

Klimatilpasning af afløbssystemer og metodeafprøvning. Workshop som arbejdsmetode.

Karsten Arnbjerg-Nielsen
COWI

Tina Kunnerup & Niels Aagaard Jensen
NIRAS

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

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

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

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	9
1 INDLEDNING	11
2 KLIMAÆNDRINGERS BETYDNING FOR VANDETS KREDSLØB I BYER	12
2.1 KLIMAÆNDRINGERNES FORVENTEDE STØRRELSE OG EFFEKT PÅ VAND I BYER	12
2.2 KLIMATILPASNING OG RISIKOANALYSE	12
2.3 TILPASNINGSTRATEGI: VALG MELLEM ÆNDRING AF RISIKO ELLER ÆNDRING AF KONSEKVENNS	13
3 FASTLÆGGELSE AF MÅLSÆTNING FOR WORKSHOP	16
3.1 EKSTREM NEDBØR	16
3.2 EKSTREM VANDSTAND	17
4 TILVEJEBRINGELSE AF DATAGRUNDLAG TIL VALG AF KLIMATILPASNINGSTILTAG	19
4.1 EKSTREM REGN	19
4.2 EKSTREMVANDSTAND	21
4.3 ERFARINGSOPSAMLING	23
5 KONKLUSION	25
6 REFERENCER	27

Bilag A Eksempel på workshop gennemført med Roskilde og Aalborg

Forord

Embedsmænd fra Roskilde og Aalborg Kommuner har lavet en grov screening af de økonomiske og tekniske konsekvenser af aktivt at tilpasse sig til de klimaændringer, der forventes at forekomme i løbet af de næste 100 år. Screeningen fokuserer på oversvømmelser af byområder.

Formålet med denne rapport er at tjene til inspiration og vejledning til andre kommuner, der ønsker at foretage en tilsvarende risikoscreening. Vejledningen er rettet mod hele den kommunale administration. Arbejdet er tværfagligt og kræver inddragelse af især forsyninger, byplanlæggere, miljømyndighed og beredskabsområdet.

Rapporten er udarbejdet af Karsten Arnbjerg, COWI, Tina Kunnerup, NIRAS, og Niels Aagaard Jensen, NIRAS. Den er blevet kommenteret af deltagerne fra workshoppen, Miljøstyrelsen samt en følgegruppe nedsat af Miljøstyrelsen.

På Workshoppen deltog følgende personer:

- Bo Laden, Aalborg Kommune, kloakforsyningen
- Peter Mikkelsen, Aalborg Kommune, Plan & Byg
- Søren A. B. Jensen, Aalborg Kommune, Trafik og veje
- Tina Kunnerup, NIRAS
- Niels Aagaard Jensen, NIRAS
- Christian Seidelin, NIRAS
- Morten Steen Sørensen, Envidan (dag 1)
- Signe Gudiksen, Roskilde Kommune, Roskilde Forsyning
- Henrik Dehn, Roskilde Kommune, Roskilde Forsyning
- Jakob B Jacobsen, Roskilde Kommune, Lokalplaner, Roskilde Forsyning
- Claus Thorsen, Roskilde Kommune, Park og Vej
- Jakob Hamburger Hansen, COWI
- Dorthe B Olsen, COWI
- Helene Sneftrup, COWI
- Daniel D de la Cour, COWI
- Karsten Arnbjerg, COWI

Miljøstyrelsens følgegruppe har bestået af følgende personer:

- Ditte Holse, Miljøstyrelsen
- Povl Frich, Miljøstyrelsen
- Vibeke Plesner, Miljøstyrelsen
- Maria Cathrine Nielsen, KL
- Niels Bent Johansen, DANVA
- Signe Gudiksen, Roskilde Kommune
- Bo Laden, Aalborg Kommune
- Karsten Arnbjerg, COWI

Der har været afholdt fire møder med følgegruppen, hvor rapportens indhold er drøftet.

Projektet har været udbudt af Miljøstyrelsens Klimakontor. Rapporten er finansieret af Miljøstyrelsen med medfinansiering af Roskilde Forsyning og Aalborg Kommune Forsyningsvirksomhederne.

Projektet er udført i perioden december 2006 – marts 2007.

Sammenfatning og konklusioner

Indledning og afgrænsning

Klimaændringerne forventes at medføre væsentlige ændringer i vandets kredsløb i Danmark. For byerne er konsekvenserne bl.a. øget havvandspejl samt hyppigere og voldsommere ekstremregn. Nærværende projekt foreslår en arbejdsmetode til at undersøge betydningen af disse ændringer.

Der har i dette projekt været fokuseret på, hvorledes der kan skabes en fælles kommunal tilgang til problemstillingerne forårsaget af klimaændringer, samt hvordan der mest hensigtsmæssigt foretages en tilpasning til de forventede klimaændringer.

Metode

En del af projektet har været at afprøve, hvilket datamateriale der var nødvendigt og tilstrækkeligt til at lave en screening for konsekvenser af stigende havvandsstand og kraftigere ekstremregn. I den forbindelse blev der afholdt en workshop over to dage med deltagelse af kommunale embedsmænd fra Aalborg og Roskilde kommuner samt forskellige fagekspertes fra rådgiverne.

Fremgangsmåden i forbindelse med afholdelse af en workshop kan være:

- Fastlæggelse af målsætning for workshopen
- Udarbejdelse af datagrundlag
- Gennemførelse af workshop
- Efterbearbejdning af resultater fra workshopen

Denne rapport beskæftiger sig især med de to øverste af disse punkter.

Målsætningen for workshopen kan i forbindelse med ekstremregn være:

- Overblik over omfang
- Fokus på særlige udsatte områder
- Fastlæggelse af fremtidigt serviceniveau
- Nøgletal for skader i forhold til nøgletal for udbedring af skader
- Konkrete løsningsforslag
- Behov for beredskab i forbindelse med ekstrem nedbør

I forbindelse med ekstrem vandstand kan målsætningen være:

- Berørte arealer, erkendelse af omfang. Har vi et problem?
- Er der særligt vitale steder/bygninger, der skal beskyttes frem for andre områder.
- Omfanget af skader
- Omkostninger forbundet med skader
- Mulige løsninger
- Omkostninger forbundet med løsninger

På workshopen er det nødvendigt med et grundigt datamateriale, der viser, hvilke konsekvenser klimaforandringerne har for den enkelte kommune. Dette kan være kortmateriale, der viser:

- Omfanget af opstuvning til terræn fra afløbssystemet under ekstremregn
- Strømningsveje og lavninger i terrænet
- Arealer beliggende under en fremtidig kritisk kote i forbindelse med ekstremvandstand
- Kort med angivelse af lokale erfaringer, så som kendte problematikker og registrerede skader

Konklusioner og videre arbejde

Den metode, der beskrives i nærværende rapport, er blevet afprøvet på to kommuner, Roskilde og Aalborg. På baggrund af bl.a. denne case konkluderes følgende:

- Den foreslåede metode er hensigtsmæssig til at sætte fokus på behovet for klimatilpasning på tværs af kommunen
- Det beskrevne beslutningsgrundlag for ekstremregn og havvandsstand var tilstrækkeligt og hensigtsmæssigt i forhold til gennemførelse af den risiko-screening, der var formålet med undersøgelsen
- Der kan være behov for tilsvarende overordnede beslutningsgrundlag for andre typer af klimaændringer der forårsager skader i byrum. Embedsmændene fra kommunerne fremhævede specifikt oversvømmelser forårsaget af højt grundvandsspejl og stor afstrømning via vandløb

Der arbejdes i skrivende stund videre med resultaterne fra workshoppen i de involverede kommuner. I Aalborg indarbejdes erfaringerne blandt andet i kommende konkrete anlægsopgaver, mens erfaringerne i Roskilde blandt andet udnyttes i et større fokus på systematisk samarbejde på tværs i den kommunale forvaltning i forbindelse med udarbejdelse af en fælles kommunal strategi for klimatilpasning. Endvidere arbejder Roskilde på en yderligere forbedring af datamaterialet.

Summary and conclusions

Introduction and scope

Climate changes are expected to cause significant changes in the water cycle in Denmark. In urban areas, some of the consequences will be increased sea water level and more frequent and heavy extreme rainfall. This project suggests an approach for analysing the consequences of these changes at the municipal government level.

The project has focused on creating a joint municipal approach to the problems caused by climate changes and finding the most adequate adaptation to the expected climate changes.

Method

Part of the project has been to test the need for data material to screen the consequences of the increased sea water level and extreme rainfall. In this connection, a two-day workshop was arranged with participation of officials from Aalborg and Roskilde municipalities and external experts.

The steps needed for a successful workshop are:

- Determination of objective of the workshop
- Preparation of basic data
- Realisation of the workshop
- Processing of results from the workshop

This report deals with the two first bullets, i.e. objective and basic data.

Concerning extreme rain, the objective of the workshop could be:

- Review of scope
- Focus on vulnerable areas
- Determination of future service level
- Key figures on damage compared to key figures on damage improvement
- Specific solutions
- Need for emergency plans in connection with extreme rain

In connection with extreme water level the objective could be:

- Identification of affected areas, recognition of scope. Do we have a problem?
- Are there particularly vital places/buildings, which must be protected prior other areas
- Scope of damage
- Costs related to damage
- Possible solutions
- Costs related to solutions

For the workshop, it is necessary to have thorough data material showing the consequences for the individual municipalities. This might include maps showing:

- The extent of surcharge to terrain from sewage systems during heavy rain
- Flow movement on terrain and local depressions where water will be stored temporarily
- Areas located under a future critical level in connection with extreme water level
- Map with indication of local experience, e.g. known problems and registered damage

Conclusions and future work

The method described in this report has been tested in two municipalities, i.e. Roskilde and Aalborg. Based on these two cases, the following is concluded:

- The suggested method is suitable for placing focus on the need for climate adaptation across the municipality
- The described basis for decision on extreme rain and sea water level was sufficient and suitable in relation to risk screening which was the objective of this study
- A similar basis for decision could be necessary for other types of climate changes causing damage in cities. The municipal officials emphasized flooding caused by high groundwater level and heavy runoff through streams

At the time of writing, the results from the workshop are being further processed in the municipalities involved. In Aalborg, the results are incorporated into specific civil works projects, while the experience in Roskilde is used to bring a systematic cooperation across the municipal administration into focus in connection with preparation of a joint municipal strategy for climate adaptation. Furthermore, Roskilde municipality is working on a further improvement of the data material.

1 Indledning

Klimaændringerne forventes i dag at ville medføre væsentlige ændringer i vandets kredsløb i Danmark. For byerne er konsekvenserne bl.a. øget havvandspejl samt hyppigere og voldsommere ekstremregn. Det har stor samfundsmæssig betydning, fordi der er - og fortsat bliver - foretaget betydelige, langsigtede investeringer i infrastruktur, der påvirkes af ændringerne. Som eksempler kan nævnes bygninger, vejafvanding, kloakker og renseanlæg. I dette projekt fokuseres på ekstrem havvandstand og ekstreme regnhændelser.

Målet med nærværende rapport er at inspirere kommuner til at tage højde for klimaændringer på kort og lang sigt i forbindelse med byers udvikling. Det er et væsentligt udgangspunkt, at klimaændringerne medfører behov for ændrede metoder til håndtering af afvanding af byer. De ændrede metoder indebærer bl.a. et øget behov for at kommunens fagområder arbejder sammen om fælles løsninger, der gavner byens udvikling på både kort og langt sigt.

Rapporten tager udgangspunkt i, at der udføres minimum en workshop, hvor alle de relevante fagområder er til stede. Denne arbejdsmetode har været afprøvet med succes sammen med to kommuner. Arbejdet kan dog også udføres uden workshops. Uanset arbejdsmetoden er det forfatterens opfattelse, at et positivt resultat kræver inddragelse af embedsmænd i forsyninger, byplanlæggere, miljømyndighed og beredskabsområdet. Endvidere skal det sikres, at den fornødne ekspertise inden for risikoanalyse, klimaændringer og -tilpasning, økonomi, håndtering af vand i byer og proceskonsulenter er til stede.

Rapporten er en af to rapporter fra et projekt udbudt af Miljøstyrelsen med følgende titel: " Fase 2 – klimatilpasning af afløbssystemer og metodeafprøvning". Den anden af rapporterne (Arnbjerg-Nielsen *et al*, 2007b) fokuserer på resultaterne af den økonomiske analyse af de to byområder. Nærværende rapport fokuserer på, hvordan resultaterne er opnået, herunder arbejdsprocessen frem mod resultatet.

2 Klimaændringers betydning for vandets kredsløb i byer

2.1 Klimaændringernes forventede størrelse og effekt på vand i byer

Gennemsnitstemperaturen i Danmark er i dag 7,6°C. Menneskeskabte klimaændringer forventes at medføre, at gennemsnitstemperaturen vil stige mellem 1,4 og 3,1 grader C mod slutningen af dette århundrede. Den faktiske stigning vil afhænge af, hvordan samfundet udvikler sig, og i hvilket omfang det lykkes at begrænse de globale udledninger af menneskeskabte drivhusgasser (Jørgensen *et al*, 2007).

Ændringen af gennemsnitstemperaturen har betydning for de ekstreme temperaturer, der vil forekomme. Temperaturstigningen vil således betyde, at der jævnligt vil optræde vintre stort set uden frost, ligesom hedebølger om sommeren vil være hyppigere, længerevarende og varmere end vi kender det i dag.

Vandets kredsløb påvirkes af ændringerne i temperaturen. Dette vil påvirke byerne og medføre øget risiko for skader. Det skyldes, at danske byer er bygget til at håndtere de vejr-situationer, som optræder i Danmark i dag. Fremover skal byer i Danmark indrettes til at kunne håndtere de vandmængder, som byer i Midt- og Sydeuropa skal håndtere i dag.

Det er alle typer af vand, der vil blive påvirket. I Tabel 1 er angivet de væsentligste forekomster af vand samt de ændringer, som klimaændringerne forventes at medføre. Det fremgår af tabellen, at der for alle typer af vand er risiko for, at store økonomiske værdier i byerne vil gå tabt, såfremt der ikke sker en tilpasning. I det følgende fokuseres dog kun på nedbør og havvandsstand.

Tabel 1: Sammenhæng mellem den forventede ændring i vandets kredsløb og den primære risiko det forventes at udgøre for værdier i byen.

	Forventet ændring	Risiko for byområder
Nedbør	Ekstremer vil blive kraftigere	Oversvømmelse
Havvandsstand	Ekstremer bliver kraftigere	Oversvømmelse
Grundvandsstand	Generelt højere i vinterhalvåret	Manglende stabilitet af bygninger og havneværker
Vandløb	Ekstremer bliver kraftigere	Oversvømmelse
	Længerevarende tørkeperioder	Tørlagte vandløb om sommeren

2.2 Klimatilpasning og risikoanalyse

Alle de typer af hændelser, som medfører skade i byer, kan forekomme allerede i dag. Det, som klimaændringerne medfører, er, at sandsynligheden for, at hændelsen optræder, ændres. Som eksempel kan nævnes, at kloakker er dimensioneret til at håndtere en given mængde vand, f.eks. svarende til, at der sker skader i byen hvert 10. år. Arnbjerg-Nielsen *et al* (2007a) vurderer, at

ændringer i ekstremregns hyppighed betyder, at den samme mængde vand vil optræde omtrent hvert 3. år i år 2090. Med andre ord vil den service, som forbrugerne oplever, blive mindsket væsentligt, med mindre der sker en tilpasning.

Ved vurdering af, hvad der er acceptabelt, anvendes ofte risikoanalyser. Ved risikoanalyser er følgende formel af afgørende vigtighed:

$$\text{Risiko} = \text{sandsynlighed} \times \text{konsekvens}$$

svarende til, at risikoen kan være den samme for en lille skade, der sker hyppigt, og for en stor skade, der sker sjældent. Klimaændringerne vil øge sandsynligheden for, at ekstreme hændelser optræder. Hvis byens risiko skal være uændret, må man derfor ændre på konsekvensen for at få ligningen til at gå op. Såfremt der ikke laves tiltag, vil risikoen for skader i byen øges som følge af klimaændringerne.

Ved tilpasning til klimaændringer kan man grundlæggende vælge mellem følgende to scenarier:

- Byen udvikler sig som hidtil, dvs. der benyttes en *status quo* strategi. Det betyder, at man vælger at fastholde, at en given mængde (uhensigtsmæssig) vand skal medføre en given konsekvens. Det vil oftest på kort sigt være en billig løsning, men vil på sigt medføre, at risikoen for skader i byen bliver større.
- Byen udvikler sig under hensyntagen til de forventede klimaændringer. Det betyder, at man vælger at mindske konsekvensen af klimaændringerne for at fastholde samme risiko. Det vil alt andet lige være dyrere på kort sigt, men kan måske betale sig i det lange løb, fordi risikoen ikke bliver større end det, der er acceptabelt i dag. Samtidig opnår byen en højere sikkerhed allerede i dag, som også skal tages med i den samlede opgørelse af gevinster.

I næste afsnit beskrives, hvordan man på en mere systematisk måde kan lave økonomiske vurderinger af, hvorvidt det kan betale sig at mindske konsekvenserne eller leve med et højere risikoniveau.

2.3 Tilpasningsstrategi: valg mellem ændring af risiko eller ændring af konsekvens

Sandsynligheder for ekstreme hændelser udtrykkes ofte i gentagelsesperioder (returperioder). En gentagelsesperiode udtrykker, hvor lang tid der i gennemsnit går mellem så store hændelser. I Tabel 2 er udtrykt, hvor store ændringer der (alt andet lige) kan forventes. I år 2090 forventes det, der i dag svarer til en 100. års vandstandshændelse, at forekomme hvert 1 - 10 år.

Tabel 2. Grove skøn over hvor stor ændringen i ekstreme hændelser er for henholdsvis ekstremregn og ekstremt højvande. Specielt ekstrem højvande vil variere mellem forskellige lokaliteter. Nedenstående tabel for ekstreme højvande gælder ikke for Jyllands vestkyst, hvor ændringerne må forventes at blive større.

	2000	2090
Ekstremregn	Hvert 2. år Hvert 10. år Hvert 100. år	Hvert 0,7 - 1,0 år Hvert 2,5 - 3,5 år Hvert 15. - 30. år
Ekstremt højvande	Hvert 10. år Hvert 100. år	Flere gange hvert år Hvert 1 - 10 år

Økonomisk vurdering af strategi for ekstremregn.

Gennemførelse af de to scenarier, ingen tilpasning og tilpasning til klimaændringerne, vil have forskellige typer af omkostninger, der fordeles mellem forskellige interessenter. I tabel 3 er de samfundsøkonomiske konsekvenser af de to scenarier opgjort. Der er ikke lavet en analyse af, hvem i samfundet der skal bære de forskellige omkostninger, der er forbundet med enten at udføre, eller undlade at udføre klimatilpasning. Udregningen af de klimarelaterede skadesomkostninger er opgjort ud fra en simpel model baseret på risikoanalyse.

Tabel 3. Oversigt over de økonomiske konsekvenser ved to forskellige tilgange til klimatilpasning mod ekstremregn. Udregningen af nøgletalene er gennemgået i den økonomiske hovedrapport. (Arnbjerg-Nielsen *et al*, 2007b)

Scenarier for klimatilpasning mod ekstremregn	Anlægsomkostninger	Skadesomkostninger
Ingen tilpasning, dvs. større risiko (dårligere serviceniveau) i fremtiden	Uændrede	De klimarelaterede skadesomkostninger vil stige fra 0 i år 2007 til ca. 25 % af skaden fra en 100 års hændelse* i år 2090
Tilpasning til samme service, dvs. løbende udbygning af afløbssystemet.	Anlægsomkostningerne vil hvert år være 10 - 20% højere end de ellers ville være.**	Uændrede

* Det der svarer til en 100 års hændelse i 2007

** Baseret på Clausen *et al* (2006) og Arnbjerg-Nielsen *et al* (2007a)

Økonomisk vurdering af strategi for højvande.

Der er ikke en fælles national standard for sikring mod højvande. Der er dog i mange sammenhænge benyttet et beskyttelsesniveau, der modsvarer en hændelse, som optræder hvert 100. år. Det er derfor udgangspunktet for oversigten i tabel 4 over økonomiske konsekvenser ved de to scenarier, ingen tilpasning og tilpasning til klimaændringerne, for ekstreme højvande.

Tabel 4. Oversigt over de økonomiske konsekvenser ved to forskellige tilgange til klimatilpasning mod ekstrem højvande. Udregningen af nøgletalene er gennemgået i den økonomiske hovedrapport.

Scenarier for klimatilpasning mod højvande	Anlægsomkostninger	Skadesomkostninger
Ingen tilpasning, dvs. større risiko (dårligere serviceniveau) i fremtiden	Ingen	De klimarelaterede skadesomkostninger vil stige fra ca. 0 til 1 % af en 100 års hændelse i år 2090
Tilpasning til samme service.	Der vil være tale om engangsudgifter i form af flytning af værdier, bygning af dæmning eller lignende tiltag.	Skadesomkostningerne vil falde når tiltagene er gennemført.

3 Fastlæggelse af målsætning for workshop

Det anbefales, at der som led i arbejdet gennemføres en workshop, hvor alle de relevante embedsmænd og eksperter er til stede. Inden workshoppen gennemføres, skal alle deltagere have en fælles opfattelse af, hvad resultatet af workshoppen skal være. Der er flere muligheder, der alle kan være relevante, ligesom der kan være lokale forhold, som er væsentlige at medtage i workshoppens kommissorium.

Deltagerne kan vælge at fokusere på konkrete løsningstiltag til afhjælpning af lokale problematikker. Her kan de forskellige forvaltningers tilgang til tingene hjælpe med at nedbryde barrierer i forhold til, hvad der kan/ikke kan lade sig gøre. Vælger kommunen denne tilgangsvinkel, vil resultatet blive en række konkrete løsningsmuligheder, som kommunen kan arbejde videre med efter workshoppen.

Alternativt kan deltagerne fokusere på fastlæggelse af nøgletal til anvendelse i det videre arbejde. Udarbejdelse af et overblik over, hvilke omkostninger der er ved de forskellige konsekvenser af ekstremhændelser, vil kunne anvendes i en vurdering af hvor store summer det kan være relevant at investere i afhjælpning af problemerne, hvis der skal være tale om samfundsøkonomisk fordelagtige løsninger. Endvidere kan kommunen som den væsentligste lokale aktør være interesseret i at lave budgetøkonomiske analyser af, hvem der kan og bør foretage investeringerne. Det forekommer relevant at opdele udgifterne mellem følgende interessenter:

- Lodsejere
- Kloakforsyning
- Kommunal myndighed (eventuelt opdelt yderligere)
- Nationale og internationale parter

3.1 Ekstrem nedbør

Når en by rammes af en ekstremregn, der betydeligt overskrider kloaksystemets kapacitet, vil det resultere i opstuvning af kloakvand i kældre og stuvning til terræn. Hvilke konsekvenser terrænstuvningerne får, afhænger meget af topografien. En uheldig kombination af terrænforhold og placering af vitale samfundsfunktioner kan således få meget uheldige konsekvenser.

I forhold til ekstremregn kan resultatet fra workshoppen variere meget afhængigt af indgangsvinklen. Deltagerne skal inden gennemførelsen af workshoppen overveje, på hvilken måde resultaterne skal bidrage til den efterfølgende planlægning i kommunen og forsyningen. De mulige typer af resultater er bl.a.:

- Overblik over omfang
- Fokus på særligt udsatte områder
- Fastlæggelse af fremtidigt serviceniveau

- Nøgletal for skader i forhold til nøgletal for udbedring af skader
- Konkrete løsningsforslag
- Behov for beredskab i forbindelse med ekstrem nedbør

Indledningsvist er det væsentligt at danne sig et overblik over omfanget af forventede skader ved en kraftig nedbørshændelse, f.eks. en hændelse der optræder i gennemsnit 1 gang hvert 100 år. Dermed fastslås, hvorvidt der er tale om et reelt problem.

Det kan desuden være vigtigt at lokalisere områder, hvor en hurtig indsats under ekstremhændelser kan være med til at afhjælpe/reducere konsekvenserne. Det kan bl.a. være lavtliggende områder og lokale lavninger, hvor etablering af nødpumpning kan komme på tale. Kendskab til sådanne konkrete lokaliteter kan samles i en beredskabsplan for ekstrem regn.

Det kan overvejes, om der kan være en fordel i at opgradere serviceniveauet i dele af det kloakerede opland i forhold til det generelle niveau i kommune. Dette kan bl.a. være tilfældet i områder, hvor skadesomkostningerne er store i forhold til økonomien forbundet med at opgradere serviceniveauet. Det skal i den forbindelse sikres, at gældende lovgivning overholdes, herunder generelle principper om lighed for loven.

Opgørelsen af omfanget af skader kan anvendes til at udarbejde nøgletal for økonomien forbundet med forskellige typer af skader såsom kælderoversvømmelser og oversvømmelse af boliger i stueplan. Nøgletallene kan efterfølgende anvendes i planlægningen til fastlæggelse af, hvor store investeringer der ud fra en samfundsøkonomisk tilgangsvinkel kan bruges til tiltag, der afhjælper de opgjorte skader. Nøgletal for skader pr. områder kan også benyttes som udgangspunkt for en bredere afvejning af, hvilke muligheder der er for at lave indgreb der er samfundsøkonomisk optimale. Sådanne nøgletal kan også benyttes i forbindelse med oplysning og gensidig dialog med borgerne i de berørte områder.

På baggrund af lokaliseringen af problemområder, kan deltagerne bruge workshoppen til at identificere mulige tiltag til reducere af konsekvenserne ved ekstremregn. Overordnet set er der to forskellige tilgangsvinkler:

- Etablering af mulighed for øget transport af vand til recipienten. Herved undgås opstuvninger i områderne.
- Etablering af mulighed for kontrolleret tilbageholdelse af regnvand i oplandet. Denne mulighed omfatter også muligheden for, at hver enkelt lodsejer involveres. Herved kontrolleres opstuvningerne i områderne

3.2 Ekstrem vandstand

For kommuner, der ligger langs kysten, vil den stigende ekstremvandstand have betydelige konsekvenser. Områder, der tidligere har været vurderet som uden for risiko i forhold til ekstreme vandstandshændelser, vil i fremtiden ikke længere være uberørte. Forhold, som det kan være væsentligt at få klarlagt i forbindelse med workshoppen er:

- Berørte arealer, erkendelse af omfang. Har vi et problem?

- Er der særligt vitale steder/bygninger, der skal beskyttes frem for andre områder
- Omfanget af skader
- Omkostninger forbundet med skader
- Mulige løsninger
- Omkostninger forbundet med løsninger

Der er primært tre typer af tiltag, som er mulige i forbindelse med stigende ekstremvandstand:

- Sikring af lokalt område i bycentrum (eller andre lokaliteter) ved hjælp af højere koter på kaj- og digeanlæg i bycentrum samt evt. konstruktion af supplerende tekniske anlæg. Det kan være vanskeligt politisk at afgrænse, hvilke områder der skal sikres, og hvilke områder der ikke er omfattet af den særlige sikring.
- Sikring af store områder via større dæmningsanlæg, der via sluser sikrer vandmiljøet til daglig. I forbindelse med bugter og fjorde kan større landområder beskyttes af samme dæmning.
- Området sikres ikke. I stedet sikres en byudvikling, der gradvist flytter de vigtigste anlæg og værdier væk fra området i takt med at risikoen for oversvømmelser øges.

4 Tilvejebringelse af datagrundlag til valg af klimatilpasningstiltag

I det følgende diskuteres, hvordan der kan etableres et beslutningsgrundlag for tilpasning til klimarelaterede ændringer i nedbør og havvandsstand. Niveaueet for vurderingerne modsvarer en grov risiko-screening i en traditionel risikoanalyse. Det er i en konkret analyse vigtigt at inddrage konkrete erfaringer fra embedsmænd og driftspersonale i kommunerne som supplement til de analyser, der diskuteres i det følgende.

Der indsamles to sæt data, et til vurdering af ekstrem vandstand og et til vurdering af ekstrem regn. Af hensyn til tværfagligheden er det vigtigt at overveje, hvordan datamaterialet præsenteres. Hovedparten af bearbejdningerne kan med fordel afbilledes på kort. For nogle vil tekniske baggrundskort være egnede, mens andre faggrupper foretrækker ortofotos eller forskellige kombinationskort.

Et godt kortmateriale er essentielt, når mange faggrupper skal involveres. På baggrund af den workshop, der er gennemført som led i nærværende projekt, kan det anbefales at have en række kort, der viser de forskellige bearbejdninger separat, eventuelt kombineret med et samlet kort, der viser de områder, som berøres af de forskellige scenarier.

Det vil desuden være hensigtsmæssigt, inden workshoppen, at lave en vurdering af, hvilke vitale områder der bør være ekstra fokus på. Der kan her være tale om bl.a. sygehuse, beredskabscentre, kulturelle mindesmærker, særlige handels- og industriområder mv.

4.1 Ekstrem regn

Vurderingerne af ekstremregn baseres på den seneste nationale bearbejdning af ekstremregn (Arnbjerg-Nielsen *et al.*, 2006). Behovet for klimatilpasningen vurderes herefter ved at betragte konsekvenserne af en meget kraftig hændelse. I de samfundsøkonomiske analyser i den økonomiske delrapport er der taget udgangspunkt i en hændelse, der i dag optræder som en 100 års hændelse. Det er en hændelse, der stadig optræder ret sjældent i år 2090, forventeligt hvert 15. - 30. år. Ved vurderingerne vælges en kunstig dimensioneringsregn, som regel en såkaldt CDS-regn.

Konsekvenserne i form af skader for den valgte hændelse vurderes ved at lave en hydrologisk og hydraulisk beregning af afstrømningen via overflader og via afløbssystemet. Det er væsentligt, at vandbalancen overvejes nøje, herunder især befæstelsesgraden og den hydrologiske reduktionsfaktor¹. Uanset eventuel anvendelse af sikkerhedsfaktor i forbindelse med dimensionering af de offentlige afløbssystemer skal der ikke benyttes en sikkerhedsfaktor til

¹ De to parametre, der har størst betydning for vandbalancen ved simulering af afstrømning via afløbssystemer.

beregning af overbelastning af afløbssystemet til brug for vurderingerne af behovet for klimatilpasning.

På figur 1 er det angivet, hvor vandet fra afløbssystemet vil stuve op på terræn en gang hvert 100. år som følge af ekstremregn. Figuren er baseret på en MOUSE-beregning med en kunstig dimensioneringsregn (100 års CDS-regn). Skaderne vil ikke nødvendigvis opstå præcist, hvor vandet stuver på terræn; i stedet vil vandet løbe via overfladen til lavninger i terrænet. Når der igen er plads i afløbssystemet, vil vandet blive afledt via den ledige kapacitet i afløbssystemet. De topografiske forhold er derfor af afgørende betydning for, hvor skaderne vil forekomme. Områder, som det kan være væsentlige at få udpeget, er:

- Lokale lavninger, dvs. fordybninger i terrænet uden mulighed for afstrømning via overfladen.
- Dæmninger og andre forhindringer for overfladisk afstrømning
- Vandløb og kanaler med begrænset vandføringsevne.
- Områder med lave hældninger nedstrøms store arealer hvor afløbssystemet bliver overbelastet væsentligt.

Såfremt der i kommunen er områder, hvor modellerne af afløbssystemerne er mangelfulde, kan en simpel analyse baseres alene på de topografiske forhold. Den ovenfor skitserede bearbejdning er tilstrækkelig til at give et overblik over, hvor de mest kritiske områder i byen er. Oplysningerne kombineres med viden om sårbare områder med henblik på at identificere områder, der eventuelt skal undersøges nærmere i en mere detaljeret risikoanalyse.



Figur 1. Eksempel på resultat af modelberegning af afløbssystem. Af figuren fremgår, hvilke dele af afløbssystemet der overbelastes hvert 100. år (gule prikker) med det nuværende nedbørsmønster.

4.2 Ekstremvandstand

Vurdering af konsekvenserne ved ekstrem vandstand i havet og de indre danske farvande, vil have forskellig relevans for danske kommuner, alt afhængigt af deres placering i forhold til kysten. For kommunerne i den indre del af landet vil påvirkningen kun være indirekte i form af tilbagestuvning via vandløb.

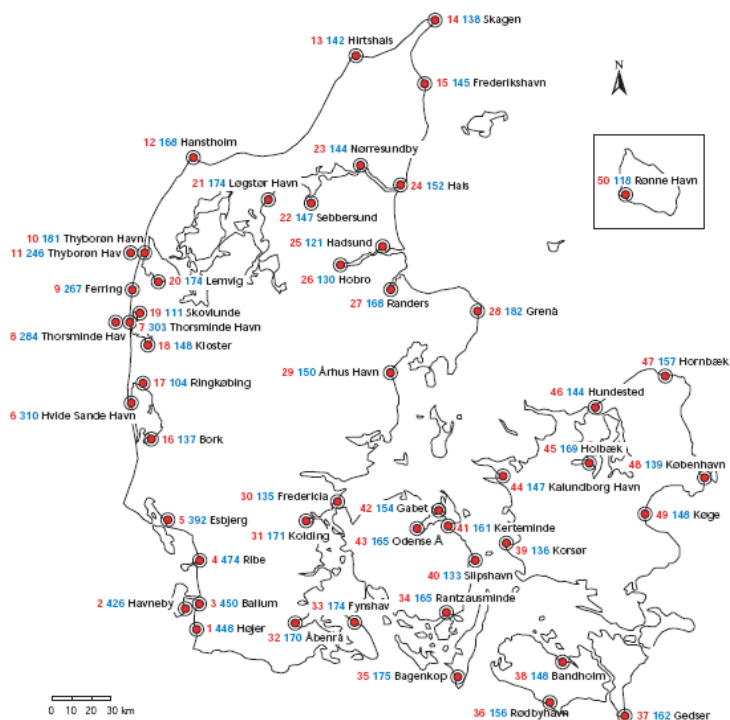
For at kunne vurdere konsekvenserne ved ekstremvandstand er det vigtigt at kende højdeforholdene langs kysten i kommunen. Til dette formål er der brug for en detaljeret højdemodel af de aktuelle områder, typisk i form af en flybaseret laserscanning.

Vurderingen af de aktuelle og fremtidige stuvningsforhold baseres på Kystdirektoratet (2002), eventuelt suppleret med lokale målinger. Stuvningsforholdene nu og i fremtiden vurderes ud fra følgende effekter:

- Aktuel ekstremvandstand ved en 100 års hændelse (varierer regionalt fra 1,3 - 5,0 m)

- Generel landskabshævning/sænkning i området (varierer regionalt fra -1 - +13 cm/100 år)
- Generel forventet stigning i havvandsstanden (nationalt forventes stigning på 0,1 - 1,0 m, med bedste bud ca. 0,36 m)
- Ekstra stigning i ekstreme situationer (nationalt forventes stigning 0,1 - 0,5 m, mest for høje gentagelsesperioder. Tallet er dog meget usikkert)

Kystdirektoratets stationsnet er angivet på figur 2.



Figur 2: Vandstandsstationer i Kystdirektoratets højvandsstatistik 2002 (Kystdirektoratet, 2002). Angivelserne på kortet er **stationsnummer**, **50 års middeltidshændelse** og stationsnavn.

På figur 3 er vist et eksempel på, hvordan forskellige risikozoner kan angives for et byområde. En risiko-zone svarer til en bestemt højde over dagligt havvandstand og dermed en bestemt gentagelsesperiode for oversvømmelse af havvand.



Figur 3: Angivelse af forskellige risikozoner for et kystområde. De røde områder markerer områder, der i dag oversvømmes hyppigt, mens de mørkegrønne områder markerer områder, der ud fra en konservativ vurdering af stigende havvandstand vil blive oversvømmet en gang hvert 100 år i år 2090.

4.3 Erfaringsopsamling

Embedsmænd og eksperter vil ofte have konkrete erfaringer med ekstrem regn og/eller høj vandstand i den konkrete kommune. Disse erfaringer er vigtige at inddrage i arbejdet. Der kan både være tale om erfaringer, der opsamles systematisk i kommunen, og oplysninger, der indhentes konkret til brug i det aktuelle projekt. Eksempler på oplysninger er bl.a.:

- Sammenhæng mellem regnens størrelse og udbredelse og de efterfølgende konsekvenser
- Erfaringerne fra såvel den akutte som efterfølgende indsats
- Indhentede skadesoplysninger
- Oplysninger om vitale samfunksfunktioner (el-, vand- og varmforsyning, hospitaler, kommunikationsknudepunkter etc.), og oplevede erfaringer i tilknytning hertil under ekstremregn.

5 Konklusion

Den metode, der beskrives i nærværende rapport, er blevet afprøvet på to kommuner, Roskilde og Aalborg. På baggrund af bl.a. denne case konkluderes følgende:

- Metoden er hensigtsmæssig til, på tværs af kommunen, at sætte fokus på behovet for klimatilpasning. Ved at gennemføre en workshop for flere kommuner sammen blev der endvidere mulighed for erfaringsudveksling mellem kommunerne.
- Det beskrevne beslutningsgrundlag for ekstremregn og havvandsstand var tilstrækkeligt og hensigtsmæssigt i forhold til gennemførelse af den risiko-screening, der var formålet med undersøgelsen.
- Der kan være behov for tilsvarende overordnede beslutningsgrundlag for andre typer af klimaændringer, der forårsager skader i byrum. Embedsmændene fra kommunerne fremhævede specifikt oversvømmelser forårsaget af højt grundvandsspejl og stor afstrømning via vandløb

Der arbejdes i skrivende stund videre med resultaterne fra workshoppen i de involverede kommuner. Erfaringerne er blevet anvendt til dels at se på indarbejdelse af klimatilpasning i konkrete anlægsopgaver, dels at påbegynde et mere systematisk samarbejde på tværs i den kommunale forvaltning i forbindelse med udarbejdelse af en fælles kommunal strategi for klimatilpasning.

6 Referencer

Arnbjerg-Nielsen, K., Madsen, H., og Mikkelsen, P.S. (2006): Regional variation af ekstremregn i Danmark - Ny bearbejdning (1979 - 2005). Spildevandskomiteens Skrift 28. IDA, København

Arnbjerg-Nielsen, K., Onof, C. og May, W. (2007a): Klimaændringernes betydning for ændringer i kraftig nedbør i høj opløsning i tid og sted. F&U RAPPORT NR. 4 Maj 2007. DANVA, Skanderborg. Under udarbejdelse.

Arnbjerg-Nielsen, K., Sneftrup, H., Hansen, J.H., Olsen, D.B., Seidelin, C., Nielsen, T., Kunnerup, T. (2007b): Klimatilpasning af afløbssystemer og metodeafprøvning. Økonomisk analyse. Miljøprojekt, Miljøstyrelsen. Under udarbejdelse.

Clausen, C.H., Hall, M., Seidelin, C., Schou, J., Brandt, C.W. og Boe, A. (2006): Samfundsøkonomiske analyser i forbindelse med klimatilpasninger. Miljøprojekt 1121, 2006. Miljøstyrelsen, København. ISBN 87-7052-251-0.

Harremoës, P. Pedersen, C.M., Laustsen, A., Sørensen, S. Laden, B., Friis, K., Andersen, H.K., Jens Jørgen Linde, J.J. Peter Steen Mikkelsen, P.S., og Carsten Jakobsen, C. (2005): Funktionspraksis for afløbssystemer under regn. Spildevandskomiteens Skrift 27. IDA, København

Jørgensen, A.M.K., Christensen, O.B. og May, W. (2007): Klimascenarier for Danmark. Projektrapport.
http://www.dmi.dk/dmi/dmi_projektrapport_togradersklimascenarium.pdf.
Downloaded 01.06.2007.

Kystdirektoratet (2002): Højvandsstatistikker 2002.

Eksempel på workshop gennemført med Roskilde og Aalborg

I nærværende bilag gennemgås et eksempel på workshop gennemført med Roskilde og Aalborg kommuner. Målsætningen blev defineret i et tilbud, som COWI og NIRAS afgav til Miljøstyrelsen sammen med afløbsforsyningerne i Roskilde og Aalborg kommuner i november 2006. Der er gennemført én samlet workshop med repræsentanter for de to kommuner. Resultaterne er gennemgået i det følgende. De fælles præmisser gennemgås først, hvorefter eksempler på resultater fra hver af de to kommuner gennemgås separat.

A.1 Fælles præmisser

A.1.1 Målsætning

Målsætningen for den aktuelle workshop var at vurdere de samfundsøkonomiske konsekvenser af de forventelige klimaændringer af ekstrem nedbør og havvandsstand. Betydningen af ændringer i grundvandsstand, vandføring i vandløb og længerevarende tørkeperioder indgår således ikke i undersøgelsen. På forhånd var det besluttet at udføre samfundsøkonomiske analyser af de mulige tiltag.

Undersøgelsen har et niveau svarende til en indledende screening. Det materiale, som fremlægges i det følgende, er således endnu ikke bearbejdet på et sådant niveau, at det er egnet til udpegning af konkrete tiltag i kommunerne.

Formålet med workshoppen var at skabe overblik over:

- Hvor vil skader fra ekstremregn og ekstrem havvandsstand opstå?
- Hvilke typer af skader kan vi forvente vil opstå?
- Hvordan kan de afhjælpes (mulige tiltag/scenarier)?
- Hvilke samfundsøkonomiske udgifter og gevinster kan forventes?

A.1.2 Fremgangsmåde

For at kunne opfylde formålet fyldestgørende blev følgende fagområder fra kommunerne udvalgt til at deltage i workshoppen:

- Kloakforsyningen (planlægning, herunder beredskab for oversvømmelser)
- Vej og park (drift og planlægning)
- Byplanlægning (udstyknings og lokalplaner)

Disse faggrupper var repræsenteret via ansatte i kommunen. I den gennemførte workshop var endvidere en række eksperter repræsenteret via rådgivere:

- "Dataindsamler"
- Økonomer
- Risikoanalytiker
- Workshop-facilitator

Forud for afholdelse af workshoppen havde rådgiverne udarbejdet det materiale, der tjente som beslutningsgrundlag på workshoppen. Materialet dannede grundlag for diskussion omkring mulige konsekvenser og tiltag til afhjælpning af problemer forårsaget af ekstrem vandstand og ekstrem regn.

Workshoppen strakte sig over 2 dage, hvor dag 1 blev brugt til at identificere problemer og mulige løsningstiltag. Dag 2 blev brugt til at perspektivere og samle op på den samfundsøkonomiske vinkel. Efter workshoppen er der foretaget yderligere vurderinger og samfundsøkonomiske analyser. De økonomiske vurderinger er afleveret i en selvstændig rapport fra Miljøstyrelsen.

A.1.3 Beslutningsgrundlag

Udgangspunktet har været noget forsimplet, idet der kun opereres med to alternativer i forhold til de forventede klimaændringer:

- Infrastrukturen (bygninger, veje, kloaker mv.) vil om 90 år blive benyttet på samme måde som i dag (dog er eksisterende planer for udbygning implementeret)
- Infrastrukturen er tilpasset, så borgere oplever præcis samme service som hidtil. Byen er altså tilpasset, så ændringen i klimaet præcist er modsvaret af en tilsvarende ændring af infrastrukturen.

De to alternativer vurderes ud fra få velvalgte bearbejdnings af data, som stort set forefindes for byområder i de fleste danske kommuner:

- For nedbørshændelser beregnes de stuvningskoter, som beregningsmæssigt i dag optræder henholdsvis hvert 10. år og hvert 100. år.¹
- For høj havvandsstand beregnes den forventede vandstand der optræder hvert 100. år i dag og i år 2100.
- Beregningerne kombineres med topografiske oplysninger om byområdet. Det giver oplysninger om, hvilke områder der oversvømmes i begge tilfælde.

Ud fra disse beregninger vurderes mulige tiltag, som tilpasser byområderne til de forventede klimaændringer. Endvidere vurderes, om der lokalt kan være forhold, der gør, at lokale tilpasningstiltag vil være optimale.

¹ Stuvningskoten er den maksimale vandstand i afløbssystemet i ethvert punkt. Beregningerne skal give det mest realistiske bud på overbelastningerne af afløbssystemet med de angivne gentagelsesperioder. Der skal derfor ikke anvendes en "klimafaktor", som ellers ofte anvendes ved plan-beregninger af afløbssystemer.

Ud over vurderingen i forhold til klimaændringer er der også foretaget en vurdering af, om det er økonomisk hensigtsmæssigt, på tværs af forvaltningerne i kommunen, at investere i anlæg til reduktion af skaderne som følge af ekstremregn ud over den dimensionsgivende 10. års hændelse. Med andre ord undersøges det, hvorvidt det er samfundsøkonomisk optimalt at tilbyde borgerne en endnu bedre service i forbindelse med ekstrem nedbør end, den der tilbydes i dag.

A.1.4 Evaluering af forløbet

Deltagerne i workshoppen har i en efterfølgende evaluering givet udtryk for, at formålet med workshoppen blev nået. Det fremgik bl.a., at en af de helt positive oplevelser var arbejdet på tværs af de daglige opdelinger. Det gav nye perspektiver på det daglige arbejde og bedre relationer mellem deltagerne i workshoppen.

Flere af deltagerne efterlyste muligheden for 2 workshops, således at der var mulighed for opfølgning på de drøftelser og løsningsforslag, der kom frem på workshoppen, efter at rådgiverne havde været hjemme og regne mere på forslagene. Endvidere blev det angivet, at embedsmændene fra kommunerne så havde mulighed for at være hjemme i "eget" fagområde og skabe medejerskab for de fremkomne forslag. Endelig blev det konstateret, at det er en fordel, at en sådan workshop omfatter flere kommuner, således at der er mulighed for udveksling af erfaringer og ideer på tværs af ikke bare faggrupper, men også kommunegrænser.

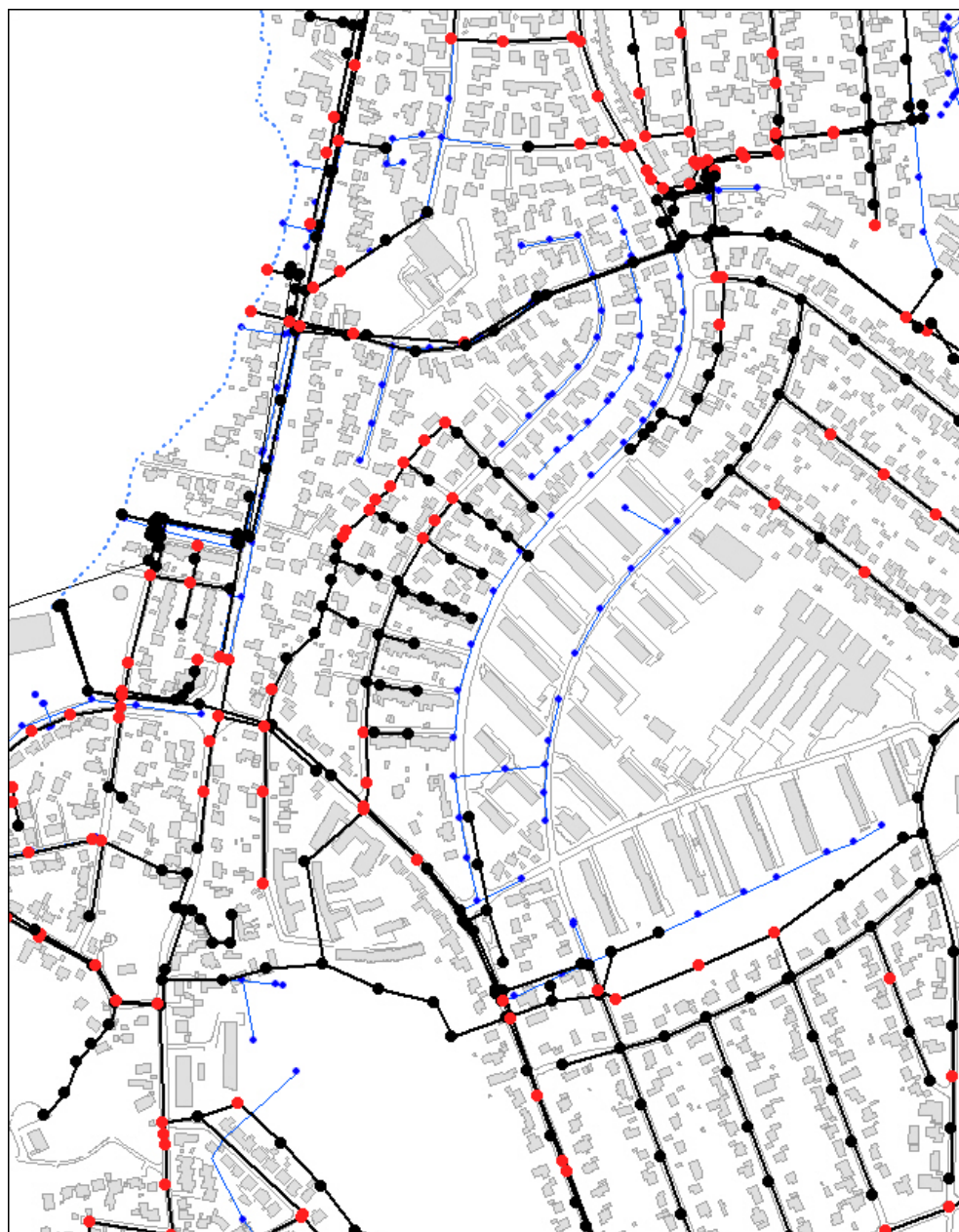
A.2 Roskilde

A.2.1 Ekstremregn

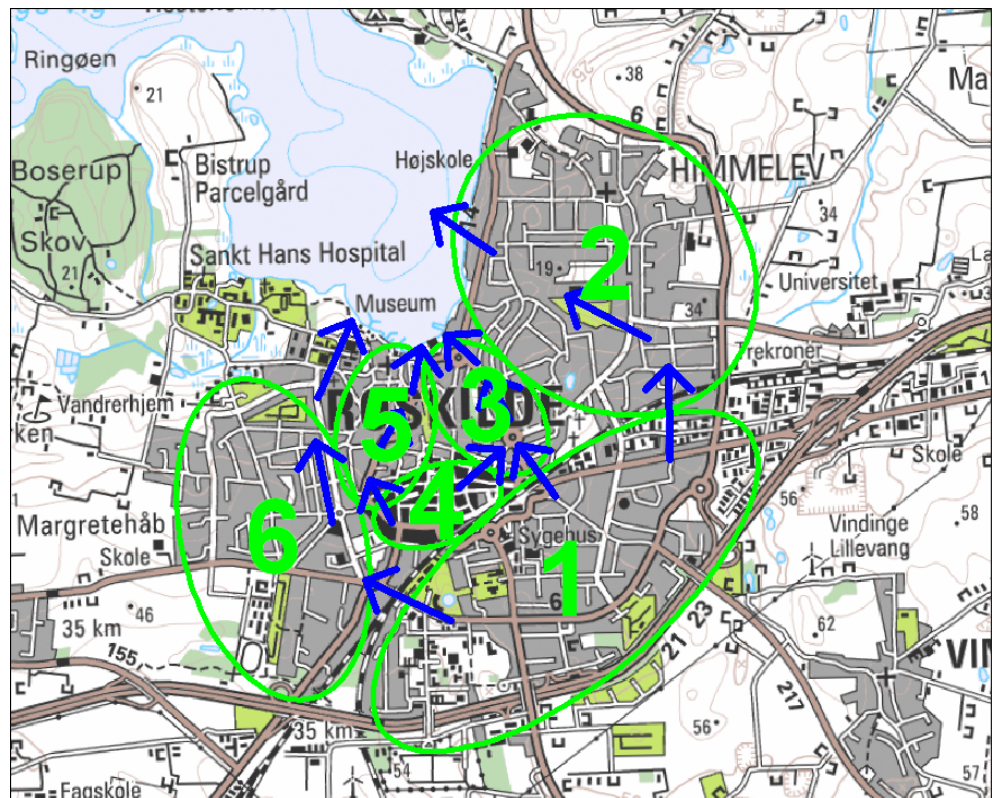
Vurderingerne af ekstremregn er baseret på en kunstigt genereret CDS-regn med en beregnet gentagelsesperiode på 100 år: Resultatet af beregningerne for dele af byen er vist på figur 1. Resultaterne er i overensstemmelse med resten af byområdet, svarende til, at næsten alle gader har brønde, hvor der er vand til terræn, og næsten alle gader har brønde, hvor stuvningen ikke når terrænet. Alle byområder har derfor stort set samme sandsynlighed for at opleve vand på terræn forårsaget af ekstremregn. På grund af de topografiske forhold vil vandet strømme ad overfladerne hen til lokale lavninger eller fjorden.

Ud fra kort svarende til figur 1 var det vanskeligt at vurdere, i hvilke områder der ville ske skader. Derfor er der udført to yderligere analyser baseret på topografiske laserscanninger af byområdet. Den ene analyse er foretaget ud fra de overordnede afstrømningsforhold i området. Den viser, at der er 6 overordnede afstrømningsområder. Inden for hvert af disse områder er der omtrent samme sandsynlighed for oversvømmelse og samme konsekvens. Disse områder er vist på figur 2. Inden for hvert af disse områder er der lavet økonomiske analyser af forskellige scenarier for håndtering af ekstremregn.

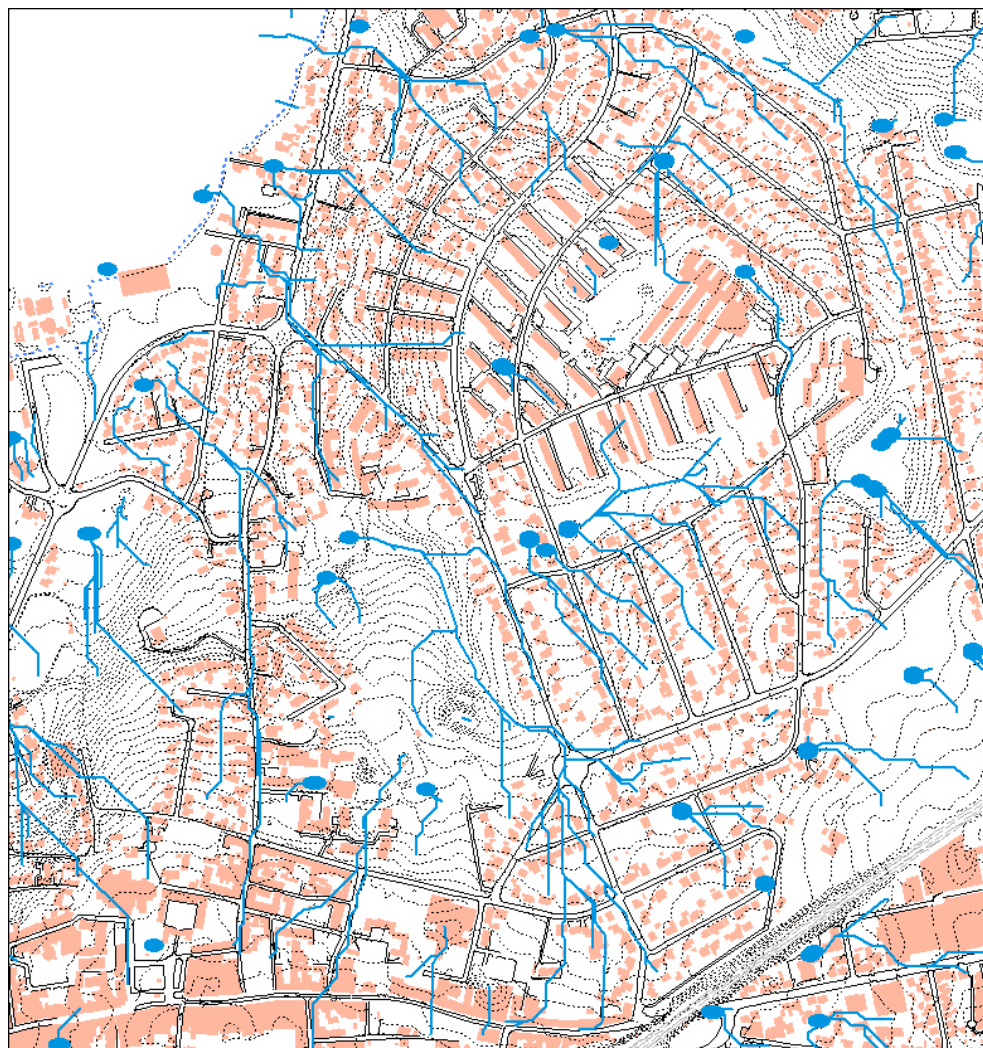
Den anden supplerende analyse er baseret på de mere detaljerede afstrømningsforhold inden for hvert af områderne. Af figur 3 fremgår, at selv om der overordnet set er et pænt fald i terrænet ned mod fjorden, er der adskillige lokale lavninger, hvor vandet kan samles og derved gøre skader på omgivelserne.



Figur 1 Udsnit af de beregnede maksimale koter for Roskilde by for en hændelse, der i dag optræder beregningsmæssigt hvert 100. år. Røde brønde markerer, at den maksimale kote er over terrænkoten, sorte brønde at den maksimale kote er under terrænkoten. Blå brønde markerer, at de kun afleder regnvand. Der er ikke udført detaljerede beregninger for disse systemer. Generelt er disse afløbssystemer lidt mindre end fællessystemer, hvorfor hyppigheden af stuvning til terræn vil være mindst lige så stor som i det "sorte" system. Det er karakteristisk, at næsten alle gader har såvel brønde, hvor der er stuvning til terræn, som brønde, hvor der ikke er stuvning til terræn.



Figur 2 Oversigt over de overordnede afstrømningsforhold i Roskilde by. Alle områder har overordnet set samme sandsynlighed for oversvømmelse. Område 1 er særligt, fordi jernbanen sætter en begrænsning for afstrømningen fra det sydlige område til fjorden. Område 4 er særligt, fordi konsekvenserne af oversvømmelse er højere end i de øvrige områder.



Figur 3 Analyse af den mere detaljerede afstrømning i et udsnit af Roskilde by. De blå streger betegner lokale grøfter og de blå punkter lokale lavninger i terrænet. Kortet er udarbejdet automatisk på baggrund af en laserscanning fra overflyvning af byen. Der kan derfor være områder, hvor der i praksis ikke er risiko for oversvømmelser, f.eks. fordi der er en effektiv afdræning af området, som ikke kan ses på en laserscanning.

På baggrund af kortmateriale svarende til figurerne ovenfor blev konsekvenserne af en meget kraftig nedbørshændelse vurderet. Der blev fundet nøgletal for skaderne i områderne med henblik på at fastslå, om der var områder, hvor det var samfundsøkonomisk optimalt at lave ekstraordinære tiltag. På baggrund af indsamlede data blev den samfundsøkonomiske omkostning på en kælderoversvømmelse beregnet til 49.000 kr., mens en oversvømmelse af en bolig i stueplan blev beregnet til en samfundsøkonomisk omkostning på mere end 700.000 kr. Samfundsøkonomisk kan det dermed betale sig at lave lokale tiltag af den enkelte borger, men ikke større indgreb i de fælles afløbssystemer. Ved mindskelse af risikoen for oversvømmelserne i stueplan bør opdimensionering af afløbssystemet suppleres med lokale ændringer i topografien omkring de relevante boliger, f.eks. i form af lokale diger (hævede kantsten), bedre afdræning, højere sokkelkoter m.v.

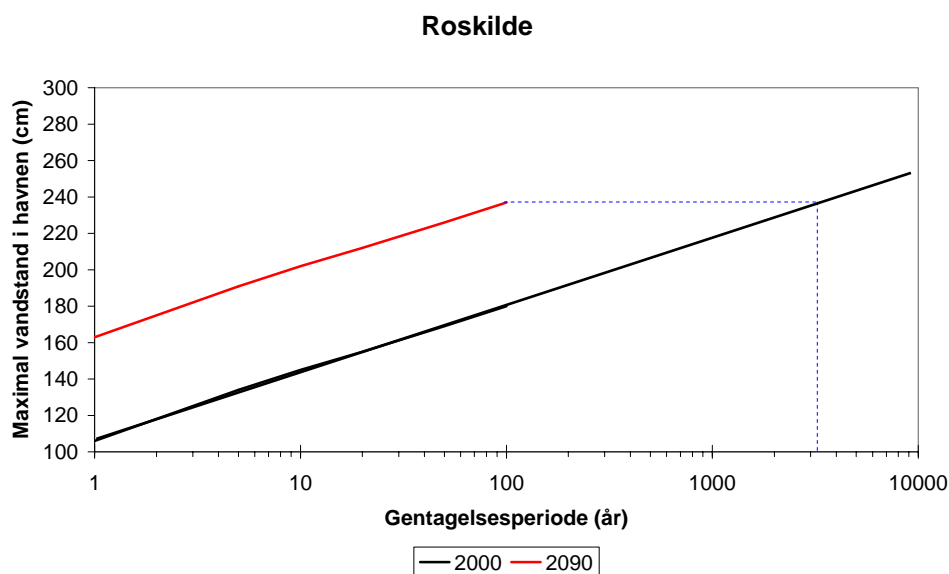
A.2.2 Havvandsstand

Stigende havvandsstand medfører, at gentagelsesperioderne for ekstreme havvandsstande ændres væsentligt, se tabel 1 og figur 4. Der blev i Roskilde udført to analyser, baseret på henholdsvis en gennemsnitsvurdering og en konservativ vurdering af den ændring i ekstrem havvandstand, som vil forekomme indenfor de næste 90 år.

Tabel 1: Klimafremskrivning af 100 års vandstandshændelse i Roskilde. Der er lavet en fremskrivning, som er baseret på gennemsnit, og en mere konservativ vurdering. Den konservative vurdering er angivet i parentes.

		Gennemsnits vurdering	Konservativ vurdering
100 års hændelse	[m]	1,80	1,96
Gennemsnitlig stigning*	[m]	0,47	0,77
Stigning i ekstremudsving	[m]	0,10	0,40
100 års hændelse klimafremskrevet	[m]	2,37	3,13

* Den gennemsnitlige stigning består af 0,07 m forårsaget af historiske hav- og landspejlbevægelser samt yderligere 0,4 - 0,7 m forårsaget af den globale opvarmning.



Figur 4. Sammenhæng mellem 100-års hændelser i Roskilde i år 2000 og 2090. En 100-års hændelse i 2090 svarer til en 3200 års hændelse i dag.

Konsekvenserne af den stigende havvandstand er vist på figur 3 i hovedrapporten. Der var på workshoppet en klar tilkendegivelse af, at konsekvenserne af en klimafremskrevet 100-års hændelse er svære at overskue. En af deltagerne beskrev oversvømmelse af de markerede områder som "tab af Roskildes identitet".

Roskilde havn er et vigtigt element i byen, og bl.a. derfor blev det vurderet at være uacceptabelt med et dige eller forhøjet kaj kant langs hele det område, der kan blive oversvømmet. I stedet blev en dæmning længere væk fra byen foreslået som løsning, f.eks. mellem Hundested og Rørvig.

Baseret på de samfundsøkonomiske vurderinger kan det ikke betale sig at sikre de oversvømmelsestruede områder i Roskilde by via en dæmning. Workshop-deltagerne vurderede muligheden af at sikre områderne via et øget beredskab og forkastede muligheden som urealistisk. De udførte beregninger viser dermed, at det er samfundsøkonomisk billigere at oversvømme områderne. Det resultat var workshop-deltagerne ikke umiddelbart enige i. Det kan tyde på, at prissætningen bør undersøges nærmere, inden der tages en beslutning om, hvilke typer af tiltag der skal foretages mod stigende ekstrem havvandstand.

A.3 Aalborg

A.3.1 Ekstremregn

Forsyningsvirksomhederne i Ålborg Kommune har gennem flere år systematisk indsamlet data fra bl.a. skadesservicefirmaer med henblik på at få et forbedret kendskab til funktionen af afløbssystemet under ekstremregn. I 2006 blev Aalborg ramt af flere ekstreme regnhændelser. Lokalteter med registrerede oversvømmelser i 2006 er markeret på figur 5. Disse oplysninger blev sammen med oversvømmelser beregnet på baggrund af en 100 års CDS-regn (Figur 6) anvendt til at vurdere omfanget af skader ved ekstremregn.



Figur 5: Ejendomme med kloakrelaterede vandskader i Aalborg i 2006 (•).

Erfaringerne fra oplevede ekstremregn i kommunen i både 2006 og 2002 har vist, at selv om regnhændelserne overskrider afløbssystemets kapacitet betydeligt, er skaderne begrænsede.

I forbindelse med det aktuelle projekt har kloakforsyningen i Aalborg Kommune desuden kontaktet el-, gas-, vand- og varmforsyning og forespurgt, om de har oplevet problemer i forbindelse med høj vandstand og ekstrem regn. Tilbagemeldingerne var, at det kun var meget begrænsede problemer såsom kælderopstuvninger, altså samme type problemer som de private forbrugere.

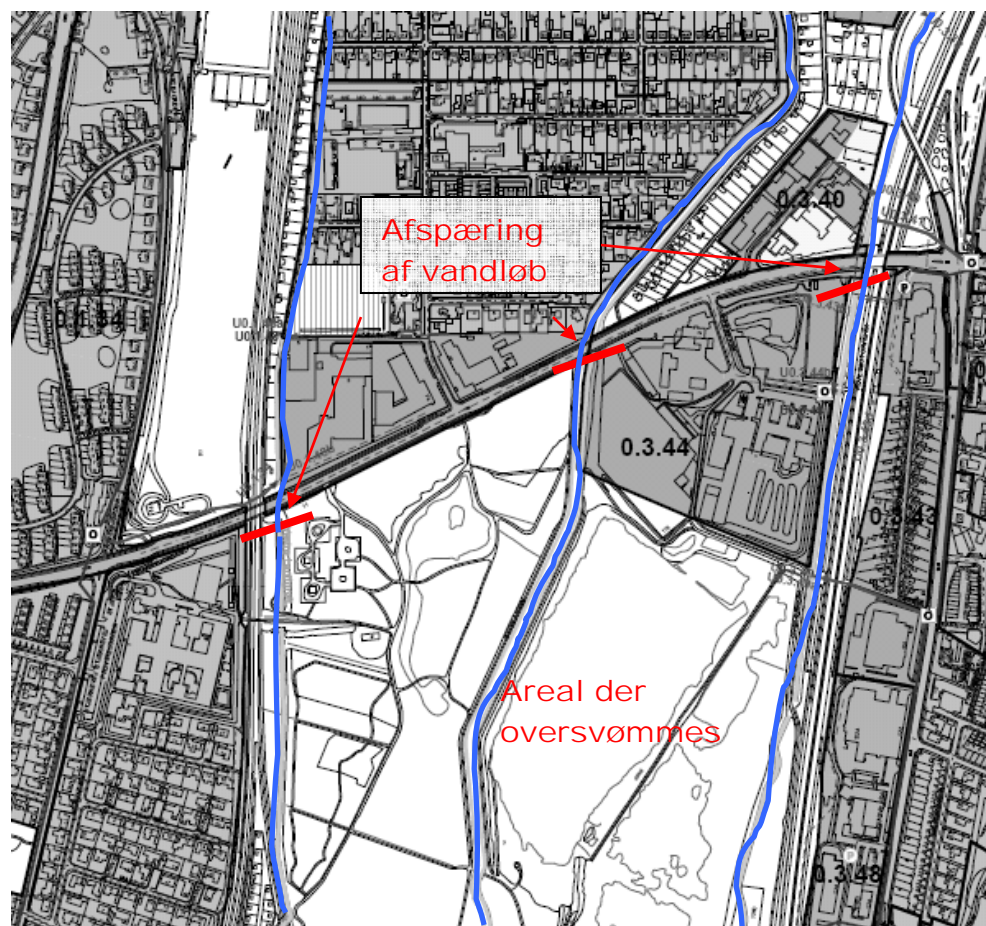


Figur 6. Oversigt over, hvor i Aalborg det kan forventes, at der vil ske overbelastning af afløbssystemet, når der kommer en 100-års (gule prikker) hændelse.

Aalborg fokuserede på, ud fra lokaliserede problemområder, at identificere tiltag til afhjælpning af skaderne ved ekstremregn. Et eksempel på et konkret tiltag til afhjælpning af konsekvenserne ved ekstremregn, der blev identificeret på workshoppen, er tilbageholdelse af vand i Østre Å dalen, se figur 7. Problemet er stuvning til terræn på grund af manglende kapacitet i en recipient. Princippet vil være at tilbageholde den del af afstrømningen i vandløbene, der kommer fra oplandet opstrøms Øster Å dalen. På denne

måde opnås ekstra kapacitet til afledning af overfladevand fra Håndværkerkvarteret og Kærby, der ligger længere nedstrøms.

Aalborg Kommune har netop udarbejdet en strategi for kloakforsyningen, der indebærer en fuldstændig fraseparering af alle ejendomme i løbet af en 90-års periode. Strategien er ikke prissat som led i nærværende opgave, bl.a. fordi en af de væsentlige økonomiske gevinster er billigere drift af renseanlæggene i kommunen.



Figur 7: Øster Å dalen i Aalborg. Ved blokering af tre vandløb opnås der mulighed for tilbageholdelse af overfladevand på et rekreativt areal.

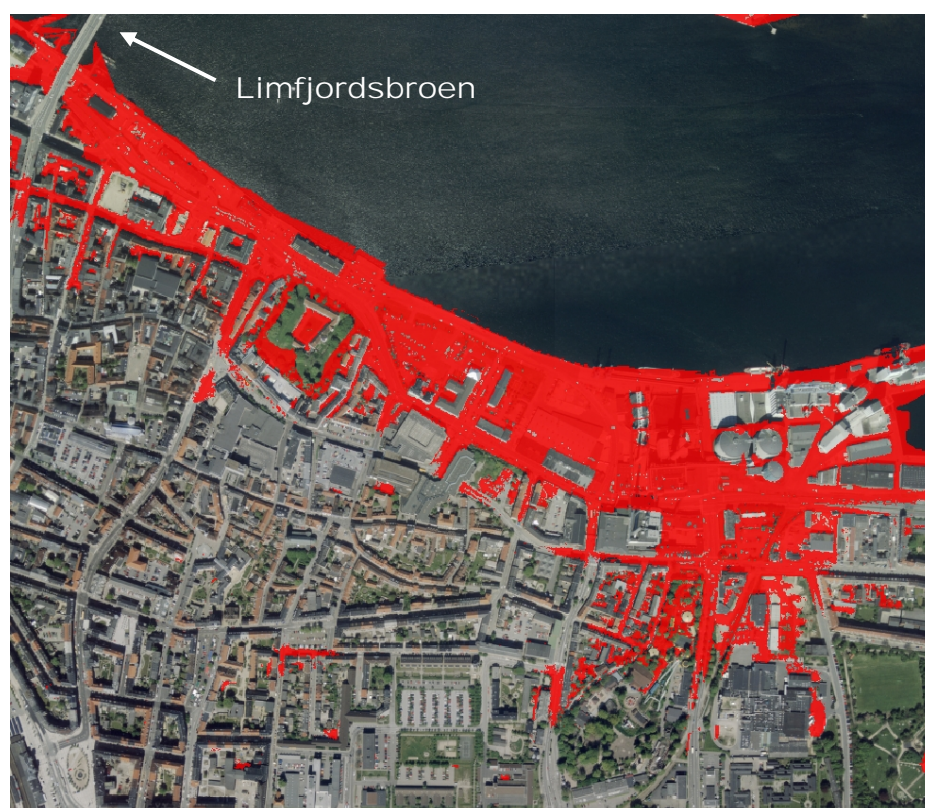
A.3.2 Havvandsstand

Stigningen i ekstrem havvandsstand for Aalborg er beregnet som gennemgået i den økonomiske rapport. Resultatet af klimafremskrivningen er angivet i tabel 2.

Tabel 2. Klimafremskrivning af 100 års vandstandshændelse i Aalborg.

		Aalborg
100 års hændelse i 2002	[m]	1,55
Gennemsnitlig stigning	[m]	0,38
Stigning i ekstremudsving	[m]	0,25
100 års hændelse klimafremskrevet	[m]	2,18

På figur 8 ses et udsnit af Aalborg midtby med angivelse af, hvilke områder der ligger under stuvningskoten for en klimafremskrevet 100-års hændelse. Der blev på workshoppen identificeret tre forskellige tiltag til afhjælpning af skaderne ved ekstrem højvande. Der kan etableres lokale barrierer i umiddelbar forbindelse med det, der ønskes beskyttet, primært byområderne i Aalborg og Nr. Sundby. Der kan etableres sluser/diger på strategiske steder i fjordene, for på den måde at holde ekstremvandstanden ved byerne nede. Muligheder med en sluse ved Hals blev overvejet. Endelig blev en alternativ løsning med hydrauliske porte lokalt ved Aalborg bragt på banen. Hydrauliske porte kunne eventuelt placeres i forbindelse med nye trafikale forbindelser over Limfjorden. De samfundsøkonomiske beregninger viser også for Aalborg, at det ikke kan betale sig at lave indgreb inden for de første mange år. Den umiddelbare holdning hos workshopdeltagerne var dog, at oversvømmelse af de forholdsvis omfattende arealer i bl.a. midtbyen ikke vil kunne accepteres oftere end hvert 100. år.



Figur 8: Aalborg midtby. Ortofoto som baggrund for markering af de arealer, der ligger lavere end den forventede vandstand ved en klimafremskrevet 100-års hændelse (kote 2,18).

A.4 Opsamling

Den gennemførte undersøgelse af de to byområder svarer til en grov risikoscreening i forbindelse med en risikoanalyse. Alle konklusioner er således behæftet med nogen usikkerhed. Der er dog fundet en række forhold, som er værd at fremhæve, ligesom der er identificeret en række konkrete muligheder for at gøre de undersøgte byområder mere robuste over for klimaændringer, specifikt ekstrem nedbør og ekstreme havvandsstande.

Begge cases er kendetegnet ved, at byerne har usædvanligt gode topografiske forhold til afledning af regnvand. Derfor er problemerne med klimatilpasning til ekstremregn formodentlig undervurderet i forhold til de konklusioner, der kan drages i en gennemsnitlig dansk kommune.

I 2005 udkom Skrift 27, Funktionspraksis for afløbssystemer, der introducerer nye principper for analyse af afløbssystemer. Overordnet set tyder resultaterne på, at det er samfundsøkonomisk fornuftigt at anvende den metode til klimatilpasning, som er foreslået i Skrift 27, såfremt der anvendes traditionelle afløbssystemer til afvanding af byområderne.

Der er ikke etableret tilsvarende principper for vurdering af konsekvenserne af stigende havvandsstand. Den nuværende analyse tyder på, at problemet kan opdeles i to problemstillinger: Beskyttelse af de nuværende værdier og planlægning af fremtidig udbygning af kystnære områder.

Den infrastruktur og andre værdier, der allerede er etableret i kystnære lavtliggende områder, forventes ikke at blive særligt berørt inden for de nærmeste år. Der er således tid til at identificere tiltag, som sikrer områderne, eller tid til at flytte værdierne ud af områderne. I forbindelse med udvikling af byområderne, herunder vedtagelse af lokalplaner mv., vil det være væsentligt at se på de forventede ændringer i havvandsstanden inden for bygningernes levetid.

Et af de identificerede problemer er, at kommunen nok er central aktør, men alligevel ikke kan tage væsentlige beslutninger uden at involvere en bredere skare af beslutningstagere. I tabel 3 er angivet en simpel oversigt over, hvilke aktører det som udgangspunkt er væsentligt at inddrage.

Tabel 3: Tiltag til afhjælpning af konsekvenser ved ekstremhændelser, samt aktørerne herfor.

Tiltag	Aktør
Ekstrem vandstand	
Sluser	Nationalt
Højere kaj/lokal diger	Kommunalt
Sikring af de enkelte ejendomme	Privat
Arealanvendelse	Kommunal/nationalt
Beredskabsplaner	Kommunalt
Ekstrem nedbør	
Arealanvendelse	Kommunalt/nationalt
Større afløbssystemer	Kommunalt
Beredskabsplaner	Kommunalt

Projektet, herunder specielt workshoppen, har starten en proces i begge kommuner. I Aalborg fokuseres på to projekter på tværs i organisationen, Østerådalen og Nørresundby Havnefront. I projektet ved Nørresundbys Havnefront er det centrale emne saltvandstilledning til kloaksystem og renseanlæg: Der undersøges dels muligheden for at hæve kajkanten, dels at koble rendestensbrøndene fra kloaksystemet. I Østerådalen har Kloakforsyningen foreslået Teknisk Forvaltning, at det store areal syd for Aalborg benyttes til at forsinke overfladevand og regnvand med henblik på at

holde et tilpas lavt vandspejlsniveau i Østerå igennem byen fra til udløbet i Limfjorden.

I Roskilde understregede workshoppen vigtigheden af at arbejde på tværs af afdelingerne for at lave klimatilpasning bedst muligt. Der er enighed blandt forvaltningerne om, at der skal arbejdes videre med resultaterne. Samtidig har det vist sig at være nødvendigt at forbedre datagrundlaget for bl.a. afstrømningen af vand under regn. Når det bedre datagrundlag foreligger, påregnes at lave en tilsvarende analyse.