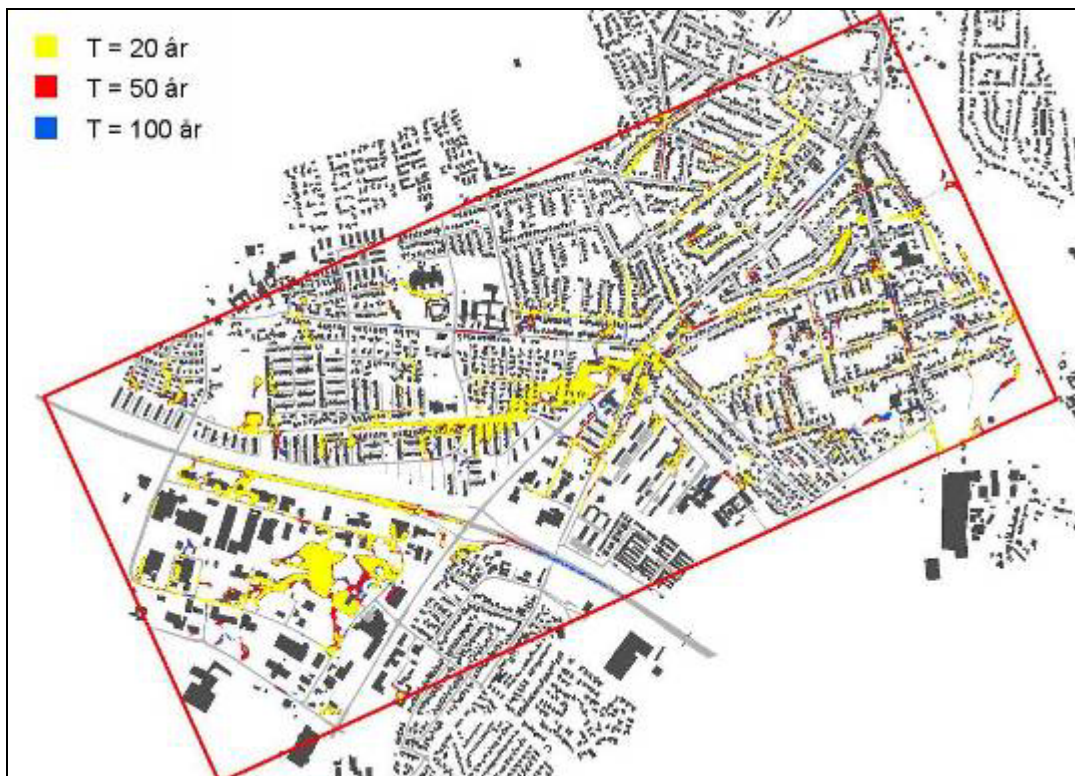
Der er gennemført beregninger for det eksisterende system. Beregningerne er gennemført for CDS-regn med gentagelsesperioder på 20, 50 og 100 år. Der er endvidere indbygget en sikkerhedsfaktor på 1,2 og en klimafaktor på 1,2 – i alt en faktor på 1,44. Der er desuden gennemført en beregning uden klimafaktor.



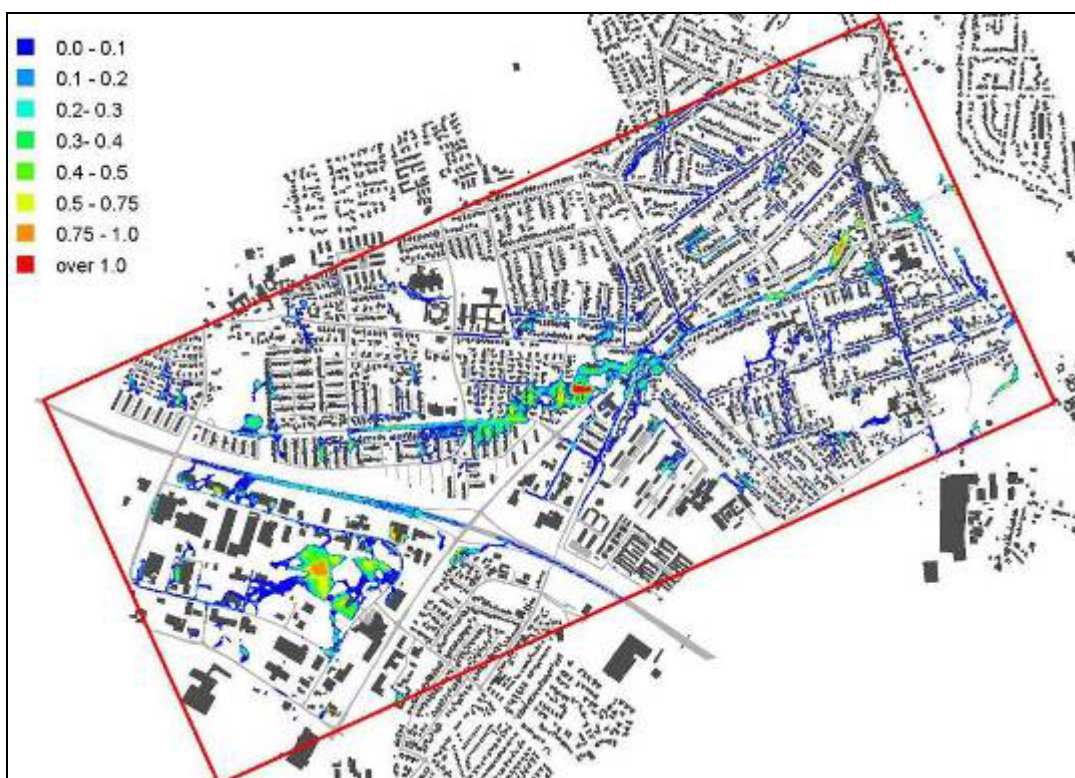
Figur A10 CDS-regn for gentagelsesperioder på 20, 50 og 100 år.

Resultaterne af beregningerne illustreres på figur A11 og figur A12. 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 A11 Udbredelse af oversvømmelser for simuleringer med det eksisterende system og klima- og sikkerhedsfaktor 1,44.



Figur A12 Niveau for oversvømmelser for simuleringer med det eksisterende system samt klima- og sikkerhedsfaktor 1,44 for gentagelsesperiode på 100 år.

A.1.5 Skadesopgørelse

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

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

I tabel 2 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 1 Oversvømmede arealer i ha.

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

Tabel 2 Oversvømmede vejarealer i ha.

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

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

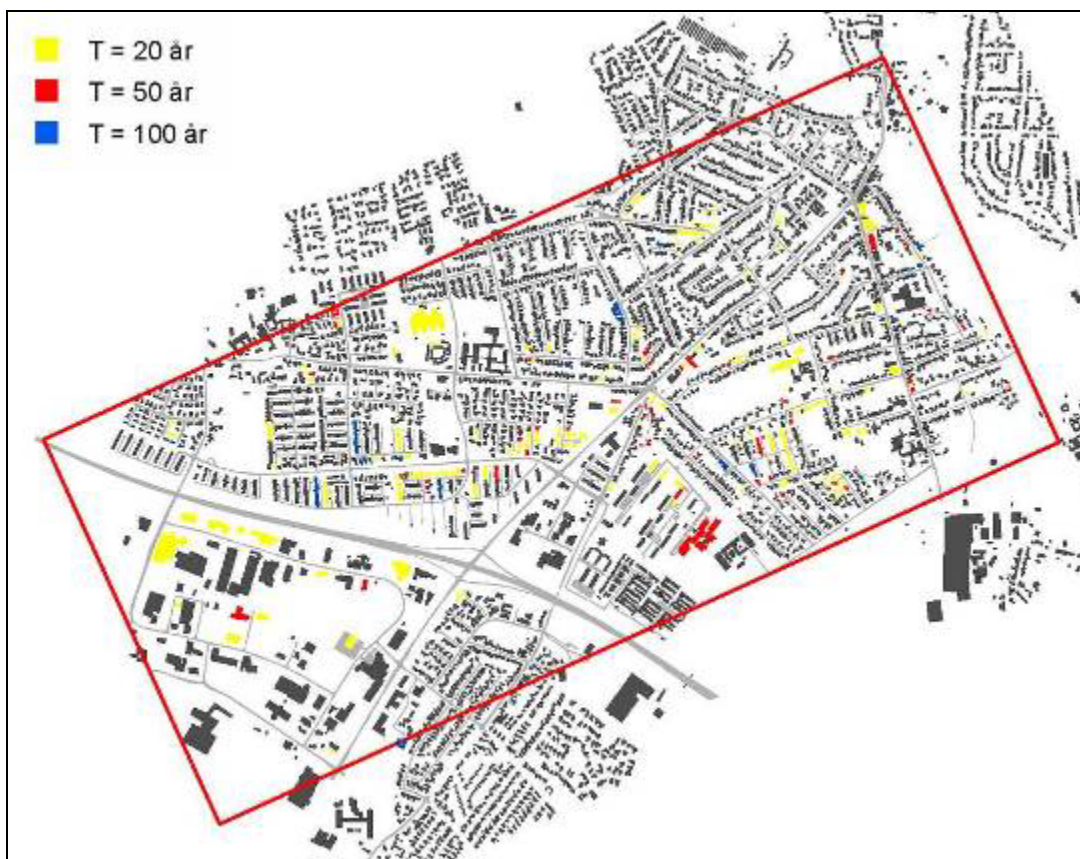
For at kompensere for manglende data, er der gjort en række antagelser. For hvert hus benyttes det gennemsnitlige terrænniveau for ejendommen, og sokkelniveau antages at ligge 10 cm over terræn.

Hver bygning knyttes til den nærmeste brønd i fællessystemet, men antages kun at være tilsluttet i kælderniveau, hvis kælderen ligger 1 m over bunden af brønden. Kælderniveau sættes til 1,5 m under terræn.

Figur A13 illustrerer oversvømmede huse under ekstremregn beregnet med faktor 1,44. Tabel 3 giver en oversigt over antallet. Figur A14 illustrerer huse med potentiel kælderoversvømmelse, og tabel 4 giver tilsvarende information i form af antal.

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

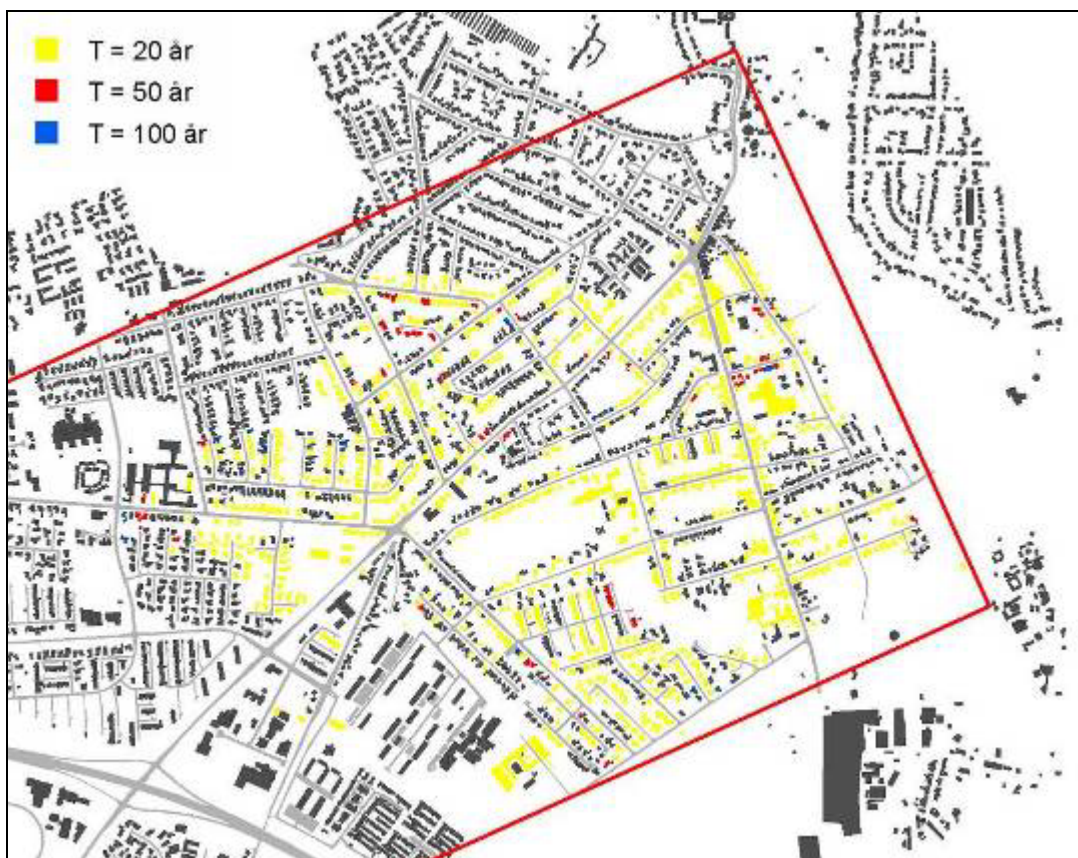
Tabel 5 viser eksempelvis resultatet for antallet af oversvømmede el-skabe.



Figur A13 Oversvømmede huse for simuleringer med det eksisterende system og klima- og sikkerhedsfaktor 1,44.

Tabel 3 Oversigt over antal oversvømmede huse.

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



Figur A14 Oversvømmede kældre i fællessystem for simuleringer med det eksisterende system og klima- og sikkerhedsfaktor 1,44.

Tabel 4 Oversigt over antal oversvømmede kældre.

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

Tabel 5 Antal el-skabe.

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

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

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

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

Ud over de direkte materielle skader, er det væsentligt at fokusere på særligt sårbare bebyggelser, hvor der er risiko for personskade eller miljøskade – f.eks. institutioner, hospitaler, tankstationer eller særlige industrier. Figur A15 illustrerer institutioner og tankstationer i et mindre område. For to institutioner er der væsentlige problemer med opstuvet vand fra fællessystemet.



Figur A15 Eksempel på bygninger med specielle hensyn.

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

A P P E N D I K S B

Odense – Ejersmindevej

(Projektet er udført 2007-2009)

B.1 Appendiks B. Odense – Ejersmindevej

B.1.1 Baggrund

Baggrunden for dette appendiks, er gentagne oversvømmelser af et villaområde ved Ejersmindevej. Under kraftig regn er der flere gange observeret opstuvning på villaveje samt opstuvning til kronekanten i regnvandsbassinet eller ind i tilstødende haver, se figur B1. Umiddelbart opstrøms for bassinet, støver vandet op af rendestensbrøndene og oversvømmer vejen og forhaverne. Dæksler er forsøgt boltet fast, men vandtrykket har været så stort, at asfalten blot er blevet revet med op. Beboere i området har været fraflyttet deres huse i gennem længere perioder pga. oprydning og reovering efter oversvømmelserne. Første gang i august 2006 og siden atter i august 2007.



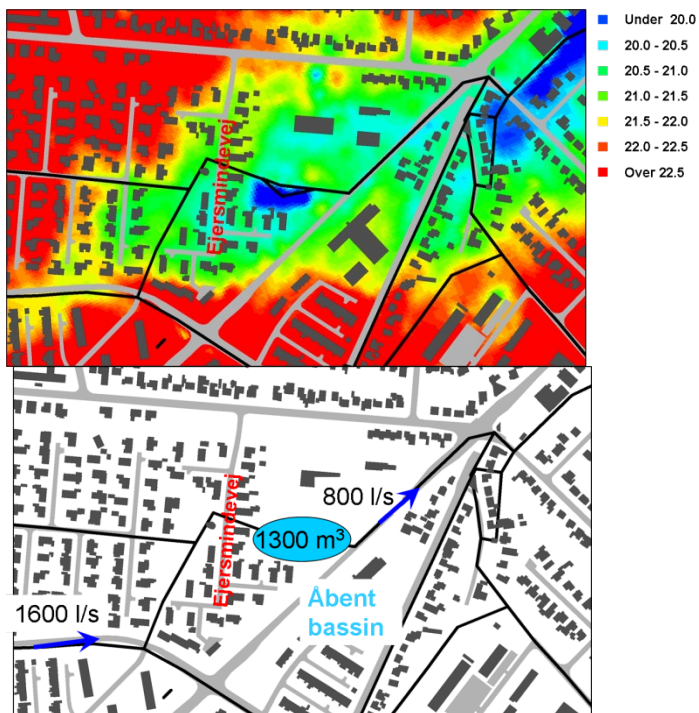
Figur B1: Fyldt bassin ved Ejersmindevej.

Området ligger i opland F7 og F8, som afvander ca. 89 red ha gennem Sorgenfribækken (rørlagt) til Odense Å, se figur B2. Der findes to regnvandsbassiner i oplandet ved Sanderum og Ejersmindevej og der er reserveret plads til yderligere et regnvandsbassin ved Mågebakken.



Figur B2: Oversigt over model af regnvandssystemet i F7/F8.

Undersøges området nærmere ses, at kvarteret er placeret i en lavning (Figur B3). Når magasineringsvolumenet er opbrugt og tilledningen til området overstiger 800 l/s, vil vand samles i området.



Figur B3: Terræn- og afvandsforhold omkring Ejersmindevej.

B.1.2 Beregninger af oversvømmelser

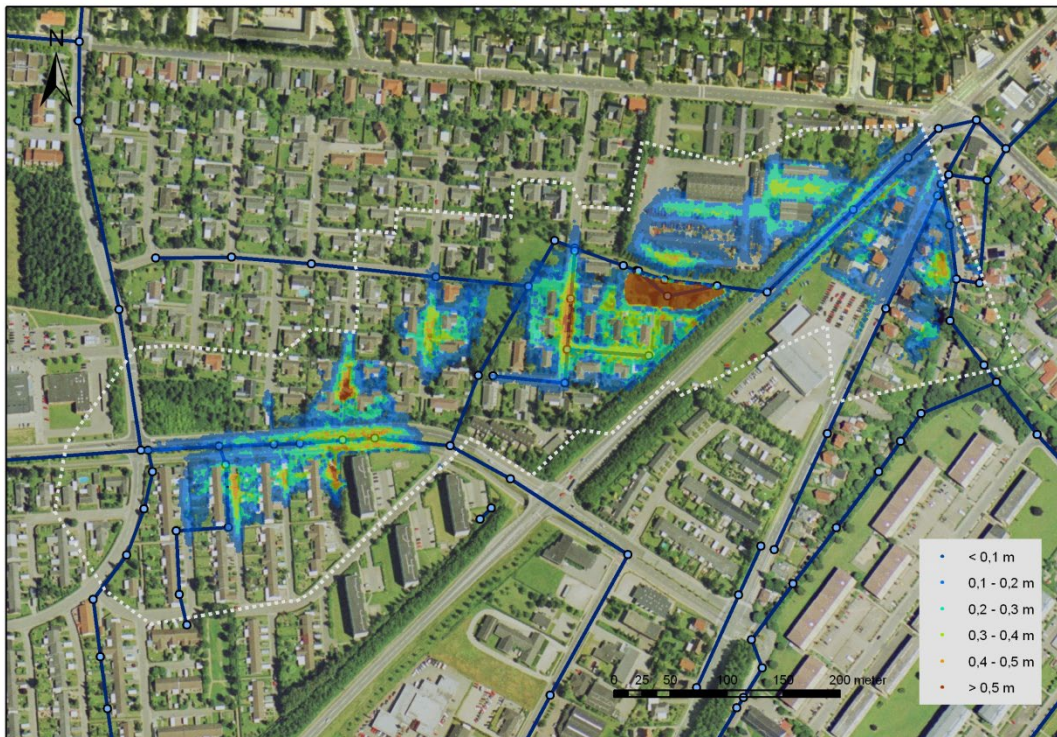
Datagrundlaget er en digital terrænmodel med opløsning på 1,6 x 1,6 m og en højdenøjagtighed bedre end 10 cm. Modellen er baseret på laserscanninger, udført i perioden april 2006 – maj 2007. Matrikelgrænser, veje og huse er endvidere anvendt.

Der er opstillet en koblet 1d-1d model, hvor lavninger i området er beskrevet som bassiner og forbundet via overløbskanter, se figur B4.



Figur B4: Område der er undersøgt mht. oversvømmelse.

Model er anvendt til at foretages beregninger af oversvømmelser i området. Resultatet fra en beregning af en CDS regn T=50 års, er vist i figur B5.



Figur B5: Maksimale vanddybder for en CDS regn T = 50 år (status). Den stiplede linje afgrænser den del af terrænet der er medtaget i modellen for afløbssystemet (Mouse).

B.1.3 Løsninger

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

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

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

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

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

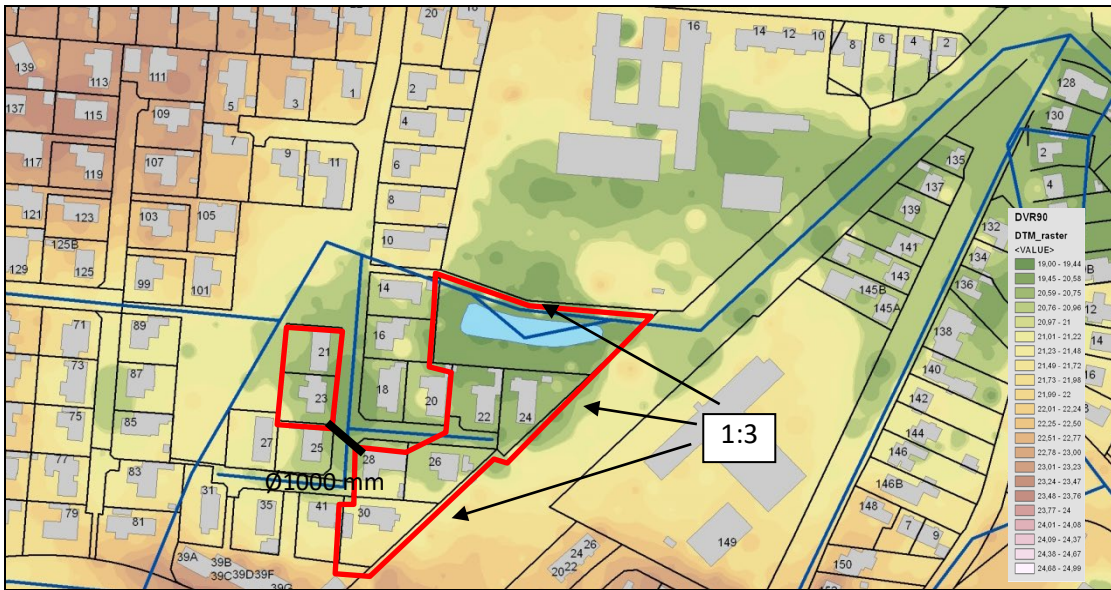
- Projektet støtter overordnet Odense Vandselskabs filosofi om bæredygtig og økonomisk "best practise" i håndtering af regnvand.
- Bassinet på Ejersmindevej udvides til at kunne rumme ca. 7.000 m³ regnvand.
- Projektet giver større serviceniveau for hele Sanderum og større sikkerhed mod fremtidige klimaforandringer og deraf følgende mindre risiko for oversvømmelse i forhold til alternative løsninger.
- Projektet kan gennemføres inden for kort horisont (Færdig sommeren 2009).
- Projektet giver større sikkerhed mod oversvømmelser på terrænniveau, idet projektet følger terrænets lavninger og flytter ejendomme, der ligger på laveste sted væk fra risikozonen.
- Projektet kombineres med 2 andre delprojekter fra de alternative løsninger:
 - Regulering af regnvandstilstrømning fra højt befæstet industriområde i Højme
 - Etablering af supplerende bassin på grund udlagt hertil på Mågebakken ca. 3.000 m³.
- Samlet set kan løsningsforslaget rumme en regnhændelse, der statistisk set (anno 2008) i gennemsnit sker hvert 50. år.

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

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

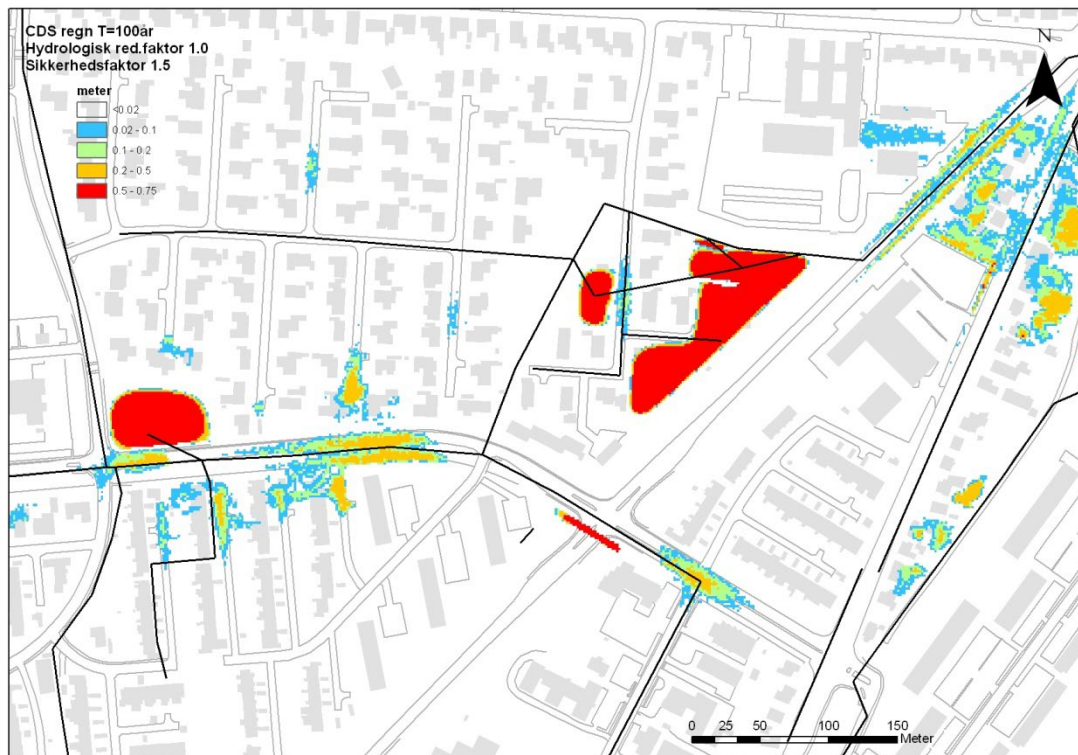
Beregningsforudsætninger, se figur B6:

- Der etableres 7.000 m³ bassin ved Ejersmindevej.
- Der etableres 3.000 m³ bassin ved Mågebakken.
- Udformes som åbent jordbassin med permanent vandspejl i kote 18,75 m DNN, svarende til 500 m³. Skrånninger udføres med hældning 1:5 dog 1:3 mod Assensvej og busholdeplads.
- De to områder der udgør bassinet forbindes med en \varnothing 1000 under Ejersmindevej.
- Der etableres en 2 meter zone mellem matrikelgrænse og bassinkant, hvor terrænet ikke ændres, dvs. så kanten af bassinet starter en afstand fra beboelse. Ved Assensvej og matrikel nord for bassinet etableres ikke 2 meter zone.



Figur B6: Inddragelse af 7 matrikler ved Ejersmindevej.

Resultatet fra en CDS regn T=50 år inkl. en sikkerhedsfaktor på 1,5 er vist i figur B7. Beregninger på systemet med udvidet bassinvolumen ved Ejersmindevej og Mågebakken, viser at bassinet har tilstrækkelig kapacitet til at klare en 50-års regn med sikkerhedsfaktor.



Figur B7: Maksimale vanddybder for CDS regn T=50 år med sikkerhedsfaktor 1,5.

For at undgå vand på vejen syd for bassinet ved Mågebakken er der etableret riste i vejen, se figur B8.



Figur B8: Etablering af riste i vejen syd for bassin ved Mågebakken for at undgå opstuvning under ekstrem regn.

B.1.4 Udførelse

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

Bassinet stod færdig sommeren 2009. Billeder fra området er vist i figur B9.



Figur B9: Billeder af bassiner ved Mågebakken og Ejersmindevej.

A P P E N D I K S D

Fotokvalitetssikring af DTM, Odense

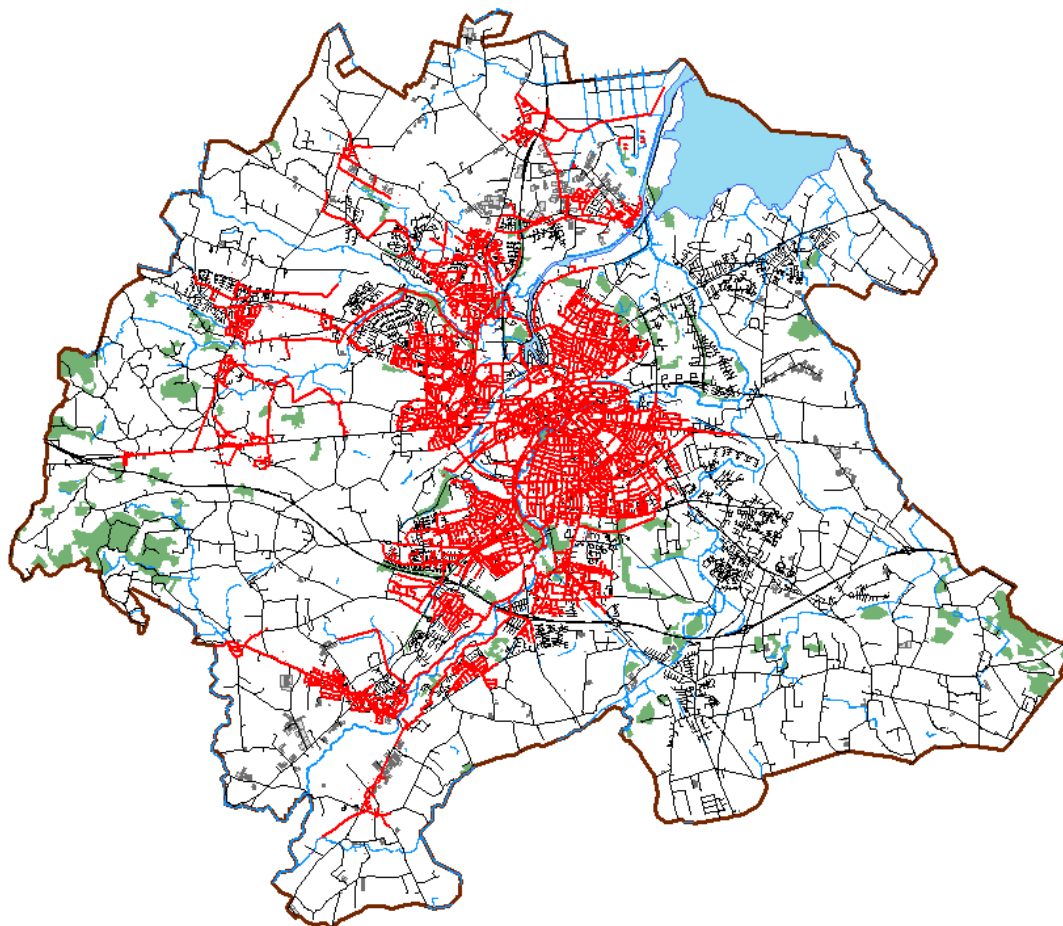
Appendiks D. Fotokvalitetssikring af DTM, Odense

Baggrund og formål

Odense Vandselskab har som mange andre forsyninger, investeret i en DTM model i 1.6x1.6 meter opløsning. Modellen ændres for at kunne beregne vandets vej gennem byen. Først blev underføringer indlagt og DTM modellen blev kvalitetssikret vha. hulkorts beregninger jf. afsnit 4.2.1 Terrænmodel – kvalitetssikring og afsnit 4.2.2. hulkort. Herved blev en lang række DTM data ændret. Ændringerne blev primært foretaget på dataelementer, der principielt er korrekte i DTM modellen, men uhensigtsmæssige i hydraulisk sammenhæng, f.eks. underføringer mv.

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

I første omgang var der speciel stor interesse for de områder, hvor der er fællessystemer. Figur D1 viser et omrids af Odense kommune samt (med rødt) modelområderne. Som det fremgår af skitsen, er der tale om et meget stort område, så en slavisk gennemgang "fra hus til hus" ville være en uoverkommelig opgave. Derfor måtte der findes en strategi for, hvordan hele området kunne kvalitetssikres på en overkommelig fremgangsmåde.



Figur D1: Omrids af Odense kommune. Med rødt, er vist de områder, der indgik i modelleringen.

Metode og planlægning

Der findes gode og kalibrerede MOUSE modeller for fællessystemet i Odense. Enkelte indledende storskala beregninger med 1D-1D modeller, var allerede gennemført for hele området (jvf. afsnit 4.2.5 Kombineret hydrodynamisk afløbsmodel og overflademodel 1D-1D). Figur D2 viser et lille udsnit af en beregning med en meget stor regnhændelse, kombineret med klimafaktor – stor nok til at give oversvømmelser i langt de fleste fordybninger.



Figur D2: 1D-1D beregninger blev gennemført for regnvands- og fællessystemet for en meget stor fiktiv regnhændelse – en regnhændelse meget kraftigere end serviceniveauet kræver. Herover er vist et udsnit af resultatet.

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

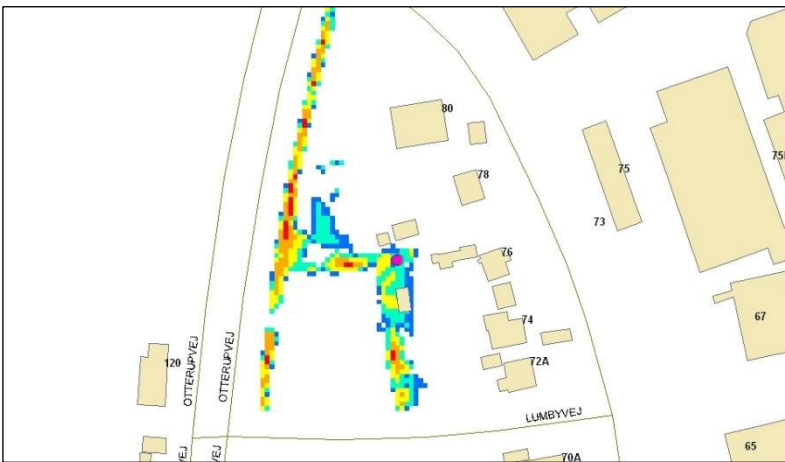
- områder hvor der muligvis kunne være direkte forbindelse til grøfter og lignende som af den ene eller anden grund ikke eksisterede i DTM modellen
- nedkørsler, kælder- og lysskakter – hvor det kunne være usikkert om en kant eller forhøjning i virkeligheden ville spærre for vandet. DTM modellens opløsning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

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

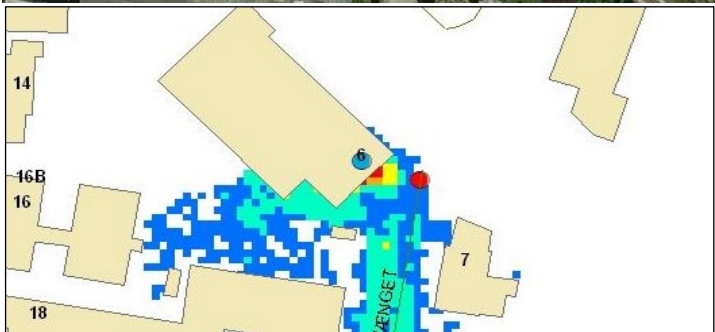
For alle 150 lokaliteter blev, der udarbejdet GIS plot og noter til brug ved fotografering. Figur D3 til figur D6, viser eksempler på resultaterne af den indledende datagennemgang.



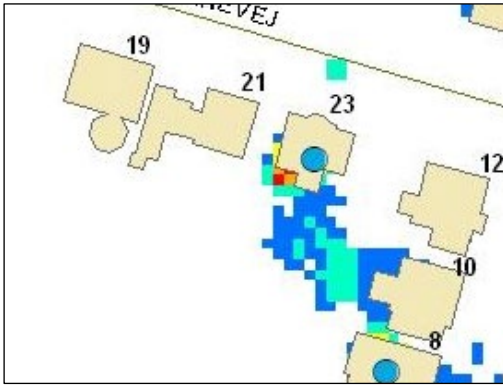
Figur D3: Det virker ikke logisk, at siloer beliggende i en fordybning, ikke er beskyttet af en kant.



Figur D4: Der kan være forbindelse til en vandfyldt grøft med forbindelse til Stavids Å.



Figur D5: Af luftfoto er det ikke muligt, at afgøre om der rent faktisk er en fordybning ved bygningen. Endvidere vil der ofte være en grøft eller lignende langs banelegemet, hvor der også kan afvandes fra de omkringliggende områder.



Figur D6: DTM data antyder en kældernedgang eller en lysskakt ved villaen på nr. 23. Det kan kun afgøres "on site" om der er en kant, der kan forhindre vandet i at løbe ned i kælderen.

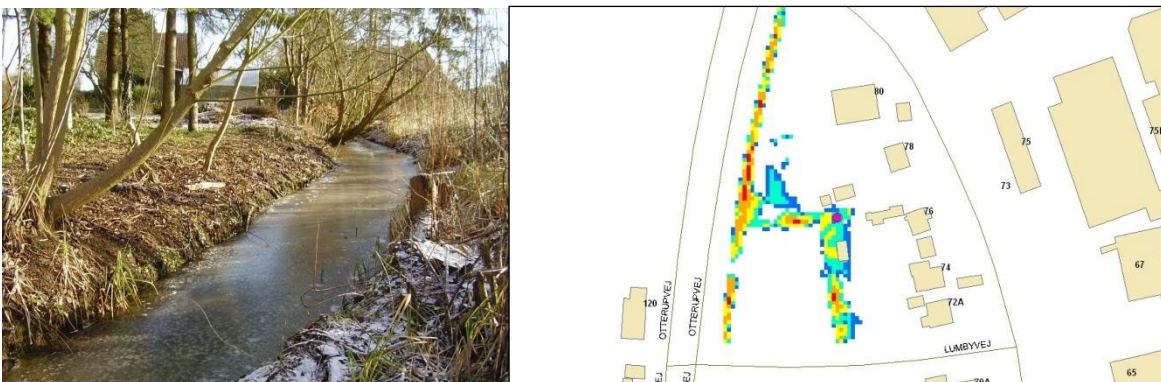
Resultat af "on site" foto analyse

Alle 150 lokaliteter blev besøgt, fotograferet og beskrevet af tredje mand, hvorefter hvert foto blev gennemgået og analyseret, for at afgøre kvalitet og reelle hydrauliske forhold. Tidsforbruget til fotografering og beskrivelse var ca. 2 uger.

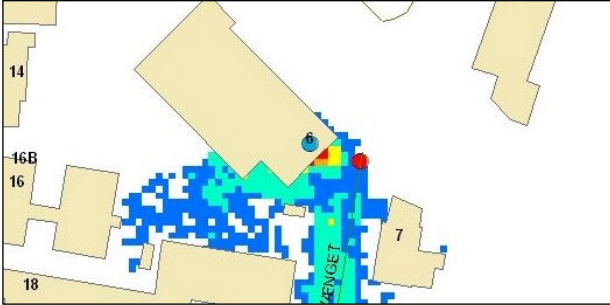
Fotoanalysen viste, at der kun var et overskueligt antal rettelser til DTM modellen og primært rettelser til mure og kanter, der er smallere end opløsningen i DTM-modellen. Figur D7 til figur D10 viser eksempler på resultat af fotoanalysen.



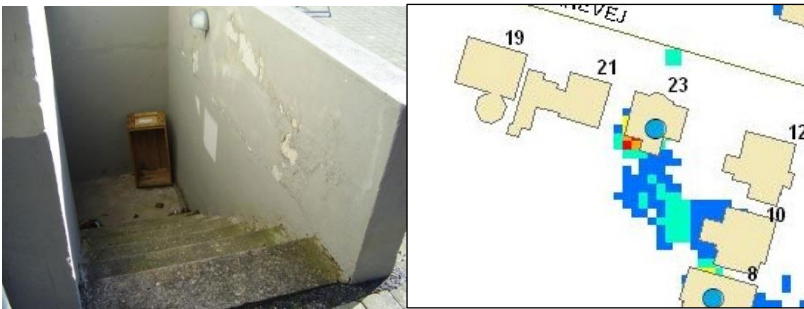
Figur D7: ca. 2 meter ned ved siloerne, ca. 25 cm kant omkring siloerne. Kanten er ikke beskrevet i DTM data pga. dataopløsningen på 1.6 m, men i hydraulisk sammenhæng, er den vigtig idet vandet ikke ville være løbet ned i silograven.



Figur D8: Området har direkte forbindelse til vandfyldt grøft med udløb til Stavids Å. Hydraulisk set, vil oversvømmelser derfor være reguleret af vandstanden i Stavids Å og niveauet i DTM data, bør reduceres i grøften eller grøften bør indbygges i de hydrauliske modeller.



Figur D9: Ingen grøft langs banelegeme. Lille "gryde" foran vinduesparti. DTM data synes at beskrive terrænet korrekt.



Figur D10: En trappenedgang til kælderen, ingen kant til kælderen. DTM data beskriver ligeledes terrænet korrekt.

A P P E N D I K S E

Valg af afløbsstrategi i Rudersdal Kommune

Appendiks E: Valg af afløbsstrategi i Rudersdal Kommune

I Rudersdal Kommune har Kommunalbestyrelsen besluttet, at kloaksystemet i Holte, Dronninggård og Øverød skal klimatilpasses. I analyserne for områdeplanerne er der regnet på nedenstående fire forskellige strategier med henblik på at finde de billigste, bedst gennemførlige, miljømæssigt mest bæredygtige og langtidsholdbare løsninger for hvert område:

- Opgradering af eksisterende fællessystemer.
- Afkobling af vejvand fra fællessystemet. Der etableres et nyt regnvandssystem, og fællessystemet opgraderes.
- Afkobling af vejvand og regnvand fra et yderligere overfladeareal (som er tilstrækkeligt stort til at fælleskloakken ikke skal opgraderes) fra fællessystemet. Der etableres et nyt regnvandssystem.
- Fuld separatkloakering.

Analysen viser at den eneste praktisk mulige løsning, i disse tre områder, er at gennemføre en fuld separatkloakering ved at lægge nye rør til regnvandet. Vurderingen er ikke baseret på økonomien alene, men medtager en helhedsbetragtning af områdets hydrauliske sammenhæng og muligheder.

For nærmere information henvises til Rudersdals Kommunes hjemmeside: <https://www.rudersdal.dk/omraadeplaner?search=omr%C3%A5depl>

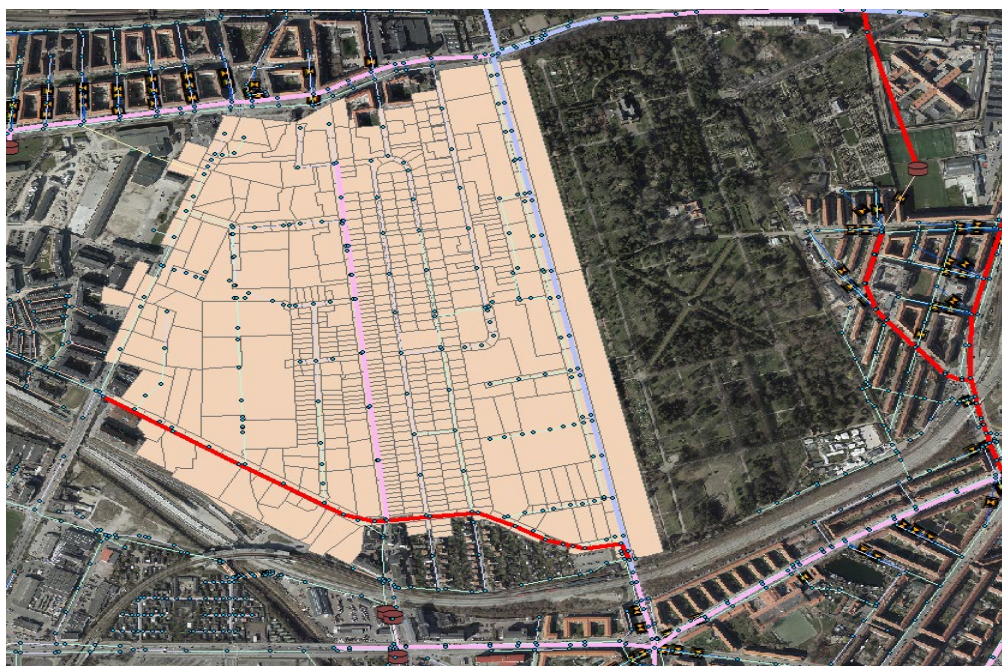
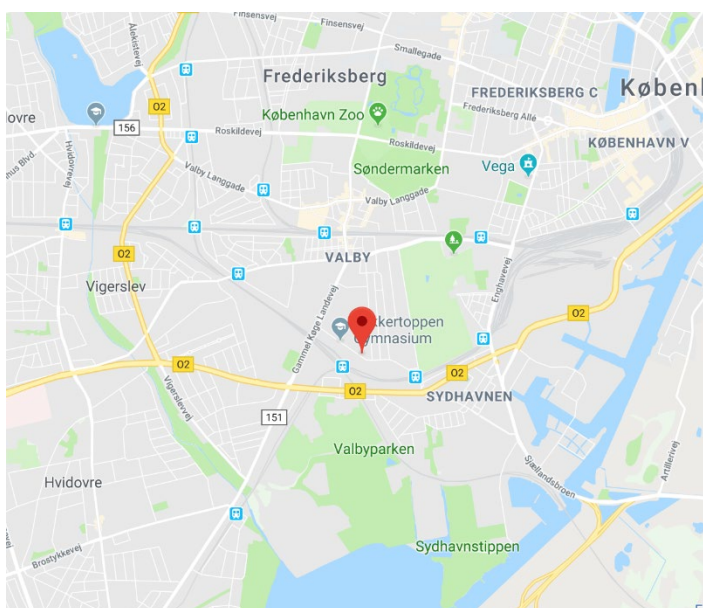
En detaljeret gennemgang af områdeplanerne findes her: https://www.rudersdal.dk/files/media/2019/51/bilag_2_novafos_-_omraadeplaner_for_holte_dronninggaard_og_holte.pdf

A P P E N D I K S F

Skybrudsberegninger i området omkring Carl Jacobsens Vej

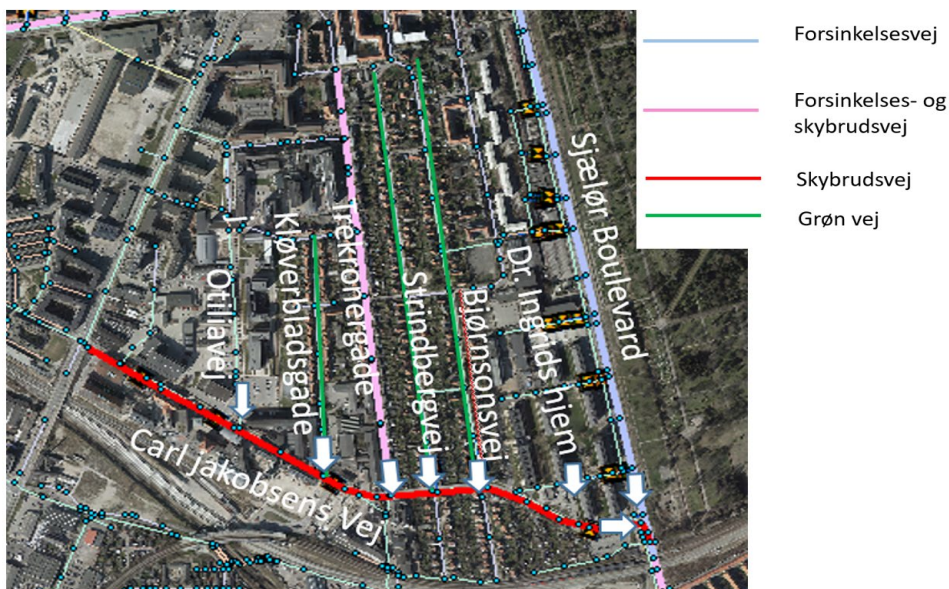
Appendiks F: Skybrudsberegninger i området omkring Carl Jacobsens Vej

Området er placeret i Valby, syd for Vigerslev Allé og er del af skybrudsoplandet Teglholmen ("Konkretisering skybrudsoplande København Vest og Frederiksberg Vest", HOFOR 2013), se figur F1. Området afvander mod vest, til Renseanlæg Damhusåen via Kongens Enghave Pumpestation og primær recipient er Kalveboderne. Området er karakteriseret ved et hårdt befæstet erhvervsområde mod vest, som har været ramt af oversvømmelser i forbindelse med skybrud. Mod øst findes et større sammenhængende villaområde samt etageejendomme. Terrænet hælder fra nord mod syd og størstedelen af afstrømningen på overfladen følger vejene i området. Hovedvandvejen er langs Sjælør Boulevard, hvor der bortledes vand fra nord mod Valbyparken.



Figur F1: Modelområdet

Der er udarbejdet et forslag til bortledning og håndtering af vand under skybrud, som vist i figur F2 ("Konkretisering skybrudsoplande København Vest og Frederiksberg Vest", HOFOR 2013). Forslaget består i forsinkelelse af vand på Sjælør Boulevard, implementering af Grønne veje på Kløverbladsgade, Strindbergvej og Bjørnsonsvej samt anvendelse af Carl Jacobsens Vej som Skybrudsvej.



Figur F2: Skybrudskonkretisering for området nord for Carl Jacobsens vej

HOFOR har gennem de sidste år opdateret alle deres afløbsmodeller baseret på ledningsregistreringen samt en kortlægning af overfladen vha. luftfoto, CIR data samt FOT data. I 2018 er alle skybrudselementer ensrettet og koblet med de opdaterede afløbsmodeller.

HOFOR har ønsket at undersøge forskellige metoder til beregning af vand på terræn under skybrud. I det pågældende område har de derfor sammenlignet vandføringer i knudepunkter for:

1. Skybrudselementer koblet med afløbsmodellen beregnet i Mike Urban (1d-1d)
2. Skybrudselementer koblet med afløbsmodellen beregnet i Mike Urban (1d-1d) samt implementering af det omkringliggende terræn i Mike 21 (Mike Flood)

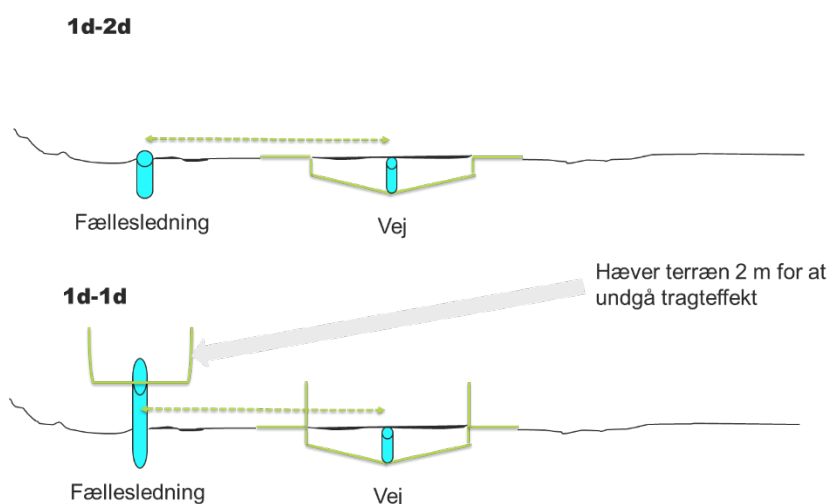
Beregningsforudsætninger

Der er opstillet en 1d-1d model, hvor de nuværende veje er implementeret i Mike Urban. De enkelte skybrudselementer er indlagt i Mike Urban og simuleret som vist i tabel H1.

Tabel H1: Skybrudselementer

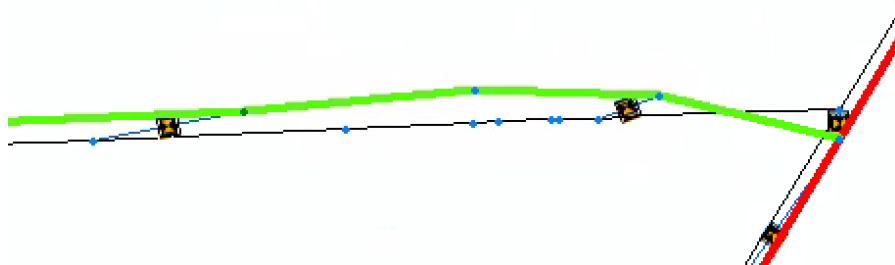
Skybrudselement	Dimension af skybrudselement	Oplande	Manning tal
Grønne veje	Der indsættes fiktive rør til forsinkelse	Der indsættes et initialtab på 30 mm på selve vejarealet	45
Forsinkelsesvej	CRS profil	Oplande tilsluttet kloak hvorfra der sker overløb	15
Forsinkelses- og skybrudsvej	CRS profil	Oplande tilsluttet kloak hvorfra der sker overløb	25
Skybrudsvej	CRS profil	Oplande tilsluttet kloak hvorfra der sker overløb	45

I 1d-1d beregningen uden udveksling med overfladen er terrænet hævet 2 m for at undgå tragteffekt, se figur F3. Koblingen med overfladen i 2d beregningen er foretaget ved at indsætte brønde ved de laveste punkter langs vejen.



Figur F3: Udveksling mellem rør og vand i hhv. 1d-2d og 1d-1d beregningen.

Forsinkelsesvejen simuleres ved at lade vandet strømme i fiktive rør med lavt Manningtal.



Figur F4: Forsinkelsesvej, Sjælør Boulevard

Der er anvendt en CDS 100 års regn om 75 år, 4 timers regn, klimafaktor 1,3, sikkerhedsfaktor 1,1.

Hydrologiske parametre

Regn på befæstede arealer: initialtab 0,6 mm, konc. tid 7-10 min

Regn på grønne arealer: initial tab 50 mm og fratrækkes nedsvivning $1\mu\text{m/s}$, konc. tid 40 min eller mere.

Implementering af veje i hhv. 1d-2d modellen og i 1d-1d modellen.

Resultater

Maksimal vandstand ved en 100 års hændelse og vandstand efter peak er vist i figur F5. Det ses at der stadig er vand i oplandet, som ikke er afstrømmet i 1D-2D Mike Flood beregningen.

Ved beregning, kun i rørmodellen, vil vandet derfor strømme for hurtigt af, da effekten af forsinkelse i oplandet ikke er medtaget.



Figur F5: Maksimal vandstand ved en 100-årshændelse samt vandstand i slutningen af hændelsen (nederst)

Sammenlignes vandføringen i forskellige knudepunkter, beregnes at det maksimale flow reduceres med gennemsnitlig 35 %, (se tabel H2). Konklusionen er, at der generelt beregnes store forskelle i hastigheder og vandføringer på vejene. Det kan have betydning ved kapacitets vurdering af vejprofiler, vurdering af kritiske hastigheder eller hvis vand på overfladen skal ledes gennem rør under en forhindring på overfladen.

Tabel H2: Sammenligning af vandføring, beregnet med 2 forskellige metoder.

Veje	Maks. Flow (m ³ /s)	Maks. Flow (m ³ /s)
	1d-1d	1d-2d
Ottiliavej	1,5	0,75
Kløverbladsgade	0,56	0,4
Trekronergade	1,05	0,77
Strindbergvej	0,93	0,6
Bjørnsonsvej	0,98	0,68
Dr. Ingridshjem	0	0,04

Der er vigtigt at medtage forsinkelse eller afstrømning på overfladen i hele oplandet. I den pågældende beregning var det kun skybrudselementer, der blev medtaget i beregningen i 1D. Her kunne det være hensigtsmæssigt, at udvide modellen til at indeholde alle veje i 1D samt medtage det omkringliggende terræn i enten 2D eller 1D.

A P P E N D I K S G

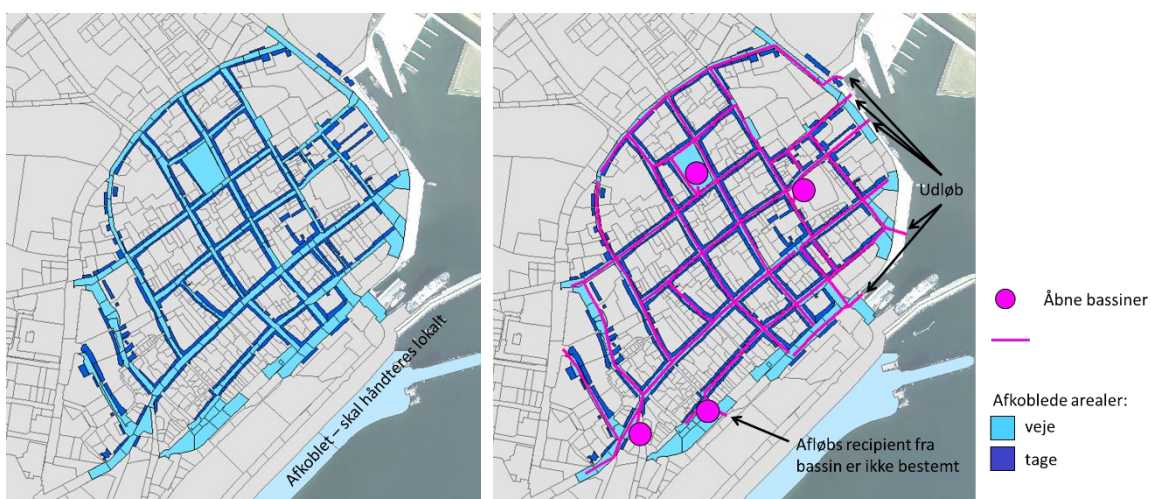
Helsingør Centrum

Appendiks G: Helsingør Centrum

Helsingør Centrum er fælleskloakeret og består af relativ tæt by, med befæstelsesgrader i store dele af byen, på mellem 60 og 100 %. I systemet er der en begrænset bassinkapacitet og en række overløb til Øresund.

I forbindelse med klimatilpasningsplanlægningen af Helsingør, er der gennemført omkostningsberegninger der viser, at traditionel klimatilpasning af Helsingør Centrum, ikke står mål med den skadesreduktion som klimatilpasningen giver. Derfor er andre mere utraditionelle muligheder undersøgt. Herunder muligheder for at afkoble regnvand fra veje og vejvendte tagflader samt lede det mod havet i åbne og overfladenære render. Figur G1 viser omfanget af den nødvendige afkobling til venstre og de nødvendige render og bassiner til højre.

Der er relativt store skader ved oversvømmelser i Helsingør Centrum, alene pga. at bygningsmassen er stor og meget tæt. Det har dertil vist sig, at mulighederne for at gennemføre en alternativ klimatilpasning og evt. skybrudssikring er gode. Man kan formentlig relativt billigt separatkloakere vejvendte tagflader og veje og samtidig kan åbne render harmonere med Helsingør Kommunes investeringsplan for Bykernen.



Figur G1: Skitse over omfanget af afkobling samt åbne render og bassiner.

Dynamiske beregninger er gennemført med en hydraulisk model, hvor åbne render, eksisterende fælleskloak og overfladearealer er integreret i samme system. Figur G2 illustrerer udbredelsen af oversvømmelser ved forskellige gentagelsesperioder i hhv. 2017 og 2117 i det eksisterende system og ved tilpasning af systemet, så de åbne render kan håndtere fremtidige regn med gentagelsesperioder på 10, 20, 50 og 100 år.



Oversvømmelsens udbredelse for forskellige gentagelsesperioder i hhv. 2017 og 2117 svarende til farverne:

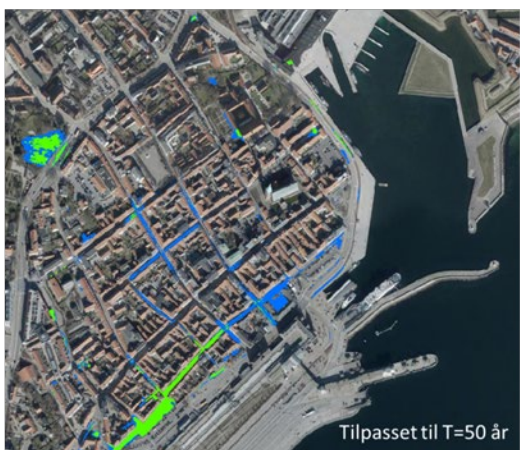
$$T_{2117} = 10 \text{ år} = T_{2017} = 30$$

$$T_{2117} = 20 \text{ år} = T_{2017} = 65$$

$$T_{2117} = 50 \text{ år} = T_{2017} = 180$$

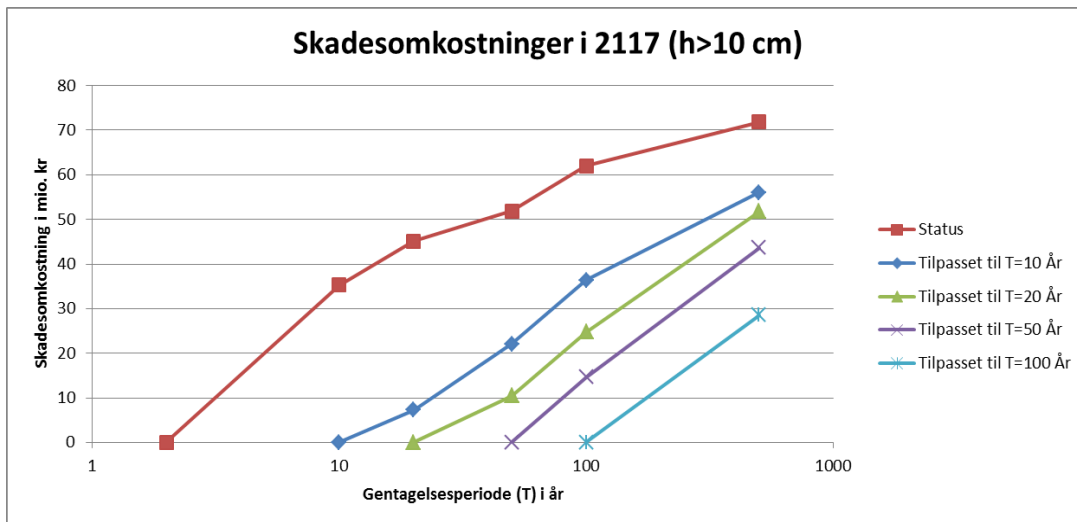
$$T_{2117} = 100 \text{ år} = T_{2017} = 450$$

$$T_{2117} = 500 \text{ år} = T_{2017} = 2500$$



Figur G2: Oversvømmelseskort for vandstande større end 10 cm på terræn. Hver figur viser oversvømmelser for regn med gentagelsesperioder svarende til regn med klimafaktor som er vist med farver svarende til symbolforklaringen øverst til højre. Figurerne svarer til: status (ikke tilpasset), klimatilpasset (T=10 år), og skybrudstilpasset til hhv. T= 20, 50 og 100 år (angivet nederst i højre hjørne på hver figur).

Oversvømmelseskortene er anvendt til at beregne skadesprofiler for de forskellige sikringsniveauer, som vist for fremtiden i figur G3.

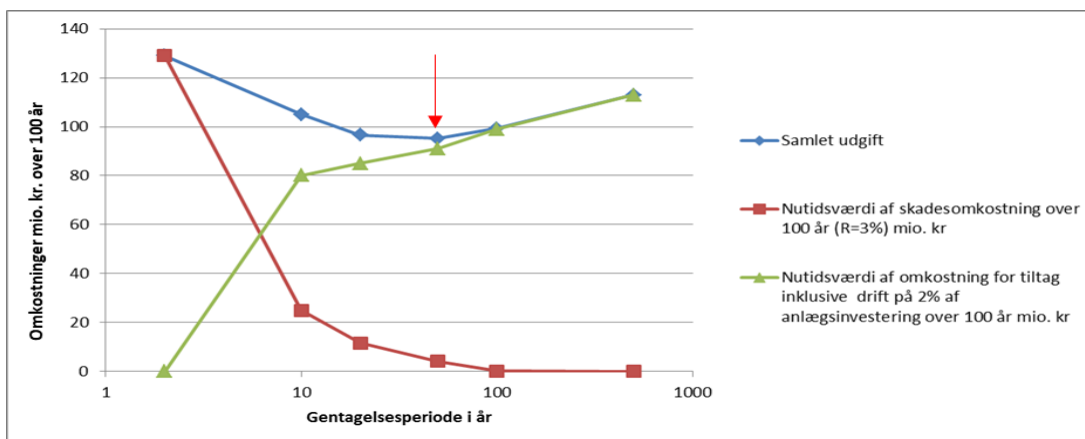


Figur G3: Skadesomkostninger beregnet med vandstande større end 10 cm som funktion af gentagelsesperioden i fremtiden (2117)

Skadesprofilerne for nutidige forhold, er tilsvarende beregnet og gennemsnitlige årlige omkostninger er opgjort.

På baggrund af de integrerede skybrudsberegninger, er restskader og løsningsomkostninger beregnet for sikring til forskellige gentagelsesperioder og de samlede omkostninger er beregnet. Se figur G4.

Det optimale serviceniveau for tilpasning, er der hvor de samlede omkostninger er laveste. Beregningerne viser, at det i dette tilfælde er økonomisk optimalt, at sikre imod skader til et højere niveau end gentagelsesperioder på 10 år, optimeringen viser at det optimale serviceniveau er ca. 50 år.



Figur G4: Nutidsværdi af udgifter som funktion af sikringsniveauet. Den røde pil indikerer det mest optimale tilpasningsniveau