

Klimatilpasning af afløbssystemer og metodeafprøvning. Økonomisk analyse

Karsten Arnbjerg-Nielsen, Helene Sneftrup, Jakob H Hansen
& Dorthe B Olsen
COWI

Christian Seidelin, Trine Nielsen & Tina Kunnerup
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	6
SUMMARY AND CONCLUSIONS	13
1 INDLEDNING	19
1.1 FORMÅL MED RAPPORTEN	19
1.2 DEFINITION OG AFGRÆNSNING AF OPGAVEN	19
1.3 RAPPORTENS INDHOLD	19
2 METODE	20
2.1 DATAINDSAMLING OG ANALYSENIVEAU	20
2.2 ANALYSEMETODE	20
2.3 SCENARIER	21
2.4 KVANTIFICERING AF EFFEKTER	22
2.4.1 Størrelsen af effekter	22
2.4.2 Tidsmæssig placering af effekter	22
2.5 GEVINSTER OG OMKOSTNINGER VED KLIMATILPASNING	22
2.6 DISKONTERING	23
3 ROSKILDE	25
3.1 EKSTREMREGN, SCENARIUM 1	25
3.2 EKSTREMREGN, SCENARIUM 2	25
3.2.1 Reference	26
3.2.2 Struktur af Roskilde by	26
3.2.3 Konsekvenser af 100 års regn	27
3.2.4 Skader og skadesomkostninger	28
3.2.5 Scenarium 2: Mulige tiltag og tiltagsomkostninger	30
3.2.6 Økonomisk analyse: Valg af tiltag	35
3.2.7 Følsomhedsanalyser	38
3.2.8 Tiltag og barrierer	39
3.3 HAVVANDSSTIGNING	40
3.3.1 Reference	40
3.3.2 Særlige problemområder	40
3.3.3 Skader og skadesomkostninger	41
3.3.4 Scenarium 2: Mulige tiltag og tiltagsomkostninger	43
3.3.5 Økonomisk analyse	43
4 AALBORG	45
4.1 EKSTREMREGN SCENARIUM 1	45
4.2 EKSTREMREGN SCENARIUM 2	45
4.2.1 Klimaforandring og forventede effekter	45
4.2.2 Spontane og planlagte tilpasninger	47
4.2.3 Reference	48
4.2.4 Mulige tiltag og tiltagsomkostninger	48
4.2.5 Gevinster ved tiltagene	50
4.2.6 Velfærdsøkonomisk analyse	52
4.2.7 Følsomhedsanalyse	55

4.2.8	<i>Tiltag og barrierer</i>	56
4.3	HAVVANDSSTIGNING	57
4.3.1	<i>Klimaforandringer og forventede effekter</i>	57
4.3.2	<i>Spontane og planlagte tilpasninger</i>	59
4.3.3	<i>Reference</i>	59
4.3.4	<i>Mulige tiltag og tiltagsomkostninger</i>	59
4.3.5	<i>Velfærdsøkonomisk analyse: Valg af tiltag</i>	62
4.3.6	<i>Tiltag og barrierer</i>	62
5	GENERELLE KONKLUSIONER OG BARRIERER	63
5.1	KONKLUSIONER	63
5.2	GENERELLE BARRIERER FOR TILTAG	63
5.3	VÆSENTLIGSTE ANTAGELSER	64
6	LITTERATUR	67

Bilag A Samfundsøkonomiske vurderinger af klimatilpasningstiltag
 Bilag B Metode til fordeling af skadesomkostninger over tid
 Bilag C Enhedsomkostninger
 Bilag D Oversigt over tiltag og omkostninger i Roskilde

Forord

Nærværende rapport afrapporterer en analyse af de konkrete konsekvenser, som de forventede antropogene klimaændringer medfører på byområder i Danmark med fokus på forøgede ekstreme regnmængder og stigende ekstreme havvandsstande. Analysen er udført som cases på Roskilde by og Aalborg/Nørresundby.

Arbejdet er udført ved, at rådgivere har etableret et beslutningsgrundlag i form af udpegning af områder, der vil blive påvirket i form af øget risiko for oversvømmelse som følge af de forventede antropogene klimaændringer. Derefter er der afholdt en workshop med udvalgte eksperter fra de to kommuner, der tilsammen repræsenterer områderne trafik, grønne områder, byplanlægning og afløbssystemer. Sammen med rådgiverne er konsekvenserne analyseret under forskellige antagelser med henblik på at simulere, hvilke konsekvenser der bør afhjælpes, og hvilke der sandsynligvis vil blive accepteret. I en efterfølgende analyse er der så udført økonomiske analyser, som indikerer, hvilke tiltag der er samfundsøkonomisk optimale.

Rapporten er udarbejdet af COWI og NIRAS i samarbejde med Roskilde Kommune, Aalborg Kommune og Envidan.

Projektet er udført i perioden december 2006 – februar 2007.

Der har været nedsat en følgegruppe bestående af:

Ditte Hølse, Miljøstyrelsen (formand)
Povl Frich, Miljøstyrelsen
Vibeke Plesner, Miljøstyrelsen
Jan T Boom, Miljøstyrelsen
Rasmus Tengvad, KL
Niels Bent Johansen, DANVA,
Signe Gudiksen, Roskilde Kommune
Bo Laden, Aalborg Kommune
Karsten Arnbjerg, COWI (sekretær)

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

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

Sammenfatning og konklusioner

Indledning og afgrænsning

De menneskeskabte klimaforandringer vil bl.a. medføre øget risiko for ekstreme nedbørsmængder og havvandsstigninger. Tilpasning til klimaændringerne vil i nogen grad kunne afbøde skaderne som følge heraf. Der er imidlertid endnu begrænsede praktiske erfaringer med klimatilpasning i Danmark. Med henblik på at sætte øget fokus på klimatilpasning af afvanding af byområder udbød Miljøstyrelsen et projekt. Projektet blev vundet af NIRAS og COWI i samarbejde med Aalborg og Roskilde Kommuner.

Der er lagt vægt på at besvare følgende tre spørgsmål:

- Hvad er hovedproblemerne som følge af ekstremregn og havvandsstigninger?
- Hvilke skader vil ovennævnte resultere i?
- Hvilke klimatilpasningstiltag vil kunne afbøde skaderne, og hvilke tiltag kan betale sig ud fra en samfundsøkonomisk vurdering?

Alle aktører i projektet var samlet på et to-dages workshop for at samle alle erfaringer. Forud for workshoppen blev der bl.a. fremstillet kortmateriale for de to byer, således at deltagerne havde lettere ved at visualisere, hvilke konsekvenser klimaændringerne vil have.

Efter workshoppen har COWI og NIRAS behandlet resultaterne med henblik på at vurdere de samfundsøkonomiske konsekvenser ved tilpasning til ekstremregn og havvandsstigning i de centrale byområder i Roskilde og Aalborg Kommuner. Nærværende rapport beskriver resultaterne af denne analyse. Opbygningen af nærværende rapport afspejler, at tilpasning i de to byer er blevet vurderet hver for sig.

Metode

Det metodiske udgangspunkt er en partiel velfærdsøkonomisk analyse. Herved kvantificeres og værdisættes udelukkende effekter, som direkte eller indirekte kan forbindes med tilpasningstiltagene. To former for velfærdsøkonomisk analyse er blevet anvendt – cost effectiveness og cost-benefit analyse. I en cost effectiveness analyse vurderes omkostningerne ved tilpasning i forhold til en ønsket effekt. I en cost-benefit analyse holdes omkostningerne op imod gevinsterne ved tilpasning. For begge analysemetoder gælder, at vurderingerne hovedsageligt omfatter direkte effekter.

Tilpasning til menneskeskabte klimaforandringer kan opdeles i to typer: den der sker spontant og den planlagte. Den spontane tilpasning omfatter producenters og forbrugeres umiddelbare tilpasning til klimaforandringerne, mens den planlagte tilpasning sker på baggrund af politiske indgreb. Undersøgelsen omfatter udelukkende de velfærdsøkonomiske konsekvenser af planlagt tilpasning. En forudsætning for den velfærdsøkonomiske analyse er, at konsekvenserne af de planlagte tiltag holdes op imod en reference. I referencen tages ud over de spontane aktiviteter også højde for de nuværende planlagte aktiviteter, der kan have indflydelse på omfanget af skader som følge af klimaforandringerne. Det er anbefalet praksis, at kommunerne via

spildevandsplanerne fastholder et fast serviceniveau for, hvor hyppigt overbelastning af afløbssystemerne må medføre skader. Det antages, at denne praksis fortsættes i basis-scenariet, svarende til en gradvis udbygning af afløbssystemerne.

Et særligt problem ved en velfærdsøkonomisk analyse af tilpasning til ekstrem nedbør og havvandsstigning er, at resultaterne er meget afhængige af den tidsmæssige placering af hændelserne samt omfanget af skader ved de enkelte hændelser. Der er i analysen taget højde herfor ved at beregne den gennemsnitlige årlige skadesomkostning i nutiden og i fremtiden, afhængigt af konkrete klimatilpasningstiltag. De gennemsnitlige skadesomkostninger beregnes ud fra vurderinger af hændelser, der optræder ca. 1 gang hvert 100. år.

Roskilde

Ekstremregn

Roskilde Kommune har ikke været ramt af meget kraftige nedbørshændelser de seneste år. Derfor er vurderingen af de forventede skader sket på baggrund af hydrauliske beregninger. Beregningerne viser, at en 100 års hændelse medfører, at både det nordlige og det sydlige område af Roskilde by påvirkes med opstuvning til over 0,5 meter under terræn i stort set hele det fælleskloakerede område. Hovedparten af bygninger med kældre i disse områder vil forventeligt blive oversvømmet, ligesom lavninger i terrænet vil blive oversvømmet. Ud fra en vurdering af de topografiske forhold vurderes det, at ca. 60 ejendomme vil blive oversvømmet over stueplan, fordi de ligger i sådanne lavninger. I det separatkloakerede opland vil 5 % terrænoversvømmes. Ud over skader på bygninger og inventar forventes de primære skader at være vejbrud, strømsvigt samt øget risiko for sygdomme som følge af kontakt med vand iblandet fækalier.

Tilpasning til ekstremregn er blevet vurderet i to forskellige delscenarier. I det første delscenarium betragtes tiltag, som vil fjerne alle skader ved en 100 års regn i Roskilde by, mens der i det andet delscenarium kun inkluderes tiltag, der giver anledning til størst mulig skadesreduktion. Begge scenarier tager udgangspunkt i, at Roskilde Kommune gennemfører tilpasning i det omfang, som er nødvendigt for at kunne leve op til det ønskede servicemål.

De tiltag, som i det første delscenarium vurderes at være nødvendige for at fjerne samtlige skader, er:

- Øget magasinering (henholdsvis 115.000 m³ og 50.000 m³)
- Etablering af tre transportkorridorer til afledning af regnvand fra byen til fjorden (5,9 km ny kloakledning)
- Øget afvanding ud af bymidten til transportkorridorerne (1,2 km ny kloakledning)

Resultatet af første delscenarium er vist i tabel 0A. Det fremgår, at iværksættelse af tiltag, der kan fjerne samtlige skader som følge af 100-årsregn i Roskilde by, er forbundet med et velfærdstab på 225 mio. kr. Ud over at betragte iværksættelse af tilpasningstiltag for hele Roskilde by er betydningen af tilpasning også belyst på mindre dele af byen. Resultatet herved er også vist i tabel 0A, og det ses, at det kun er i selve midtbyen (zone 4), at det er muligt at opnå en gevinst ved tilpasning.

Sammenlagt kan der på baggrund af første delscenarium konkluderes, at det vil være mere fordelagtigt at dosere tiltagene målrettet efter de områder og skadestyper, der giver mest skadesreduktion for pengene.

Tabel 0A: Resultat af første delscenarium.

NV (mio. kr.)	Omkostninger	Reduceret skade	Nettogeinst
Roskilde i alt	-563	338	-225
Tiltag Syd i alt (zone 1)	-179	107	-71
Tiltag Nord i alt	-384	230	-154
- Zone 2- øget magasinering	-75	70	-5
- Zone 3 - transportkorridor 1	-51	17	-35
- Zone 5- transportkorridor 2	-57	17	-40
- Zone 6- transportkorridor 3	-137	62	-75
- Zone 4 - vandstyring midtby	-63	64	1

I det andet delscenarium undersøges, hvor der mere lokalt kan være en samfundsmæssig nettogeinst ved at lave planlagt tilpasning ud over anvendelse af den gradvise opdimensionering af afløbssystemet, som er en del af den spontane tilpasning i basisscenariet.

Der er nogle boliger i Roskilde by, som på grund af omgivelsernes topografi i særlig grad har risiko for at blive oversvømmet i stueplan under meget kraftig regn. En grov optælling tyder på, at det drejer sig om ca. 60 ejendomme i Roskilde by. Resultatet af det andet delscenarium er bl.a., at det samfundsøkonomisk vil kunne betale sig at sikre disse boliger yderligere mod oversvømmelser i stueplan. Ligeledes kan det anbefales at installere højvandslukker eller lignende i udsatte kældre tilknyttet fællessystemer. Skaderne i kældrene kan ikke ud fra en samfundsøkonomisk vurdering retfærdiggøre større opdimensioneringer i det offentlige afløbssystem. Det kan heller ikke anbefales at lave yderligere tiltag mod vejbrud, sammenbrud af kloakker, strømsvigt mv. som følge af ekstremregn.

Havvandsstigning

Vurderingen tager udgangspunkt i, at i det nuværende klima en gang hvert 100 år forventes at optræde en maksimal havvandsstand på 1,8 m over dagligt vande. I år 2096 forventes en tilsvarende hændelse at nå en havvandstand på mellem 2,37-3,13 meter over fjordens nuværende normale vandstand.

Det berørte område rummer mange kulturelle værdier og nationalklenodier og udgør således en væsentlig del af Roskilde Bys identitet. Den samlede skade, som en 100 års vandstandsstigning vil medføre i Roskilde by, kan opgøres til 200- 300 mio. kr.

Roskilde kommune har endnu ikke iværksat tiltag med dette sigte, og der er heller ikke truffet beslutning om fremtidige tiltag.

Der blev på workshoppen identificeret to mulige tiltag til sikring af byen mod stigende havvandsstand:

- 3,5 meter højt dige langs hele havnefronten og kysterne
- Dæmning fra Hundested til Rørvig

Et lokalt dige ud for Roskilde blev vurderet som uacceptabelt, da det skaber store visuelle gener og huspriskfald langs kysten. Det er endvidere en stor del af oplevelsesværdien ved Vikingskibsmuseet, at man føler sig i ét med fjorden, hvilket et 3,5 meter højt dige vil ødelægge. Derfor blev en dæmning fra Hundested til Rørvig foreslået på workshopen.

Nutidsværdien af anlægs- og driftsomkostningerne ved en dæmning kan opgøres til 1,26 mia. kr. Dæmningen er dermed forbundet med så store omkostninger, at den langt fra kan måle sig med reduktionen af skader i Roskilde by.

På denne baggrund konkluderes det, at det ud fra en samfundsøkonomisk betragtning ikke er rimeligt at fjerne effekterne af den stigende havvandsstand alene for Roskilde by. De samlede skadesomkostninger inkluderer imidlertid udelukkende Roskilde by. Der vil være mange andre samfundsøkonomiske gevinster og tab ved at etablere en sådan dæmning, både i form af sikring af andre områder og i form af afledte effekter, at en egentlig vurdering af forslaget ligger udenfor undersøgelsens rammer.

Aalborg

Ekstremregn

Aalborg Kommune er blevet ramt af en række meget kraftige regnskyl de seneste år. Skader, som følge af ekstremregn, er derfor dels opgjort ud fra hydrauliske beregninger, dels ud fra opgørelser af de skader, som er blevet observeret i forbindelse med de meget kraftige regnhændelser. Det blev på den baggrund vurderet, at skaderne sandsynligvis i fremtiden vil være moderate, såfremt afløbssystemet gradvist udbygges svarende til uændret serviceniveau.

Aalborg Kommune har udarbejdet en strategi for afløbssystemet, der bl.a. indebærer en fuldstændig separering af byspildevand og afstrømmende regnvand. Horisonten på separeringen er 90 år. I løbet af perioden vil risikoen for oversvømmelser af kældre således løbende blive elimineret.

På workshopen blev det vurderet, at det er muligt at afhjælpe skaderne som følge af ekstremregn med en kombination af følgende tre tiltag:

- Informationskampagne
- Tilbageholdelse af vand i Østerådal
- Diverse lokale tiltag

Sidste tiltag består først og fremmest i etablering af nye pumper, nye udløb og udvidelse af eksisterende regnvandsbassiner og er med en velfærdsøkonomisk omkostning på knap 96 mio. kr. det dyreste af de tre. Tiltagene vil først og fremmest mindske risikoen for oversvømmelser i kældre og i stueplan. De undgåede skadesomkostninger er som nævnt meget afhængige af udbygningen af det separate kloaknet. De undgåede skadesomkostninger vil som konsekvens heraf falde lineært i hele projektets tidshorisont. I tabel 0B er omkostningerne ved tilpasningstiltagene og de undgåede skadesomkostninger som følge af implementering heraf præsenteret.

Tabel 0B: Velfærdsøkonomiske omkostninger og 2007-nutidsværdier ved tilpasning og de undgåede velfærdsøkonomiske skadesomkostninger.

Omkostninger	Velfærdsøkonomisk omkostning (mio. kr.)	Nutidsværdi (2007-mio. kr.)
Informationskampagne	0,7	0,6
Tilbageholdelse af vand i Østerådal (Syd)	30,6	18,0
Lokale tiltag	98,3	89,9
Gevinster i form af undgåede skadesomkostninger		
Kælderoversvømmelser i private boliger	50	62,5
Oversvømmelser i stueplan	25	3,0
Sygdom som følge af oprydning	2,4	44,4
Oversvømmelse af varelagre	11	13,8
Velfærdsøkonomisk gevinst		5,1

Ved at omregne de velfærdsøkonomiske omkostninger til nutidsværdier med en diskonteringsrate på 3 % er det muligt at vurdere, om tilpasningen vil give anledning til et velfærds-mæssigt tab eller gevinst. I nærværende tilfælde resulterer tilpasningen i en gevinst på 5 mio. kr. Analysen tager udelukkende højde for umiddelbare kvantificerbare undgåede skadesomkostninger og medtager således ikke f.eks. befolkningens velfærds-mæssige tab ved ikke at kunne bo i deres huse.

Havvandsstigning

Stigende havvandstand blev vurderet efter samme principper som i Roskilde. Stigningen i ekstremvandstand vil være mest problematisk i de bymæssigt tæt bebyggede områder i Nr. Sundby og Aalborg. Ved en fremtidig 100 års hændelse er det muligt, at vandstanden vil blive så høj, at der bl.a. er risiko for, at vandet vil strømme ned i Limfjordstunnelen, og at landingsbanerne i Aalborg lufthavn delvist vil stå under vand. På workshoppen var der enighed om, at disse potentielle oversvømmelser er så omfattende, at de ikke er acceptable.

Der eksisterer i dag ikke konkrete planlagte tilpasningstiltag, som er rettet mod høj vandstand. Det forventes dog, at der gradvist vil ske spontan tilpasning i lokalplanerne for at tage højde for oversvømmelsesrisikoen.

Ved workshoppen blev der foreslået tre mulige tilpasningstiltag:

- Sluse ved Hals
- Højere kant ved kaj og sluse ved Østerå
- Hydrauliske porte på tværs af Limfjorden.

De tre tiltag blev vurderet i forhold til deres omkostningseffektivitet, dvs. en cost-effectiveness analyse. Tiltaget "Højere kant ved kaj og sluse ved Østerå" var langt det mest omkostningseffektive tiltag med en samfundsøkonomisk omkostning på knap 100 mio. kr., mens de øvrige tiltag medførte samfundsøkonomiske omkostninger, der var minimum 7 gange højere.

Fælles for de to sidste tiltag er, at der er tale om lokale tiltag rettet mod bymæssige arealer. Implementering af tiltagene kan således medføre, at arealer øst for Aalborg bliver oversvømmet. Der kan alene af den årsag stilles spørgsmålstegn ved, om disse to tiltag kan realiseres. Det ligger uden for nærværende undersøgelse at foretage en egentlig vurdering af de samfunds-mæssige gevinster og tab ved etablering af en sluse ved Hals.

Generelle konklusioner

Resultaterne er baseret på en relativt grov teknisk og økonomisk analyse, hvor der primært er fokuseret på de direkte omkostninger og gevinster ved tiltag. En mere omfattende analyse med en mere omfattende prissætning af specielt de indirekte omkostninger bør foretages inden der foretages konkrete tiltag. Nedenfor er opsummeret de projektgruppens anbefalinger og generelle konklusioner.

- Den valgte fremgangsmåde med først at indsamle oplysninger på en workshop for dernæst at gennemføre tekniske og økonomiske analyser på et strategisk niveau giver god mening i den forstand, at udfaldet generelt har været robust og handlingsanvisende.
- De samfundsøkonomiske beregninger viser, at den metode til tilpasning af afløbssystemer som er foreslået i Spildevandskomiteens Skrift 27 ("klimatillægget") er tæt på at være optimal i Roskilde og Aalborg. På den baggrund vurderes det, at der overordnet set ikke er brug for yderligere tilpasning i byer med gode topografiske forhold. Konsekvenserne af opstuvning af spildevand til terræn bør altid overvejes, herunder også de hygiejniske forhold.
- Det er vanskeligt for den enkelte kommune at tilpasse sig stigende havvandsstand. Det skyldes, at konsekvenserne ved en stor stormflod er meget store, samtidig med at de samfundsøkonomiske beregninger viser, at det tilsyneladende ikke kan betale sig at lave større tilpasningstiltag. Der er behov for yderligere undersøgelser på dette område. På baggrund af disse undersøgelser kan det være relevant at udarbejde landsplandirektiver på området.
- Der skal tænkes bredt og tværgående i kommunerne, således at muligheden for, at nye anlæg kan få en dobbeltfunktion som klimatilpasningstiltag. Eksempelvis i forbindelse med etableringen af nye rekreative arealer eller fritidsaktiviteter.
- Den økonomiske analyse er baseret på en meget simpel model. Voldsomme hændelser af f.eks. nedbør og havvandsstand vil have langtidseffekter, der ikke er medtaget i de økonomiske vurderinger. Specielt kan det fremhæves, at en ekstrem havvandsstand vil påvirke adskillige byer samtidigt. Derved vil de økonomiske tab forventeligt være større end summen af de enkelte tab opgjort som en række begrænsede hændelser i et enkelt byområde.

Summary and conclusions

Introduction

One of the consequences of the man-made climate changes is an increased risk of extreme rain and increased seawater level. To some extent, adaptation to the climate changes will lessen the damage. However, in Denmark there is a limited practical experience of climate adaptation. The Danish Environmental Protection Agency has tendered a contract in an attempt to increase focus on climate adaptation by dewatering of urban areas. The contract was won by NIRAS and COWI in cooperation with Aalborg and Roskilde Municipalities.

The project focused on answers to the following three questions:

- What are the main problems resulting from extreme rain and increased sea water level?
- What damage will result from extreme rain and increased seawater level?
- Which climate adaptation initiatives can lessen the damage and which initiatives are feasible seen from a socio-economic point of view?

The project team participated in a two-day workshop to gather all existing experience from experts and practitioners. Prior to the workshop, maps were produced for the two cities to enable the participants to visualise the consequences of climate changes.

Following the workshop, COWI and NIRAS have analysed the results with a view to assess the socio-economic consequences of adaptation to extreme rain and increase in seawater level in central urban areas in Roskilde and Aalborg Municipalities. Results of this analysis are given below. The outline reflects that adaptation in the two cities has been analysed separately.

Method

The methodical basis is a partial socio-economic analysis. Hereby, only consequences directly or indirectly related to the adaptation initiatives are quantified and valued. Two kinds of socio-economic analyses are applied - cost effectiveness and cost-benefit analyses. In a cost effectiveness analysis, the costs for adaptation of different scenarios are compared given that a certain goal is achieved. In a cost-benefit analysis, costs are compared to the benefits of adaptation. Both methods primarily involve direct effects in the present study.

Adaptation to man-made climate changes can be divided into two types: spontaneous adaptation and planned adaptation. Spontaneous adaptation involves immediate adaptation by manufacturers and consumers, while planned adaptation is based on political interventions. The study only includes the socio-economic consequences of planned adaptation. A prerequisite of the socio-economic analyses is that consequences of the planned adaptation are compared to a reference scenario. Spontaneous activities are included in the reference scenario along with currently planned initiatives influencing the scope of damage arising from climate changes. It is

recommended practise that municipalities in their wastewater master plans maintain a service level for frequency of damage caused by overload of sewerage systems. It is assumed that this practice is continued during the reference scenario equivalent to a gradual extension of the sewerage systems.

A specific problem in socio-economic analyses of adaptation to extreme rain and increased seawater level is that the results are very dependent of the timing of incidences and the scope of damage. This has been accounted for by calculating the average damage cost today and in the future related to specific climate adaptation initiatives. The average damage costs are calculated based on an assessment of incidences occurring approximately once every 100 years.

Roskilde

Extreme rainfall

Roskilde Municipality has not been affected significantly by extreme rain storms during the recent years. Thus, the assessment of expected damage is made based on hydraulic calculations. The calculations show that a 100-year incidence will result in the northern and southern part of Roskilde being affected with overload of up to 0.5 meter under terrain in most areas with combined sewers. Most basements in these areas as well as local depressions in the terrain are expected to be flooded. Based on an assessment of the topographical conditions in the areas, it is estimated that approximately 60 buildings will be flooded above ground floor as they are placed in local depressions. Approximately 5% will be flooded in areas with separate sewers. Apart from damage to buildings and inventory, the primary damage is expected to be road breach, power failure and increased health risk due to contact with water containing faecal matter.

Adaptation to extreme rain is analysed in two different scenarios. In the first scenario, initiatives eliminating damage caused by 100-year rain in Roskilde are analysed. The second scenario includes focuses on more focussed initiatives that has a high reduction in economical cost of damages relative to the investment needed to reduce these damages. Both scenarios are based on the assumption that Roskilde Municipality implements adaptation to the extent necessary to meet the desired service level.

In the first scenario, the initiatives necessary for eliminating damage are estimated as follows:

- Increased storage capacity (115,000 m³ and 50,000 m³, respectively)
- Establishment of sewers for stormwater drainage to Roskilde bay (5.9 km new sewers)
- Increased drainage from the town centre to the transport corridors (1.2 km new sewers)

The results of the first scenario are shown in Table 0C. It appears that implementation of initiatives eliminating damage caused by 100-year rain in Roskilde involves a socio-economic loss of 225 million DKK. Implementation of adaptation initiatives has been analysed for the city as a whole as well as for smaller parts of the city. This is also shown in Table 0C. The result is that only the city centre of Roskilde (zone 4) will have a socio-economic benefit from this level of adaptation.

It can be concluded that it will be most beneficial to focus initiatives in areas and on types of damage resulting in the highest damage reduction.

Table OC: Result of the first scenario.

NV (million DKK)	Costs	Reduced damage costs	Net profit
Roskilde as a whole	-563	338	-225
Initiatives South - total (zone 1)	-179	107	-71
Initiatives North - total	-384	230	-154
- Zone 2 - increased storage	-75	70	-5
- Zone 3 - sewer 1	-51	17	-35
- Zone 5 - sewer 2	-57	17	-40
- Zone 6 - sewer 3	-137	62	-75
- Zone 4 - water control centre of Roskilde	-63	64	1

In the second scenario, locations are analysed where a socio-economic benefit can be expected by planning adaptation in addition to the gradual optimization of the sewerage system which is part of the spontaneous adaptation in the basic scenario.

In Roskilde, there are a number of buildings which due to the topographical conditions have high risk of flooding above ground floor during heavy rain. A rough estimate shows that this concerns approx. 60 buildings in the centre of Roskilde. The result of the second scenario shows that seen from a socio-economic point of view a further flooding protection of these buildings will pay off. In addition, installation of high water level closure is recommended for exposed basements in buildings connected to combined sewers. The socio-economic calculations indicate that expected damage in the basements does not justify large investments in upgrading of public sewer systems. Nor can it be recommended to implement further initiatives to protect against road breaches, sewer collapse, power failure etc. caused by extreme rain.

Increased seawater level

The analysis is based on the assumption that with the present climate a maximum seawater level of 1.8 meter above mean sea level is expected to appear once every 100 year. In year 2096, a similar incidence is expected to result in the seawater reaching a level of 2.37-3.13 meter above the present mean water level.

The area contains valuable cultural heritage and national treasure, i.e. the area is an essential part of the identity of the city of Roskilde. The total damage resulting from a 100-year water level increase is estimated to amount to 200-300 million DKK.

Roskilde Municipality has not initiated measures to avoid this catastrophe, nor have decisions on future initiatives been made.

At the workshop, two possible initiatives to secure the city against increased seawater level were identified:

- Establishment of a 3.5 meter embankment along the entire waterfront and seashore
- Establishment of dam from Hundested to Rørvig

An embankment along the waterfront was assessed to be unacceptable as this will cause large visual nuisance and result in a decline in house prices along the seashore. Furthermore, part of the experience when visiting the Viking Ship Museum is the sensation of feeling part of the bay. This impression would be spoiled by a 3.5 meter high embankment. Thus, establishment of a dam from Hundested to Rørvig was proposed at the workshop.

The present value of initial and operating costs for establishment of a dam amounts to 1.26 billion DKK. Thus, the costs involved with establishment of a dam does not compare to the damage reduction in the city of Roskilde.

The conclusion was thus that from a socio-economic point of view, it is not reasonable to remove the effects of increased water level in the city of Roskilde alone. However, the estimated damage costs only include the city of Roskilde. Establishment of a dam would provide for many other benefits and losses, e.g. other areas would be secured, and there would be derived effects. Therefore, a complete evaluation of this proposal is outside the scope of this study.

Aalborg

Extreme rainfall

Aalborg Municipality has experienced a number of incidences with extreme rain within recent years. Based on these incidences, the damage has been evaluated partly through hydraulic calculations and partly through accounts of the actual damage observed during heavy rain. Based on these evaluations, it was estimated that most likely future damage will be moderate if the sewerage system is gradually optimised corresponding to the present service level.

Aalborg Municipality has prepared a strategy for the sewerage system involving a complete separation of urban wastewater and stormwater. The time frame for total separation is 90 years. During this period, the risk of flooding will gradually be eliminated for flooding of basement in areas with combined sewers.

At the workshop it was assessed that damage caused by extreme rain can be reduced by a combination of the following 3 initiatives:

- Dissemination
- Retention of water in Østerådal
- Various local initiatives

The local initiatives primarily involve establishment of new pumping stations, new outlets and extension of existing retention bassins. With a cost of close to 96 million DKK, these local initiatives are the most expensive. The initiatives will primarily reduce the risk of flooding of basements and above ground floor. As mentioned above, the elimination of damage is dependent on the separation of sewers. Consequently, damage costs will be reduced in line with progress in separation of sewers. Table 0D gives an overview of adaptation initiatives and reduction of damage costs resulting from implementation of these initiatives.

Table 0D: Socio-economic costs and present value resulting from adaptation and reduction of damage costs.

Costs	Socio-economic costs (million DKK)	Present value (2007-million DKK)
Dissemination campaign	0.7	0.6
Retention of water in Østerådal (South)	30.6	18.0
Local initiatives	98.3	89.9
Profit from elimination of damage cost		
Flooding of basements in private buildings	50	62.5
Flooding above ground floor	25	3.0
Illness imposed by cleaning	2.4	44.4
Flooding of stored goods	11	13.8
Socio-economic profit		5.1

By adjusting the socio-economic costs to 2007-prices with a market discount of 3 %, it is possible to evaluate whether the adaptation will result in socio-economic profit or losses. The present scenario would result in a profit of 5.1 million DKK. The analysis only includes quantifiable damage costs, thus e.g. reduced public welfare as a result of uninhabitable houses is not taken into account.

Increased seawater level

The increase in seawater level was evaluated based on the same principles as for the city of Roskilde. Increased extreme water level will be most problematic in the densely built-up urban areas in Nr. Sundby and Aalborg. The high water level at a future 100-year rain involves the risk of the tunnel under Limfjorden and the runways in Aalborg airport partly being flooded. At the workshop it was agreed that the extent of this potential flooding risk was unacceptable.

At present there are no plans for adaptation initiatives against high water level. It is, however, expected that gradually spontaneous adaptation will be included in district plans to provide for the risk of flooding.

Three adaptation initiatives were suggested at the workshop:

- Sluice in Hals
- Higher walls surrounding quay and sluice in Østerå
- Hydraulic gates across Limfjorden.

The three initiatives were evaluated based on a cost-effectiveness analysis. The second initiative, i.e. establishment of higher walls surrounding quay and sluice in Østerå, was by far the most cost-effective initiative with a socio-economic cost of close to 100 million DKK, whereas the other initiatives resulted in a socio-economic cost which as a minimum was 7 times higher.

The two last initiatives are both local initiatives directed towards urban areas. Consequently, implementation of these initiatives might result in the areas east of Aalborg being flooded. Thus, it might be questioned whether these initiatives can be implemented in practice. Evaluation of the social benefits and losses involved in establishment of a sluice in Hals is outside the scope of this study.

General conclusions

The results are based on relatively rough technical and financial analyses primarily focusing on the direct costs and benefits involved with the individual

initiatives. A thorough analysis with extensive pricing of especially indirect costs should be carried out prior to implementation of specific initiatives. Below, the recommendations and conclusions of the project team are summarized:

- The method used for this study, i.e. gathering information at a workshop followed by technical and financial analyses at a strategic level, makes sense. The results have been sturdy and have provided for indicative action.
- The socio-economic calculation shows that the adaptation method for sewerage systems suggested in Spildevandskomiteens Skrift 27 (the climate addendum) is close to optimum for the cities of Roskilde and Aalborg. On this basis, it is estimated that the adaptation suggested in the Spildevandskomiteens Skrift 27 is sufficient in cities with good topographical conditions. The consequences of overload of wastewater in terrain should always be considered, including a separate assessment of the hygienic conditions.
- It is difficult for the individual municipality to adapt to increased seawater level. On the one hand, the consequences of a flooding catastrophe are extreme, and on the other hand the socio-economic calculations show that apparently it is not worthwhile to implement large adaptation initiatives. There is a need for further analyses. Based on such analyses, it would be relevant to prepare national guidelines.
- The municipalities must be open for broad and transverse solutions, allowing for new initiatives to have a double function in relation to climate adaptation, e.g. in connection with planning of new recreational areas or leisure-time facilities.
- The financial analyses are based on a very simple model. Extreme incidences of rain or high water level will have long-term effects which are not included in the financial analyses. Especially, it might be stressed that extreme seawater level will affect several towns at the same time. Consequently, the economic losses must be expected to be larger than the sum of the individual losses from a number of limited incidences in different urban areas.

1 Indledning

1.1 Formål med rapporten

Klimaændringerne forventes i dag at ville medføre væsentlige ændringer i vandets kredsløb i Danmark. For byerne er konsekvenserne bl.a. øget havvandstand 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.

Målet med nærværende rapport er at afrapportere en samfundsøkonomisk analyse af, hvilke tiltag der kan anbefales at iværksætte for at imødegå de større skader i byerne, som forventes i fremtiden på grund af mere ekstreme regn og mere ekstreme havvandsstande. Analysen foretages på to konkrete byområder, Roskilde by og Aalborg by. Den primære målgruppe for rapporten er centraladministrationen. Parallelt med nærværende rapport udgives en rapport med kommuner som den primære målgruppe. Den rapport indeholder mere konkrete anvisninger til, hvordan man kan gennemføre workshops med henblik på at identificere konkrete tiltag, der er relevante for den enkelte kommune.

1.2 Definition og afgrænsning af opgaven

Klimaændringerne forventes at påvirke alle aspekter af vandets kredsløb i byer. Nærværende undersøgelse tager udgangspunkt i to ændringer, der vides at være væsentlige at forholde sig til som kommunal og national myndighed: Stigende havvandstand og øget hyppighed af kraftige regnhændelser. Begge dele giver øget risiko for oversvømmelser i byområder.

Der er udelukkende foretaget en samfundsøkonomisk analyse. Der er ikke taget stilling til budgetøkonomiske overvejelser, endsi­ge hvilke praktiske og juridiske problemer der kan være i forbindelse med tiltagene. Det skyldes projektets indledende karakter.

1.3 Rapportens indhold

Den væsentligste del af rapporten er de økonomiske analyser af de to kommuner, Roskilde i kapitel 3 og Aalborg i kapitel 4. Kapitel 2 giver en introduktion til de metoder der er anvendt, herunder de begrænsninger, der er foretaget. En præcis gennemgang af afgrænsningen af den økonomiske analyse og princippet for opgørelse af en gennemsnitlig økonomisk skade pr. år er placeret i henholdsvis bilag A og B, hvortil interesserede læsere henvises. Kapitel 5 opsummerer de væsentligste resultater af de to analyser, herunder påpeger de mest sandsynlige landsdækkende tendenser samt begrænsningerne i den udførte analyse.

2 Metode

Formålet med de samfundsøkonomiske analyser af klimatilpasningstiltagene er at undersøge, hvorvidt tiltagenes omkostninger kan opvejes af tiltagenes fordele, og dermed hvorvidt der er tale om en samlet gevinst eller omkostning for samfundet. Hensigten med nærværende kapitel er kort at beskrive den anvendte metodetilgang i den samfundsøkonomiske analyse af klimatilpasningstiltagene. Der er endvidere udarbejdet et mere detaljeret metodenotat, som er vedlagt i bilag A.

2.1 Dataindsamling og analyseniveau

Nærværende projekt er bygget op omkring en workshop om klimatilpasningstiltag i forhold til klimarelateret ekstrem regn og højvande i byerne Roskilde og Aalborg. På workshoppen deltog repræsentanter fra forskellige forvaltninger i de pågældende kommuner samt de involverede konsulenter.

På baggrund af grundige forberedelser inviteredes de kommunale embedsmænd på en to-dages workshop, hvor følgende hovedspørgsmål blev diskuteret og til dels besvaret:

- Hvad er hovedproblemerne, som vil opstå som følge af ekstrem regn og højvande?
- Hvilke skader vil ske, og hvad vil de koste?
- Hvilke tiltag kan gennemføres for helt eller delvist at afhjælpe skaderne, og hvad vil de koste?
- Hvilke barrierer vil der være i forhold til at implementere tiltagene?

Hovedproblemer, skader, mulige tiltag samt barrierer blev afdækket på workshoppen. Prissætning af skader og tiltag blev kun delvist afklaret, hvorfor rådgiverne efterfølgende har indsamlet yderligere oplysninger.

Den afholdte workshop tilvejebragte på kort tid den viden, som umiddelbart er til stede i de respektive kommunale forvaltninger om de pågældende problemstillinger. Der er dog nødvendigvis tale om viden på et overordnet, strategisk niveau, og resultatet af workshoppen har derfor karakter af en screening. Den efterfølgende dataindsamling og økonomiske analyse er derfor tilrettelagt på et tilsvarende strategisk screening niveau. Analysens resultater er således usikre, men forventeligt handlingsanvisende på et strategisk niveau.

2.2 Analysemetode

Vurderingen af tiltagene gennemføres som partielle analyser. Herved vil kun effekter, som direkte eller indirekte kan forbindes med tiltaget, kvantificeres og værdisættes. Afledte effekter i eksempelvis følgeindustrier regnes ikke med. Fordelene ved en partiel tilgang er, at analysen er velafgrænset, og resultaterne er enkle at fortolke. Endvidere er der mulighed for at anvende en lang række forskellige konsekvensberegningemetoder. En ulempe er, at man ikke kan være sikker på, at det, der er optimalt i én sektor, også er optimalt i det hele taget.

Overordnet kan en policy-analyse af mulige klimatilpasningstiltag kunne gennemføres enten som en cost-benefit analyse (CBA) eller en cost-effectiveness analyse (CEA). I nærværende rapport er begge tilgange blevet anvendt. I en CBA prissættes samtlige effekter af både referencescenariet (se afsnit 2.3 nedenfor) og tiltaget. Tiltaget er samfundsøkonomisk fordelagtigt, hvis nutidsværdien af gevinsterne (de undgående skadesomkostninger jf. afsnit 2.5 nedenfor) kan opveje omkostningerne ved tiltaget. I en CEA måles omkostningerne i forhold til en ønsket effekt. Resultatet er en rangordning af tiltagene alt efter deres omkostningseffektivitet. Herved er det muligt at identificere de tiltag, som minimerer omkostningen ved at opnå den ønskede effekt.

Selve tilpasningen kan opdeles i to forskellige typer: den, der sker spontant, og den planlagte, som sker på baggrund af politiske indgreb. I nærværende er målet at vurdere de samfundsøkonomiske konsekvenser af planlagt tilpasning. Dette gøres ved at holde den planlagte tilpasning op mod referencescenariet. I referencen tages højde for de indvirkninger klimaændringerne forventes at have og den deraf følgende spontane tilpasning. En nærmere beskrivelse af de forskellige typer tilpasning og referencer findes i Damgaard *et al.* (2006) samt i Miljøstyrelsen (2006).

2.3 Scenarier

Den samfundsøkonomiske analyse betragter to sæt af situationer for hver af de to kommuner. Situationerne tager udgangspunkt i tre scenarier:

- **Referencescenarium:** Servicemålene i skrift 27 overholdes. Det betyder, at serviceniveauet skal fastholdes uændret. De stigende nedbørsmængder indebærer, at scenariet svarer til en generel opdimensionering af det offentlige kloaksystem.
- **Scenarium 1:** I dette scenarium ses på ekstreme nedbør (30 mm/2 timer) og oversvømmelses hændelser, der forekommer op til en gang hvert 10. år. Kommunen negligerer klimaproblemet og opretholder eksisterende dimensionering. Det vil sige, at den planlagte tilpasning er at nedsætte serviceniveauet over for borgerne. Scenarium 1 omhandler ændringer i nedbør.
- **Scenarium 2:** Klimaændringerne vil betyde flere ekstreme hændelser. I dette scenarium betragtes ekstrem nedbør (50 mm/2 timer) og ekstreme oversvømmelser, som forekommer med 100 års mellemrum. De relevante planlagte tiltag varierer fra kommune til kommune. Scenarium 2 omhandler ændringer i nedbør og ændringer i havvandsstand.

I første situation sammenlignes et scenarium, hvor der foretages kommunal tilpasning til klimaændringerne for at opretholde serviceniveauet (referencescenariet), med et scenarium, hvor den eksisterende kapacitet bibeholdes (scenarium 1). Herved er det muligt at få et udtryk for, hvad det er muligt at spare ved at undlade tilpasning og sammenholde det med de skadesomkostninger, det vil medføre.

I den anden situation sammenlignes referencescenariet med scenarium 2. Her er det relevant at se på, hvilke tiltag eller kombinationer af tiltag kommunerne kan iværksætte med henblik på at afbøde skaderne ved ekstreme hændelser.

Herefter er det muligt at vurdere de samfundsøkonomiske omkostninger og gevinster herved. En udførlig metodebeskrivelse i forbindelse med de valgte scenarier kan findes i bilag A.

2.4 Kvantificering af effekter

Der er ofte manglende viden om, hvornår og med hvor stor effekt de forskellige klimaændringer og de dertil knyttede effekter vil indtræffe. Denne viden er imidlertid helt central i forbindelse med vurdering og timing af klimatilpasningstiltag.

2.4.1 Størrelsen af effekter

I forbindelse med nærværende projekt er der gennemført en kvantificering af 100-års hændelserne for såvel ekstrem regn og højvande i de to byer. Da der imidlertid sandsynligvis indtræffer såvel 50-års hændelser, 30-års hændelser etc. inden for den periode, hvor en 100-års hændelse vil finde sted, er det i analysen også nødvendigt at forholde sig effekterne af disse øvrige hændelser. Dette er gjort ved at skalere effekterne af 100-års hændelsen. Fremgangsmåden samt væsentlige nøgletal, som er anvendt i beregningen, er beskrevet i bilag B og C.

2.4.2 Tidsmæssig placering af effekter

Da det ikke er muligt at forudsige den tidsmæssige placering af hændelserne, fordeles de samlede omkostninger ved de akkumulerede hændelser, beregnet som beskrevet ovenfor, ud over hele den betragtede tidsperiode. Principperne herfor er ligeledes beskrevet i bilag B.

2.5 Gevinster og omkostninger ved klimatilpasning

En samfundsøkonomisk analyse af klimatilpasningstiltag vil omfatte en vurdering af omkostninger ved at implementere et klimatilpasningstiltag eller en kombination af flere tiltag, samt gevinsterne ved at gennemføre tiltaget.

Omkostningerne udgør værdien af de ressourcer, som tiltaget beslaglægger. De svarer til summen af tiltagenes direkte omkostninger (markedsomsatte goder) og tiltagenes afledte negative eksternaliteter.

Den samfundsøkonomiske gevinst ved at gennemføre klimatilpasningstiltag, er summen af de undgåede skadesomkostninger, tiltaget afstedkommer. Dvs. værdien af de undgåede direkte skadesomkostninger (f.eks. boliger, biler etc.), undgåede indirekte skadesomkostninger (f.eks. personskader og produktionstab som følge af trafikuheld) samt undgåede eksterne (ikke-markedsomsatte) omkostninger (f.eks. sygdom, miljøomkostninger). I bilag C findes en oversigt over samtlige skadespriser, der er blevet anvendt.

I den nærværende analyse beskrives kvalitativt tiltagets eksterne (ikke-markedsomsatte) undgåede omkostninger samt tiltagets afledte negative eksternaliteter. Dvs. at disse omkostninger ikke værdisættes eksplicit. I nogen situationer gennemføres dog en form for "break-even" analyse, hvoraf det fremgår, hvor store disse eksterne effekter skal være, for eksempelvis at et givent tiltag vil give et samfundsøkonomisk overskud og bør gennemføres.

2.6 Diskontering

Fælles for klimatilpasningstiltag er, at fordelene ved at gennemføre dem først vil blive realiseret langt ude i fremtiden, mens tiltagets omkostninger falder væsentligt tidligere. For at kunne sammenligne omkostninger og fordele, som er tidsmæssigt forskelligt placerede, omregnes alle tiltagets konsekvenser til nutidsværdier. Dette indebærer brug af en diskonteringsrate.

Den velfærdsøkonomiske diskonteringsrate afspejler, hvor meget større vægt befolkningen tillægger forbruget i år i forhold til samme forbrug næste år. Fremtidige effekter tillægges mindre vægt desto højere diskonteringsrate. I analyserne vil samtlige konsekvenser i forhold til referencescenariet blive tilbagediskonteret med en diskonteringsrate på 3 %.

Da kloaksektoren er kendetegnet med en planlægningshorisont på 50 – 100 år, regnes med en tidshorisont på 90 år, hvilket er en lang horisont for denne type analyse. Den lange tidshorisont bevirker, at resultatet kan være særdeles følsomt over for den valgte diskonteringsrate. Der gennemføres derfor følsomhedsanalyser med diskonteringsrater på henholdsvis 1 % og 6 %.

3 Roskilde

3.1 Ekstremregn, Scenarium 1

I Scenarium 1 betragtes et konstant serviceniveau overfor borgerne. De forventede klimaændringer betyder, at der i 2096 vil ske opstuvninger til terræn ca. hvert 3. år i stedet for hvert 10. år. Det betyder, at de hændelser, som i dag kun giver små skader, i fremtiden vil give markante skader. Erfaringstal for omkostningen ved gradvist at øge dimensionerne af afløbssystemet er vurderet til at medføre en forøgelse på 10 - 20 % af anlægsbudgettet på baggrund af Clausen *et al* (2006) og Arnbjerg-Nielsen *et al* (2007). Udgiften er dermed i størrelsesorden 1,5 - 2,0 mio. kr. pr. år for Roskilde Kommune. Denne ekstra investering vil sikre et uændret serviceniveau over for borgerne. I Scenarium 1 spares denne omkostning, der derfor fremtræder som en gevinst for samfundet.

I bilag B er det teoretisk beregnet, at omkostningen i form af ekstra skader vil stige til 40 - 50 mio. kr. pr år for Roskilde Kommune i år 2096. Såfremt klimaændringerne kan antages at ske lineært i perioden, vil udgifterne til skader pr. år således allerede inden for 3 - 5 år overstige investeringen pr. år. Deraf fremgår, at det ikke kan anbefales at fastholde afløbssystemets kapacitet. I stedet skal afløbssystemet løbende udbygges, så kapaciteten svarer til et uændret serviceniveau for borgerne og et uændret skadesbillede.

3.2 Ekstremregn, Scenarium 2

På workshopen blev det grundigt diskuteret, hvordan skader og tiltagsomkostninger i scenarium 2 kan se ud. Som beskrevet i metodekapitlet, så går scenarium 2 ud på at forholde sig til de skader, der kan opstå ved en 100 års regnhændelse, og de tiltag, der kan iværksættes for at fjerne størstedelen af disse skader. Med udgangspunkt i de hydrauliske kort, som viser, hvor der kommer opstuvning i kloakkerne over 0,5 meter under terræn i Roskilde By, blev følgende vurderet:

- Hvad er de vigtigste skader af en 100 års regnhændelse?. Hvad er omfanget af skaderne? Og hvad kan det koste samfundet?
- Hvilke tiltag er det muligt at iværksætte generelt i kommunen og mere lokalt i dele af kommunen for at forhindre og imødegå de alvorligste skader af en 100 års regnhændelse.

Skaderne kan være svære at identificere og især kvantificere, når der ikke har været en ekstremregn, der nærmer sig en 100 års hændelse de seneste mange år i Roskilde By. Den seneste ekstremregn i Roskilde By var i juni 1997, der havde en gentagelsesperiode omkring 10 år for de skadevoldende effekter.

Selvom der i Roskilde By ikke har været regnhændelser, der tilnærmelsesvist nærmer sig en gentagelsesperiode på 50-100 år, har Roskilde Kommunes

workshopdeltagere kvalitativt vurderet, hvilke skader der vil opstå under en 100 års regnhændelse ud fra modelberegninger.

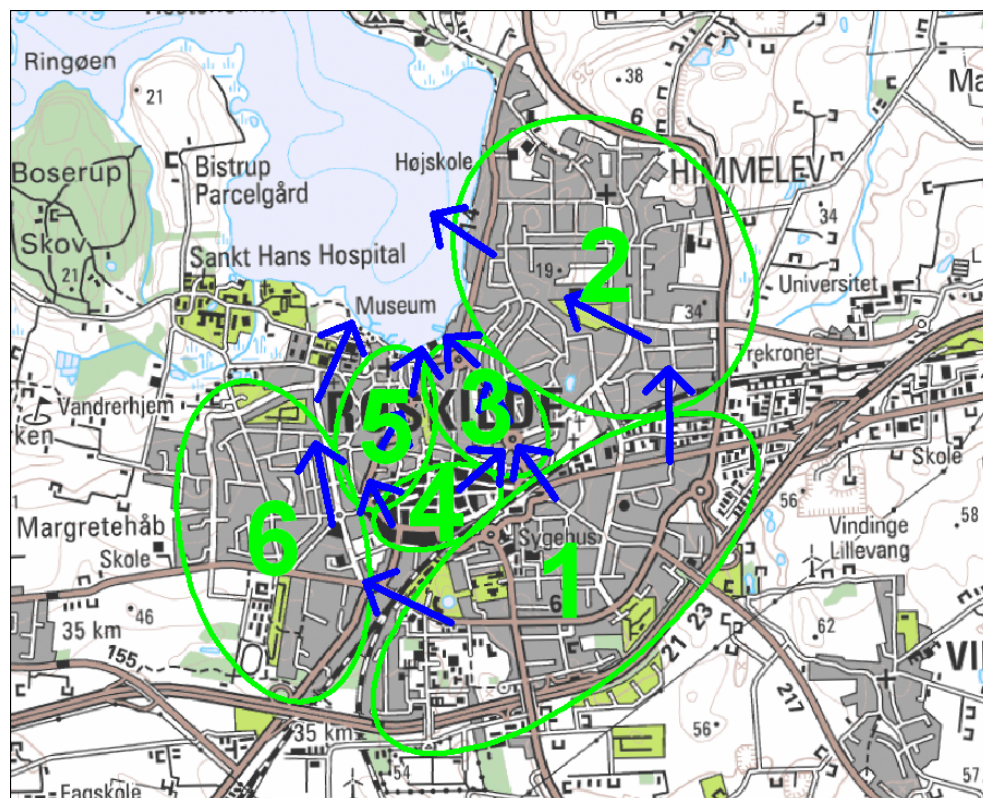
3.2.1 Reference

Referencescenariet svarer til, at den myndighedspraksis for serviceniveau, der anvendes for kloakdimensionering i dag, også anvendes i de næste 90 år, som er beregningsperioden. Det svarer til, at det serviceniveau, som borgerne oplever i dag, også er det serviceniveau, de oplever om 90 år, når det antages, at Roskilde Kommune fortsætter med at renovere og udbygge systemet, så serviceniveauet løbende opretholdes. Det antages hermed også, at der tages højde for en vis klimaforandring i perioden, som betyder en øget dimensionering af kloaksystemet med faktor 1,4 frem til 2096. Det antages således, at en 10 års hændelse om 100 år vil være 40% kraftigere end i dag og at kloakforsyningen i Roskilde kommune løbende udbygger afløbssystemet, så det kan håndtere denne ekstra maksimale belastning. Referencescenariet forudsætter dermed, at en regnhændelse med en gentagelsesperiode på f.eks. 10 år som falder i 2007, vil have den samme skadeseffekt som en regnhændelse med samme gentagelsesperiode, men som falder i 2096.

De tiltag, der ses på i scenarium 2 - som retter sig mod tiltag, der kan reducere skaderne af en 100 års regnhændelse - betragtes som ekstra investeringer i forhold til referencen.

3.2.2 Struktur af Roskilde by

Roskilde By er kendetegnet ved, at den deles fra øst til vest af en jernbane, som går gennem hele byen, og som udgør en slags dæmning mellem den sydlige og den nordlige del af byen. Nedenstående kort viser Roskilde By overordnet inddelt i 6 zoner, og hvorledes regnvandet i dag ledes fra zonerne til Roskilde Fjord.



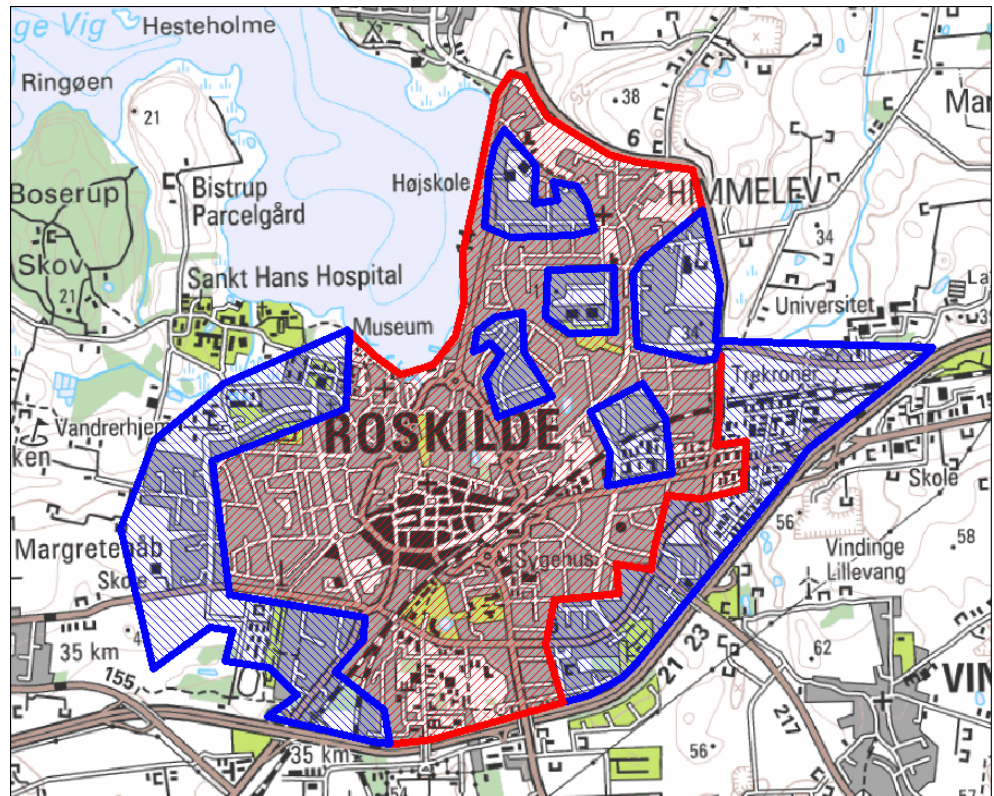
Figur 1: Kort over Roskilde by med zoner og hovedafstrømningsretninger for regnvandet.

3.2.3 Konsekvenser af 100 års regn

Resultatet af de hydrauliske beregninger viser, at både det nordlige og det sydlige område påvirkes af 100 års regnen med opstuvning til over 0,5 meter under terræn i stort set hele det fælleskloakerede område. Dette betyder, at alle kældre i det fælleskloakerede område risikerer oversvømmelser, og at lavninger i terrænet vil blive oversvømmet. I disse lavninger vil huse blive oversvømmet til over stueplan. Udbredelsen af disse lavninger er via højdemodellen kvantificeret til at omfatte ca. 60 ejendomme.

Resultatet af de hydrauliske beregninger for det fælleskloakerede opland er overført til det separatkloakerede opland, da de to systemer stort set dimensioneres til at kunne aflede de samme vandmængder. Det antages dermed, at stort set hele det separatkloakerede opland udsættes for opstuvninger i de separate regnvandskloakker, og at 5 % af det samlede separatkloakerede opland terrænoversvømmes.

Umiddelbart er det nærliggende at tro, at vandmængderne fra det sydlige område (zone 1 på figuren) vil trænge hen mod de tre åbninger, der er under jernbanen, og strømme videre ned til Roskilde Fjord. I så fald vil det medvirke til at forværre skaderne af ekstremregn i den nordlige del af Roskilde by. Det er imidlertid ikke tilfældet, fordi de tre passager under jernbanen er så små, at det ikke tillader vandet at passere i den takt, det genereres, og dermed påvirker afstrømningen fra syd kun marginalt forholdene nord for banen. Dermed bliver vandmængderne fra syd afledt på et senere tidspunkt end vandmængderne, der falder i nord. Den eneste påvirkning, som det sydlige område har på det nordlige område, er at medvirke til at øge varigheden af påvirkningerne, men ikke udbredelsen.



Figur 2 Kort over Roskilde by med de områder hvor der sker opstuvning i kloakkerne over 0,5 meter under terræn (Rød: Fælleskloak, Blå: Separatkloak).

3.2.4 Skader og skadesomkostninger

På workshoppen blev skaderne ved en 100 års regnhændelse vurderet, og der blev foretaget et groft skøn over kvantificering af skaderne. 100 års hændelsen (50 mm/2 timer) er alene valgt som eksempel på en ekstremregn, som kan forekomme i Roskilde kommune i løbet af de næste 90 år. Den er valgt som udgangspunkt for diskussionen af, hvilke skader der kan komme som følge af klimaforandringer i fremtiden. Når skaderne af 100 års regnhændelsen er vurderet, så bruges dette skadesbillede til at sige noget om omfanget af skaderne fra samtlige ekstremregn, der kan forekomme i Roskilde kommune frem til 2096.

Skaderne er vurderet med baggrund i hydrauliske simuleringer af 100 års regnens konsekvenser for kloaksystemet, og ud fra den viden deltagerne fra Roskilde Kommune har fra tidligere ekstreme regnhændelser. Omfanget af skaderne ved en 100 års regn er vist i tabel 1. En opdeling af skadesomfanget i Roskilde Nord på de 5 zoner i nord kan ses i bilag D.

Tabel 1: Skader ved 100 års regnhændelse (50mm/2 timer) i Roskilde By

Skade	Enhed	Zone 1 Syd	Zone 2-6 Nord
Trafik- forstyrrelser	Forsinkelsestid for bilister på berørte hovedveje (arbejde-bolig transport).	16.667 t	16.667 t
Vejbrud	Antal vejbrud	5	11
Stuegulve	Antal ejendomme med vand i stueetage	18	42
Kælder	Antal ejendomme med kælderoversvømmelser	600	1.400
Elsvigt (>5 t)	Antal personer i private boliger	3.750	3.750
	Antal virksomheder/institutioner		26
Fødevarebutikker - produktionstab og erstatning	Antal fødevareforretninger der oversvømmes i kælder	11	23
Andre butikker - varelager	Antal virksomheder og forretninger med vand i kælder (antages lager i kælder)	48	95
Skader på kloakker	Brønde der beskadiges som følge af opstuvning	100	200
Administrationsomk. (kommunen, rådgivere)	Antal timer kommunale medarbejdere bruger pga skaderne Rådgivningstimer	1.200 500	3.000 1.000
Sundhedsomk.	Antal personer i berøring med blandet vand og spildevand	1.544	3.606

Kilde: workshoppen samt hydrauliske beregninger.

Skaderne er prissat med et sæt samfundsøkonomiske enhedspriser, som er indsamlet fra eksisterende litteratur på området. Priserne er vist i bilag C, hvor der også er henvist til de rapporter og kilder, som priserne stammer fra. Her er vist et udpluk af de skadespriser, der er anvendt for Roskilde analysen:

- Forsinkelsestid for transport arbejde-bolig på grund af trafikforstyrrelser (127 kr./time)
- Vejbrud (1 mio. kr./vejbrud)
- Stuegulve (500.000 kr./berørt bolig)
- Kælderoversvømmelse (25.000 kr./berørt bolig)
- Fødevarebutikkers lagerværditab (ca. 190.000 kr./berørt butik)
- Andre butikkers lagerværditab (ca. 395.000 kr./berørt forretning)
- Sundhedsomkostning virus (7.200 kr./syg person)

Som beskrevet i metodekapitlet, så omfatter opgørelsen af skaderne i dette projekt alene en delmængde af de samlede potentielle skader ved ekstremregn. Der har i dette projekt været fokus på at skønne de direkte skader og visse indirekte skader, hvorimod de sociale omkostninger (eksternaliteterne) ikke opgøres fuldt ud i dette projekt (alle relevante sygdomme,

recipientmiljøeffekter, rekreative værdier, nedbrud i forsyning). Derfor er opgørelsen af skaderne i nærværende analyse sandsynligvis undervurderet. Til gengæld er usikkerheden på de skader, der er opgjort, så stor, at skadesomkostningerne også kan være overvurderet. Samlet set giver det sandsynligvis et retvisende billede af skadesomkostningerne.

Skadesomkostningerne ved ekstremregn er vurderet til 193 mio. kr. Ud fra beskrivelsen i bilag B ganges denne omkostning med faktor 5,5 og deles ligeligt ud over perioden fra 2007 til 2096. Dermed er den årlige skade 10,7 mio. kr. Nutidsværdien af skaderne er 344 mio. kr.

3.2.5 Scenarium 2: Mulige tiltag og tiltagsomkostninger

Konsekvensberegningerne af scenarium 2 er alene foretaget for Roskilde by og ikke for omegnsbyerne i Roskilde Kommune.

I scenarium 2 ses der på, hvad det koster at gennemføre tiltag rettet mod reduktion af skaderne ved en 100 års regnhændelse (50 mm/2 timer).

På workshoppen blev identificeringen og prioriteringen af de mulige tiltag foretaget på baggrund af bl.a. ovenstående kort, der viser udbredelsen af opstuvninger i kloakkerne fra 0,5 meter under terræn og opefter - dvs. udbredelsen af de områder, hvor kælder- og terrænoversvømmelser må forventes. Som det fremgår af kortet, vil der komme opstuvninger af vand i hele Roskilde by. Derfor er det også et spørgsmål om at prioritere indsatsen og tiltagene i de områder, hvor der opnås de største gevinster.

Der var under workshoppen enighed om, at bymidten i Roskilde By bør have høj prioritet, da det må forventes, at oversvømmelser her får størst betydning i form af ødelagte varer og skader på de overvejende gamle huse.

Da afstrømningen fra det sydlige område ikke påvirker forholdene nævneværdigt i det nordlige område, og da forholdene i de 5 zoner i det nordlige område ikke påvirker hinanden indbyrdes, er det valgt at foretage 6 isolerede økonomiske analyser af scenarium 2 for Roskilde By - en for hver zone. Der er for hver zone overvejet en vifte af mulige tiltag, og på den baggrund er der regnet på to forskellige scenarier for de seks zoner.

Tabel 2: Scenarier og dosering.

Scenarium	Dosering af tiltag
Scenarium 2 a	Tiltagene doseres, så de fjerner alle skader ved 100 års hændelsen i Roskilde by
Scenarium 2 b	Tiltagene doseres efter, hvor de giver mest skadesreduktion. Altså iværksættes tiltag i zoner/oplande med stor skade. Derimod iværksættes ikke tiltag i øvrige zoner/oplande (dosering nul). Et forsøg på at dosere efter, hvor der opnås mest skadesreduktion for pengene , og dermed giver dette scenarium ikke 100% fjernelse af skaderne fra 100 års regn i Roskilde.

En mere præcis økonomisk optimering af tiltagene i Roskilde Kommune kræver, at der anvendes en økonomisk optimeringsmodel på ejendomsniveau. Det ligger imidlertid uden for rammerne af nærværende projekt. Det vil kræve et større datadetaljeringsniveau af tiltagsomkostninger og skadesomkostninger. Og dernæst vil det være en selvstændig aktivitet at udvikle en sådan økonomisk optimeringsmodel. Som erstatning for dette er scenarium 2b et

forsøg på at vurdere den økonomisk mest optimale sammensætning og dosering af tiltagene ud fra de data, der er indsamlet og til rådighed i nærværende projekt^{1 2}. Det er dog vigtigt at pointere, at der kan være andre kombinationer af tiltag og doseringer, som er nærmere økonomisk optimum end scenarium 2b.

For scenarium 2a og scenarium 2b og for hver af zonerne vil det fremgå, hvorvidt det kan betale sig at etablere tiltag til imødegåelse af 100 års regnen.

I scenarium 2a er det vurderet, hvilke tiltag der er nødvendige for at fjerne skaderne af 100 års regn i Roskilde, og tiltagene fremgår af tabel 3.

Tabel 3: Scenarium 2a – 100% fjernelse af skader fra 100 års regn.

	Tiltag	Dosering
Roskilde Syd (Zone 1)	Øget magasinering	115.000 m ³
Roskilde Nord (Zone 2)	Øget magasinering	50.000 m ³
Roskilde Nord (Zone 3, 5 og 6)	Etablering af tre transportkorridorer til afledning af regnvandet fra byen ned til fjord.	5,9 km nye kloakledninger i de tre veje
Roskilde Nord (Zone 4 – midtbyen)	Øget afvanding ud af bymidten til transportkorridorerne	1,2 km ny kloakledning i gågade

Kilde: COWI, intern viden.

Noter: En mere detaljeret liste over tiltagene i hver zone samt tilknyttede anlægs- og driftsomkostninger fremgår af bilag C.

Begrundelser for de valgte tiltag og vurderingen af behovet for dosering er forklaret kort herunder:

- **Roskilde Syd - zone 1**

I denne zone søges effekterne af 100 års regnen imødegået ved etablering af lokale foranstaltninger i form af bassiner til magasinering af vandet med henblik på senere afledning. Den samlede nedbørsmængde, der falder i zone 1, udgør ca. 115.000 m³. Det er forudsat, at denne nedbørsmængde skal magasineres.

Tiltagene vil primært have positiv effekt på oversvømmelserne syd for banen, og kun i meget lille omfang på oversvømmelserne nord for banen.

- **Roskilde Nord - zone 2, 3, 4, 5 og 6**

Zonerne 2, 3, 4, 5 og 6 udgør hele det nordlige område, hvoraf zone 4 udgør bymidten. I de 4 zoner uden for bymidten er der generelt ringe pladsforhold til etablering af lokale løsninger sammenlignet med det sydlige område. Da områderne tillige er beliggende tættere på fjorden end det sydlige område, søges effekterne af 100 års regnen imødegået ved at etablere 3 transportkorridorer følgende de blå pile som vist på figur 1 (Møllehusvej, Kong Valdemars vej og Byvolden/Sct. Clara Vej), samt ved at øge magasineringskapaciteten i Ladegårdsrenden og bevare afløbet

¹ Data består af COWIs interne viden om afstrømningsforhold, opstuvningsprognoser mv. suppleret med ekspertdeltagernes vurderinger af mulige tiltag og skader ved 100 års regn på workshoppen.

² Blandt andet er det muligt – ved hjælp af kort over lavninger i Roskilde Kommune – at identificere mere præcist, hvor der eksempelvis vil forekomme oversvømmelse af stueplan (en af de dyreste skader ved ekstremregn).

uændret. Den øgede bassinvolumen på 50.000 m³ er vurderet ud fra den nedbørsmængde, der vil falde i oplandet til Ladegårdsrenden, fra regnet det eksisterende volumen, der i dag er etableret i oplandet.

Transportkorridorerne etableres ved en kombination af nye kloakker i korridorerne til supplement af de eksisterende, samt etablering af mulighed for overfladisk kontrolleret afstrømning på vejene³. Til hver korridor findes et nogenlunde naturligt afstrømningsopland, og det er hensigten at etablere kloakker i oplandene i et omfang, der sikrer, at regnvandet under ekstremregn kan ledes til transportkorridorerne uden lokale opstuvninger. Dimensioneringen af kloakkerne i transportkorridorerne er valgt ud fra den største handelsdimension på markedet kombineret med den praktisk mulige dimension at etablere i en eksisterende vej (1200 og 1600 mm). Prisen er ret uafhængig af, om den er 1200 eller 1600 mm.

Zone 4 (bymidten) søges afvandet mod øst og vest til de to transportkorridorer Kong Valdemars Vej og Byvolden/Sct. Clara Vej ved fornyet kloakering i gågaden der leder regnvandet direkte til de to transportkorridorer. Se kort over Roskilde midtby i Figur 3. Kloakken udformes som en slags aflastningskloak for de eksisterende systemer, der bevares uændrede. Vejvand og tagvand, der nemt lader sig frakoble det eksisterende kloaksystem, kobles direkte på den nye kloak, men generelt skal løsningen indebære så lidt gravearbejde i bydelen som muligt. Dimensioneringen af kloakken i gågaden er foretaget på samme måde som for transportkorridorerne, hvor der er valgt den største handelsdimension og den praktisk mulige dimension at etablere i gaden (dimension på mellem 1200 og 1600 mm). Løsningen for bymidten forudsætter, at transportkorridorerne i Kong Valdemars Vej og i Byvolden/Sct. Clara Vej også etableres, da vandet fra bymidten skal ledes til Roskilde Fjord via disse to korridorer. Muligheden for at etablere bassiner i Byparken og i Folkeparken nord for bymidten, som alternativ til at lede det til Roskilde Fjord, anses for udelukket på grund af plads- og faldforholdene i parkerne. Det vil ødelægge helhedsværdien af områderne og vurderes at give æstetiske omkostninger.

I scenarium 2b er det vurderet:

- i hvilke områder/zoner af Roskilde by det er økonomisk mest optimalt at iværksætte tiltag. Der ses på de zoner, hvor værdien af de reducerede skader er større end tiltagsomkostningerne.
- hvilke skadestyper er de dyreste, og dermed dem det forventeligt bedst kan betale sig at målrette indsatsen imod. Der ses på de skader, som har en høj enhedspris, og som dermed betyder mest for de samlede skadesomkostninger i Roskilde.

Tiltagene og deres dosering fremgår af tabel 4.

³ I denne analyse er kloakkerne dimensioneret, så der ikke kommer afstrømning på vejene mere end cirka hvert femte år. I disse situationer anvendes muligheden for at styre regnen op på vejen/korridoren (prop eller ventil), frem for at lade den give opstuvninger andre steder.



Figur 3: Kort over Roskilde midtby (zone 4).

Tabel 4: Scenarium 2b – mest skadesreduktion for pengene.

Mål med tiltag	Zone	Dosering
1. Fjernelse af regnvand på ejendomme med vand i stueplan (afledning af vand væk fra grund)	60 bygninger fordelt over alle zoner i Roskilde	60 bygninger
2. Reduktion i antal kældre med oversvømmelse	Kældroersvømmelserne er spredt over hele byen	Break even
3. Oversvømmelsesproblemer i midtbyen løses (inkl. transportkorridor til afledning af vandet)	Zone 4 Zone 3	Hele midtbyen + afledt effekt i zone 3
4. Oversvømmelsesproblemer i midtbyen løses alene (ekskl. transportkorridor)	Zone 4	Hele midtbyen

Kilde: COWI, intern viden.

Noter: En mere detaljeret liste over tiltagene i hver zone samt tilknyttede anlægs- og driftsomkostninger fremgår af bilag C.

Nedenfor gennemgås begrundelserne for scenarium 2b.

Vurdering af zoner

Indledningsvist er potentialet i de enkelte zoner vurderet ud fra den samlede skadesomkostning pr. zone i forhold til bruttoarealet af zonen. Det viser sig, at zone 4 udsættes for de største skadesomkostninger i forhold til bruttoarealet. Årsagen hertil er blandt andet, at zone 4 rummer et stort antal butikker, der forventes at få ødelagt varelagre. Derfor er det valgt at foretage en særlig økonomisk analyse af tiltag i zone 4.

De øvrige 5 zoner udsættes hver for en skadesomkostning på gennemsnitligt 16 % af zone 4's skadesomkostning pr. ha. Kun hvis sikringen af zone 4 – som har langt det største skadesreduktionspotentiale – giver økonomisk gevinst, så udføres analyse af sikringen af de øvrige fem zoner.

Vurdering af typer af skader

Oversvømmelser af stueplaner i beboelsejendomme

Oversvømmelse af stueplaner i Roskilde By ved en 100 års regnhændelse vil ramme ca. 60 ejendomme sporadisk fordelt over hele byen. De samlede skadesomkostninger ved de 60 ejendomme udgør en stor del af Roskilde kommunes samlede skadesomkostninger ved 100 års regn, fordi erstatningsomkostningen per ejendom vurderes til 500.000 kr./ejendom. Derfor er det valgt at foretage en isoleret økonomisk analyse af tiltag rettet mod disse 60 ejendomme. De konkrete tiltag kan være etablering af ny og bedre afledning fra området, hævnning af sokkelkoter, høje kantsten/diger til at lede vandet væk fra lavningen eller lignende tiltag. Til brug for prissætningen af disse lokale tiltag er der taget udgangspunkt i at etablere bedre afledning fra området, svarende til en ny særlig kloakstrækning til afhjælpning af problemet. I gennemsnit vurderes de 60 ejendomme at have brug for 100 meter ny kloakledning med en gennemsnitlig pris for etablering på 4000 kr./meter. Denne løsning vurderes at være anvendelig i Roskilde By på grund af de ekstraordinært gode topografiske forhold.

Kælderoversvømmelser

Den største skadesomkostning i Roskilde skyldes oversvømmelse af kældre i beboelsehuse og virksomheder. Oversvømmelse af kældre sker i Roskilde By sporadisk, og over hele byens samlede fælleskloakerede areal. Til gengæld er prisen pr. skade forholdsvis lille, og dermed forventes det ikke at kunne betale sig at gøre noget ved denne skadestype alene ved at gøre afløbssystemerne større. Til gengæld foretages en break even analyse af, hvor meget der maksimalt kan investeres i løsning af kælderoversvømmelser for, at regnestykket balancerer. En løsning af kælderoversvømmelserne vil enten kræve en omfattende regnvandskloakering af hele byen og/eller private investeringer på egen ejendom i form af højvandslukker og lukning af afløb i kælder.

Vejbrud, skader på kloakker og trafikforstyrrelser

Vejbrud, skader på kloakker og trafikforstyrrelser sker også sporadisk og over hele byens areal. Disse skader har et niveau, der betyder, at der ikke kan investeres mere end ca. 50 mio. kr. i tiltag til imødegåelse af skaderne. Da en reduktion af skaderne vil kræve en generel forøgelse af det samlede kloaksystems kapacitet, så vurderes det ikke økonomisk rentabelt at investere i forebyggelse af vejbrud, skader på kloaknettet og trafikforstyrrelser.

Anvendte omkostninger og priser

Omkostningerne ved tiltagene er skønnet ud fra erfaringstal for tilsvarende arbejder, og kan kun opfattes som retningsgivende. Alle omkostninger er ekskl. moms. Anlægs- og driftsomkostningerne ved tiltagene er vist i bilag C, og de er alle i 2007 priser. Der er ikke vurderet at være behov for køb af jord/arealer i forbindelse med etablering af tiltagene i Roskilde Syd og Roskilde Nord. Det antages, at tiltagene etableres på tilgængelige offentlige arealer. Alle klimatilpasningstiltag rettet mod ekstremregn antages at blive gennemført i starten af beregningsperioden fra 2007-2010. Til gengæld reduceres skaderne jævnt over årene i hele den 90-årige beregningsperiode.

Samtlige tiltag til reduktion af skader fra ekstremregn antages finansieret af vandafledningsbidraget, og dermed indregnes ikke skatteforvridningsomkostninger for tiltagene. Til gengæld omregnes alle anlægs- og driftsomkostninger til markedspriser ved at gange med nettoafgiftsfaktoren. Dette er forklaret nærmere i metodekapitlet i denne rapport.

3.2.6 Økonomisk analyse: Valg af tiltag

Nutidsværdien af tiltagsomkostningerne sammenlignes med nutidsværdien af de reducerede skader. I scenarium 2a antages det, at tiltagene fjerner samtlige af de identificerede skader i tabel 1, og ikke kun en del heraf. I scenarium 2b reduceres kun en delmængde af skaderne i tabel 1, idet tiltagene målrettes mod oplande med størst skade og til reduktion af dyreste skader.

I begge scenarier indregnes også de gevinster af tiltagene, som opstår fordi de samtidig er med til at reducere skaderne af øvrige ekstreme regnhændelser, som kan forekomme i den 90-årige beregningsperiode.

Resultaterne af de samfundsøkonomiske beregninger for ekstremregn er vist i tabel 5 og tabel 6.

Med de forbehold og usikkerheder, der er på opgørelsen af tiltagsomkostninger og skadesomkostninger, så fremgår det af tabel 5, at det giver et samfundsøkonomisk nettotab på 225 mio. kr. at iværksætte klimatilpasningstiltag, der kan fjerne alle fremtidige skader af en 100 års regn i Roskilde by⁴. Det koster ca. 563 mio. kr. i nutidsværdi at gennemføre klimatilpasningstiltagene i starten af den 90-årige periode. Dette skal sammenholdes med, at tiltagene vil fjerne alle skaderne af ekstremregn i den 90-årige beregningsperiode, hvilket svarer til en værdi på 338 mio. kr. Når de to tal lægges sammen, så giver det et samlet nettotab for samfundet. Disse tal er behæftet med stor usikkerhed, og derfor er der foretaget en række følsomhedsberegninger af resultatet. Det fremgår også, at i hver zone i Roskilde giver klimatilpasningstiltagene et samfundsøkonomisk nettotab - bortset fra midtbyen, hvor en afledning af vandet væk fra midtbyen giver en lille nettogevinst. Tiltagene i midtbyen (zone 4) kræver dog en supplerende investering i transportkorridorer i zone 3 eller 5 til opsamling af vandet fra midtbyen. Altså tyder det på, at det ikke kan betale sig at investere i klimatilpasningstiltag til fjernelse af hele 100 års skaden i Roskilde by, men at tiltagene skal doseres mere målrettet efter de områder og skadestyper, der giver mest skadesreduktion for pengene. Dette er forsøgt i scenarium 2b.

⁴ Opgørelsen omfatter ikke omegnsbyerne i Roskilde Kommune, men alene Roskilde by.

Tabel 5: Samfundsøkonomiske nettogevinst af tiltag til fjernelse af ekstremregns-skader i hele Roskilde by - SCENARIUM 2a, 3% diskonteringsfaktor.

NV (mio. kr.)	Omkostninger	Reduceret skade	Nettogevinst
Roskilde i alt	-563	338	-225
Tiltag Syd i alt (zone 1)	-179	107	-71
Tiltag Nord i alt	-384	230	-154
- Zone 2- øget magasinerings	-75	70	-5
- Zone 3 - transportkorridor 1	-51	17	-35
- Zone 5- transportkorridor 2	-57	17	-40
- Zone 6- transportkorridor 3	-137	62	-75
- Zone 4 - vandstyring midtby	-63	64	1

Tabel 6: Samfundsøkonomiske nettogevinst af mest økonomisk optimale tiltag i Roskilde by. SCENARIUM 2b, 3% diskonteringsfaktor.

NV (mio. kr.)	Omkostning*	Reduceret skade	Nettogevinst	Anlægs-investering i tiltag* (faktorpriser)
Fjernelse af stueplanoversvømmelser	-27	53	26	-24
Break even	-53	53	0	-47
Fjernelse af kælderoversvømmelser og afledte sundhedsomk.	-111	111	0	-98
- Break even				
Bymidten løses (zone4 + transportkorridor zone 3)	-114	81	-33	-100
Break even	-81	81	0	-72
Bymidten alene	-63	64	1	-55
Break even	-64	64	0	-56

* Kolonne 1 udtrykker nutidsværdien af de samfundsøkonomiske omkostninger knyttet til investeringerne. I kolonne 1 er den rå anlægspris ganget med nettoafgiftsfaktoren på 1,17 for at omregne fra faktorpriser til markedspriser. Dernæst er det antaget, at investeringerne fordeler sig over tre år, og de 27 mio. kr. udtrykker nutidsværdien af dette. De 24 mio. kr. udtrykker anlægsinvesteringen i faktorpriser (budget-/privatøkonomisk), som er det faktiske behov for investeringer en kommune vil stå over for at skulle skaffe på kommunal budgettet

Det fremgår af tabel 6, at det giver en samfundsøkonomisk nettogevinst på 26 mio. kr. at løse problemerne i de 60 bygninger i Roskilde, som vil få oversvømmelser på stueplan. Det skyldes, at der er tale om store skader per bygning, som reduceres, såfremt tiltag gennemføres på disse ejendomme. Dette klimatilpasningstiltag vil koste ca. 24 mio. kr. i anlægsinvestering (400.000 kr./ejendom), og der er plads til investeringer helt op til 47 mio. kr. (780.000 kr./ejendom), før resultatet vender. Dette investeringsniveau skønnes at være tilstrækkeligt til sikring af ejendommene mod oversvømmelse af stueplaner.

Det ses også, at klimatilpasningstiltag til løsning af samtlige 2000 private ejendomme med kælderoversvømmelser kun kan betale sig, hvis det kræver en engangs-investering på mindre end 98 mio. kr. Skadesomkostningen er opgjort inklusive skadesomkostningen som følge af spildevandsrelaterede vurusygdom. Omregnet til maksimal investering pr. beboelsejendom svarer

dette beløb til ca. 49.000 kr./bolig eller 59.000 kr./hektar bruttoareal til tiltag både uden for og inden for skel. Umiddelbart vurderet, vil det ikke være muligt at sikre et område mod kælderoversvømmelser for en kommunal kloakforsyningsinvestering på det niveau⁵. Til gengæld viser analysen, at det kan være samfundsøkonomisk optimalt at forsøge at få borgere med kælderoversvømmelser til at investere i private løsninger såsom lukning af kælder afløb og højvandslukker, idet disse kan etableres for under 49.000 kr. per bolig⁶.

På trods af, at der ligger nogle af de største skader i midtbyens butikker, så ses det, at klimatilpasningstiltag til løsning af regnvandsproblemerne i midtbyen ikke umiddelbart kan betale sig. Det giver et samfundsøkonomisk nettotab på 33 mio. kr. I Roskilde giver den isolerede løsning af midtbyen - uden transportkorridoren - en lille samfundsøkonomisk gevinst på 1 mio. kr. Derfor vil potentialet for klimatilpasningstiltag i Roskilde være svagt positivt, hvis det er muligt blot at lede vandet fra bymidten ud i Byparken og lade det løbe til en naturlig lavning i parken tæt på krydset Sct. Clara Vej/Sct. Ibs Vej.

Konklusionen er, at det ud fra en samfundsøkonomisk betragtning ikke kan forsvares at gennemføre klimatilpasningstiltag i Roskilde midtby til sikring mod 100 års regnhændelsen. Da det er i bymidten, der er de største skader per hektar og dermed størst potentiale for få en økonomisk gevinst af klimatilpasningstiltagene, så forventes det, at det heller ikke kan betale sig i de øvrige zoner.

Konklusion økonomiske beregninger regnvand

Den samlede konklusion på ovenstående betragtninger er som følger:

- Det er ikke samfundsøkonomisk rentabelt at fjerne alle skader af en 100 års regnhændelse i Roskilde by. Resultatet er dog følsomt over for visse ændringer i forudsætninger. Se afsnittet om følsomhedsberegninger.
- Sporadisk forekommende oversvømmelser af global karakter kan det ikke betale sig at forebygge, hverken kældre der oversvømmes eller vejbrud.
- Ejendomme, der tilbagevendende får oversvømmet stueplaner som følge af overfladisk afstrømning fra højerebeliggende oplande, kan sikres for et beløb, der modsvarer skadesomkostningerne. Det er her vigtigt at bemærke, at der skal være tale om ejendomme, der notorisk er beliggende i risikoområder – dvs. lavt beliggende områder. I Roskilde by giver dette tiltag en relativt stor samfundsøkonomisk gevinst.
- Bymidter beliggende tæt på havet eller tæt på recipient, der kan modtage vandet fra bymidten, vil formentlig være samfundsøkonomisk rentable at sikre mod ekstrem regn til et højere niveau end det, der normalt anvendes som funktionspraksis. I Roskilde er der så store udgifter forbundet med håndteringen af vandet fra bymidten til recipienten, at dette tiltag ikke er samfundsøkonomisk optimalt.

⁵ I vurderingen af skadesomkostningen er ikke medregnet bymidtens omkostninger, da denne er særskilt vurderet ovenfor.

⁶ Dog skal man være opmærksom på, at hvis dette bliver en udbredt løsning på kælderproblemet, så vil det øge terrænoversvømmelser og dermed øge antal ejendomme, som får skader på stueplan.

3.2.7 Følsomhedsanalyser

Diskonteringsrate

Der er foretaget følsomhedsberegninger med en diskonteringsrate på 1% og 6%, da beregninger over en 90-årig periode er meget følsomme over for diskonteringsraten. Resultaterne fremgår af tabel 7 til tabel 10.

Konklusionen for scenarium 2a er, at resultatet er meget følsomt over for diskonteringsraten. Hvis diskonteringsraten er 1% frem for 3%, så giver scenarium 2a en samfundsøkonomisk nettogevinst på 52 mio. kr., hvilket betyder, at det er en økonomisk gevinst at fjerne alle skader af 100 års hændelsen. Det skyldes primært, at skadesomkostningerne, som er spredt ud over alle 90 år, nu vægter mere i beregningen.

Tabel 7: Samfundsøkonomisk resultat scenarium 2a – følsomhedsanalyse med diskonteringsrate 6%.

	Omkostninger	Reduceret skade	Nettogevinst
Roskilde i alt	-543	185	-358
Tiltag Syd i alt (zone 1)	-171	59	-112
Tiltag Nord i alt	-372	126	-245
- Zone 2- øget magasinering	-73	38	-34
- Zone 3 - transportkorridor 1	-50	9	-41
- Zone 5- transportkorridor 2	-55	9	-46
- Zone 6- transportkorridor 3	-133	34	-99
- Zone 4 - vandstyring midtby	-61	35	-26

Tabel 8: Samfundsøkonomisk resultat scenarium 2a – følsomhedsanalyse med diskonteringsrate 1%.

NV (mio. kr.)	Omkostninger (velfærdsøk.)	Reduceret skade	Nettogevinst
Roskilde i alt	-583	635	52
Tiltag Syd i alt (zone 1)	-189	202	13
Tiltag Nord i alt	-394	433	38
- Zone 2- øget magasinering	-78	131	53
- Zone 3 - transportkorridor 1	-53	32	-21
- Zone 5- transportkorridor 2	-59	32	-27
- Zone 6- transportkorridor 3	-141	117	-24
- Zone 4 - vandstyring midtby	-64	121	57

Konklusionen for scenarium 2b er, at:

- klimatilpasningstiltag til fjernelse af regnvand/spildevand i stueplan er en samfundsøkonomisk nettogevinst uanset diskonteringsrate 1%, 3% eller 6%. Altså et forholdsvist robust resultat.
- klimatilpasningstiltag rettet mod fjernelse af oversvømmelser i bymidten giver en samfundsøkonomisk nettogevinst på 57 mio. kr. med en 1% diskonteringsrate, også selvom Roskildes særlige topografi kræver en transportkorridor til at lede vandet ned til fjorden.

Tabel 9: Samfundsøkonomisk resultat scenario 2b – følsomhedsanalyse med diskonteringsfaktor 6%.

NV (mio. kr.)	Omkostninger (velfærdsøk.)	Reduceret skade	Nettogevinst	Samlet investering (faktorpriser)
Fjernelse af stueplanoversvømmelser	-27	29	3	-24
Break even	-29	29	0	-27
Fjernelse af kælderoversvømmelser og afledte sundhedsomk. - Break even	-61	61	0	-55
Bymidten løses (zone4 + transportkorridor zone 3)	-111	45	-66	-100
Break even	-45	45	0	-40
Bymidten alene	-61	35	-26	-55
Break even	-35	35	0	-32

Tabel 10: Samfundsøkonomisk resultat scenario 2b – følsomhedsanalyse med diskonteringsfaktor 1%.

NV (mio. kr.)	Omkostninger (velfærdsøk.)	Reduceret skade	Netto-gevinst	Samlet investering (faktorpriser)
Fjernelse af stueplanoversvømmelser	-28	100	72	-24
Break even	-100	100	0	-87
Fjernelse af kælderoversvømmelser og afledte sundhedsomk. - Break even	-209	209	0	-180
Bymidten løses (zone4 + transportkorridor zone 3)	-117	153	36	-100
Break even	-153	153	0	-131
Bymidten alene	-64	121	57	-55
Break even	-121	121	0	-104

3.2.8 Tiltag og barrierer

Der skal tænkes bredt og tværgående i kommunen og dermed inddrages byplanlæggere for at høste dobbeltgevinst. Få øvrige aktører til at indtænke klimatilpasningstiltag, når de alligevel bygger nye anlæg. Hvis der påtænkes nye rekreative arealer eller fritidsaktiviteter (fodboldbaner og tennis), så sælg dem ideen om, at de skal placere dem lavt, så oversvømmelser ikke rammer områder, hvor skaden er økonomisk set større. De topografiske forhold har dog gjort, at der ikke er fundet konkrete eksempler herpå i den konkrete analyse af Roskilde by.

Det kan være økonomisk optimalt at differentiere serviceniveauet, så der er størst dosering af tiltag i områder med størst økonomisk skade. Der er dog væsentlige barrierer for en sådan tankegang. Det bør derfor som minimum vurderes, om en sådan differentiering er i strid med gældende lovgivning i

hvert enkelt tilfælde, hvor der fraviges fra det generelt vedtagne sikkerhedsniveau.

3.3 Havvandsstigning

Indtrængning af havvand i bygninger og infrastruktur medfører omfattende skader. Derfor er beskyttelsesniveauet mod høj havvandstand højere end 10 år. Scenarium 1 er derfor ikke relevant for stigende havvandsstand.

3.3.1 Reference

En forudsætning for at kunne opgøre de samfundsøkonomiske gevinster og omkostninger er, at effekten af tiltagene måles op imod en reference. I referencen tages højde for de nuværende planlagte og spontane aktiviteter rettet mod vandstandsstigninger. Roskilde kommune har endnu ikke iværksat tiltag med dette sigte, og der er heller ikke truffet beslutning om fremtidige tiltag.

3.3.2 Særlige problemområder

På workshoppen blev analyseret, hvilke skader der opstår, når der forekommer en ekstrem vandstandsstigning med en gentagelsesperiode på 100 år.

En sådan vandstandsstigning i Roskilde Fjord forventes om 100 år at ligge på mellem 2,37-3,13 meter over fjordens nuværende normale vandstand. Udbredelsen af den forventelige maksimale vandstand på 3,13 meter over nuværende normalvandstand er på figur 4 vist som det røde område.

Det blev klart under workshoppen, at en total sikring af de mange værdier i havneområdet op til kote 3,13 ikke er realistisk alene ved etablering af lokale løsninger (beredskab i form af udlægning af sandsække, flytning af vigtige værdier/bygninger/installationer). To forhold talte imod beredskab:

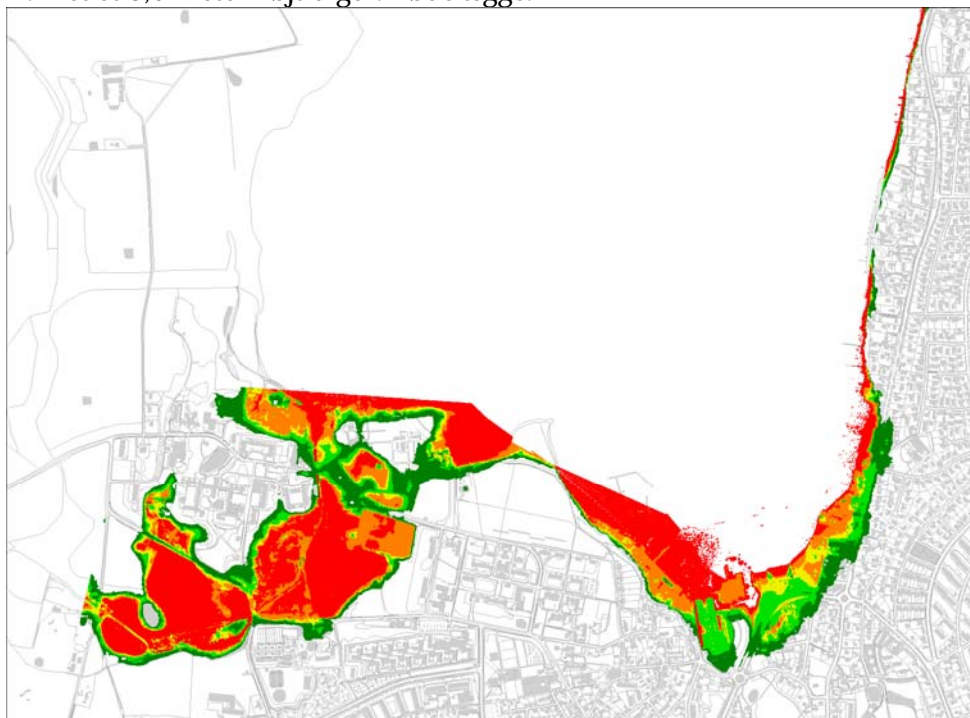
- Beredskab vil ikke kunne sikre alle værdier effektivt
- Beredskab indebærer prioritering af få udvalgte ejendomme og værdier, hvilket ikke synes rimeligt i praksis. Det er politisk uholdbart kun at beskytte to udvalgte museer i havneområdet, men ikke de berørte private boliger.

Det berørte område rummer mange kulturelle værdier og nationalklenodier og udgør desuden hele Roskilde Bys identitet. Der var bred enighed om under workshoppen, at sikring af Roskilde By mod stigende havvandsstand skal gennemføres, og at det skal have meget høj prioritet. Der blev identificeret to mulige tiltag til sikring af byen mod stigende havvandsstand:

- 3,5 meter højt dige langs hele havnefronten og kysterne
- Dæmning fra Hundested til Rørvig

Et lokalt dige ud for Roskilde blev vurderet som urealistisk, da det skaber store visuelle gener og huspriskfald langs kysten. Det er en stor del af

oplevelsesværdien ved Vikingskibsmuseet, at man føler sig i ét med fjorden, hvilket et 3,5 meter højt dige vil ødelægge.



Figur 4: Kort over Roskilde Fjord, havnen og kysten ved ekstreme vandstandsstigninger, som forekommer hvert 100 år. (2,37-3,13 m).

Derfor blev der peget på en dæmning i Roskilde Fjord som eneste relevante tiltag. Dæmningen kan så placeres forskellige steder mellem øst og vest, men her er det valgt at regne på Hundested-Rørvig løsningen⁷. En sådan dæmning kan kombineres med anlæg af en vej på dæmningen, som giver en hurtigere forbindelse mellem områder øst og vest for Fjorden.

3.3.3 Skader og skadesomkostninger

På workshoppene blev skaderne ved en 100 års vandstandsstigning vurderet, og der blev foretaget et groft skøn over kvantificering af skaderne.

Skaderne er vurderet med baggrund i hydrauliske simuleringer af, hvilke områder der står under vand i Roskilde, hvis der kommer en 100 års vandstandsstigning. Disse kort kombineret med deltagernes erfaringer fra tidligere vandstandsstigninger har dannet baggrund for vurderingen af skaderne ved en 100 års vandstandsstigning. De seneste 10 år har der dog ikke tilnærmelsesvist været en vandstandsstigning i dette niveau. Derfor er kvantificeringen af skaderne behæftet med stor usikkerhed. Omfanget af skaderne ved en 100 års vandstandsstigning er vist i tabel 11.

Det skal bemærkes, at en vandstandsstigning på 2,37-3,13 over fjordens nuværende normale vandstand udtrykker intensiteten af en 100 års hændelse i slutningen af beregningsperioden i 2096. De vurderede skader i Tabel 11 udtrykker dermed skaderne af en 100 års hændelse i 2096. I 2096 vil der være 1% sandsynlighed for at denne vandstandsstigning indtræffer, mens sandsynligheden for, at den indtræffer i år 2007 kun er 0,03%. Når der ses på de årlige skader af vandstandsstigninger i den 90-årige beregningsperiode, er

⁷ Alternativt kan dæmningen placeres ved Skuldelev eller ved Kulhuse.

skadesomkostningerne i de første år meget lav, fordi sandsynligheden er så lille. I løbet af de 90 år stiger de årlige skadesomkostninger til et niveau på 1% i 2096. Dog er der indregnet, at der kan være tale om en ekstrem hændelse, som er mere ekstrem end 100 års hændelsen, og derfor er der regnet med 1,11% sandsynlighed. Baggrunden for denne antagelse er beskrevet nærmere i bilag B om metoden bag beregning og fordeling af skaderne.

Tabel 11: Skader ved 100 års vandstandsstigning (2,37-3,13m) i Roskilde By.

Skade	Enhed	Roskilde
Trafikforstyrrelser	Forsinkelsestid for bilister i bolig-arbejde transport: 20.000 biler der forsinkes i 10 minutter pr. dag i 5 dage. Svarer til en hovedvej ind til Roskilde påvirkes. (Nord-østlige kystvej)	16.667 timer
Vejbrud	Antal vejbrud	10
Private boliger	Antal ejendomme med vand i stueetage	250
Vikingskibsmuseet	Fysiske skader: ½ års renovering, museum lukket Indtægtstab (antal besøgende/dag)	410
Glasværket	Fysiske skader: ½ års renovering, seværdigheder lukket Indtægtstab (antal besøgende/dag)	25 pr/dag
Butikker	Fysiske skader: ½ års renovering Varelagre tabt	25 butikker 25 butikker
Skader på kloakker	Hovedkloakpumpestationer, der oversvømmes, og som skal renoveres/rengøres efterfølgende. Renovering/rengøring skønnes at tage 4 uger. Pumpestationerne kører på nødstrømsanlæg.	2
Transformerstationer	Transformerstationer, der oversvømmes, og som skal renoveres/rengøres. Renovering/rengøring skønnes at tage 4 uger. Der etableres nødstrømsanlæg.	4
Manglende el-forsyning	Husstande uden el i op til 5 døgn Virksomheder uden el i op til 5 døgn	1.500 20
Administrationsomk (kommunen, rådgivere)	Antal timer kommunale medarbejdere bruger pga. skaderne Rådgivningstimer	1.000 500
Sundhedsomkostn.	Antal personer i berøring med blandet vand og spildevand	875

Kilde: workshoppen samt simulering af udbredelsen af vandstanden ved kote 3,13.

Skaderne er prissat med et sæt samfundsøkonomiske enhedspriser, som er indsamlet fra eksisterende litteratur på området. Priserne er vist i bilag C, hvor der også er henvist til de rapporter og kilder, som priserne stammer fra. Den samlede skade som en 100 års vandstandsstigning vil medføre i Roskilde by kan opgøres til 200- 300 mio. kr.

Det skal dog bemærkes, at der i denne analyse alene er indregnet de direkte materielle skader og tab. De skader, som ikke umiddelbart har en markedsværdi - såsom den samfundsmæssige værdi af kulturklenodier - er ikke forsøgt prissat og indregnet. Derfor er skadesomkostningerne undervurderet. For eksempel når det gælder Vikingskibsmuseet, så er kun renoveringsomkostninger og indtægtstab indregnet og ikke værdisætningen af at bevare sådanne nationale kulturværdier.

3.3.4 Scenarium 2: Mulige tiltag og tiltagsomkostninger

En dæmning vil være til stor gavn for en række kommuner i området, og dermed opstår spørgsmålet, hvem der skal finansiere den. Et sådant tiltag, som går på tværs af kommuner, egner sig bedst til statslig finansiering og styring. Det kan i hvert fald være en stor opgave at nå til enighed om udformning og finansiering lokalt. Det er dermed en anbefaling til Miljøstyrelsen om at forholde sig til sådanne mere samfundsmæssige investeringer, når det gælder vandstandsstigninger. I tabel 12 vises de nødvendige investeringer til en dæmning, som vil løse problemer med vandstandsstigninger i Roskilde Kommune, Lejre Kommune, Frederikssund Kommune, Holbæk Kommune, Odsherred Kommune, Frederiksværk/Hundested Kommune.

Tabel 12: Tiltag til reduktion af skader fra 100 års vandstandsstigning (2,37-3,13 m).

Tiltag	Anlæg	Anlægsinvestering (kr. ekskl. moms)	Levetid	Drifts- og vedligeholdelsesomk. (kr./år)
Dæmning med sluse	Dæmning med sluse mellem Hundested og Rørvig	4 km jorddæmning: 800.000.000,- kr.	200 år	500.000,-
		Slusesystem: 200.000.000,- kr.	100 år	200.000,-
		Anlæg af 4 km vej på dæmning 30.000.000,-	50 år	50.000,-
		Jordkøb: 0,-		

3.3.5 Økonomisk analyse

Hvis det antages, at dæmningen bygges over en periode på 10 år (2007-2016), så er nutidsværdien af anlægs- og driftsomkostningerne 1,26 milliarder kr. Altså er dæmningen så dyr, at det langt fra kan måle sig med reduktionen af skader i Roskilde på 200-300 mio. kr.

Reduktionen i skader er så lille, at det langt fra kan betale sig alene at bygge dæmningen på grund af klimatilpasning alene mod højere ekstreme havvandsstande i Roskilde by. Samfundsøkonomisk afhænger nutidsværdien i høj grad af, hvor stort et område som vil blive (positivt) berørt af en dæmning i form af reducerede skader. Prissætningen af de store sommerhusområder kan i denne forbindelse blive væsentlig for en samlet vurdering af, hvorvidt en dæmning vil være en samfundsmæssigt fornuftig investering. Endelig kan det være relevant at prissætte den samfundsmæssige værdi af en fast forbindelse mellem Rørvig og Hundested.

Konklusion økonomiske beregninger vandstandsstigninger

Den samlede konklusion på ovenstående betragtninger er følgende:

- De skadevoldende effekter af en fremtidig 100 år hændelse for vandstigninger vurderes af Roskilde Kommunes deltagere i workshopen at være helt uacceptable for Roskilde by. Det eneste virkemiddel, som blev accepteret af kommunens deltagere på workshopen, var en dæmning, der bevarer kommunens identitet som forvalter af nationale kulturklenodier.

- Ud fra en samfundsøkonomisk betragtning er investering i en dæmning ikke rimelig for at fjerne effekterne af den stigende havvandsstand alene for Roskilde by.
- Klimatilpasning til den højere havvandstand kan derfor bestå i et af følgende scenarier for Roskilde Kommune:
 - Det kan opgøres, hvorvidt det vil være samfundsøkonomisk rentabelt at etablere en dæmning mellem Hundested og Rørvig af hensyn til hele kystlinien i Isefjorden og Roskilde Fjord. Såfremt det påvises, kan man overveje at etablere dæmningen som ønsket på workshopen
 - Der kan iværksættes undersøgelser med henblik på at identificere og flytte de centrale værdier fra kystområdet op til højereliggende arealer. Tiltaget kombineres med en beredskabsplan for beskyttelse af de værdier, der er tilbage i området.
 - Man kan vælge en "struktureret spontan tilpasning", svarende til at man gradvis forlader området i takt med den stigende havvandsstand. I løbet af den planlagte periode vil hovedparten af de berørte områder under alle omstændigheder blive berørt af ændringer i lokalplaner. Der er dog ingen tvivl om, at der er tale om et samfundsøkonomisk nettotab ved dette scenarium. Det ligger uden for nærværende opgave at vurdere størrelsen af dette tab.

Det må under alle omstændigheder konkluderes, at klimatilpasningen til højere havvandstand ikke kræver tiltag inden for den nærmeste fremtid. Samtidigt er det oplagt, at der er behov for nationale retningslinier for, hvilke forudsætninger, der skal være opfyldt for, at man vælger henholdsvis at bevare og opgive områder, der i dag har bystatus med tilhørende høj værdi pr. arealenhed, og som må forventes inden for et par generationer at være en lav værdi pr. arealenhed, med mindre der sker en sikring mod konsekvenser af stigende havvandsstand. De nationale retningslinier kan f.eks. være i form af vejledninger til støtte for kommunernes arealregulering samt mere konkrete anvisninger i form af landsplandirektiver.

4 Aalborg

I dette kapitel præsenteres forudsætninger for og resultater af en velfærdsøkonomisk analyse af skader og mulige tiltag i forbindelse med klimarelateret ekstremregn samt høj vandstand for Aalborg.

4.1 Ekstremregn scenarium 1

I Scenarium 1 er der lagt op til betragtning af et konstant serviceniveau overfor borgerne. I Aalborg har Kloakforsyningen udarbejdet en "Vision 2100" (Aalborg Kommune, 2006). Af visionen fremgår, at Kloakforsyningen arbejder hen mod en total separatkloakering af hele Aalborg kommune. Denne strategi gør det vanskeligt at vurdere et uændret serviceniveau, endside skelne mellem spontan tilpasning og yderligere tilpasning. På baggrund af denne usikkerhed er det ikke rimeligt at prissætte den samfundsøkonomiske konsekvens af scenarium 1 for Aalborg.

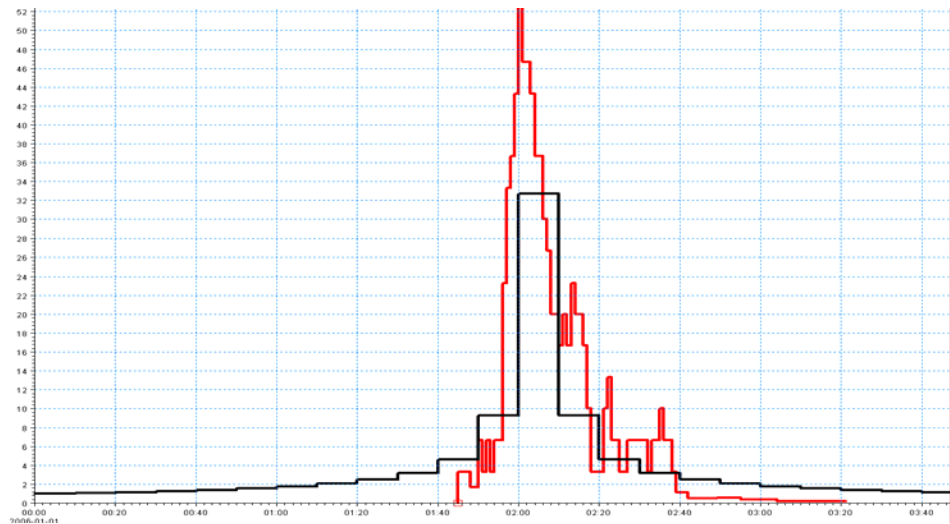
4.2 Ekstremregn scenarium 2

4.2.1 Klimaforandring og forventede effekter

Det forventes, at ekstremregn i fremtiden vil forekomme hyppigere, end de gør i dag. Det antages således, at en 10 års hændelse om 100 år vil være 40 % kraftigere, end den er i dag. Dette forventes løbende indarbejdet i kloaksaneringen via SVK-skrift 27. Således vil afløbssystemet også om 100 år kunne håndtere en 10 års ekstremregn i forhold til det nuværende serviceniveau, som har til målsætning, at der kun sker stuvning til terræn hvert 10 år.

Analysen af effekten af ekstremregn i Aalborg Kommune er gennemført dels ud fra beregninger i MOUSE, dels ud fra erfaringer fra oplevede ekstremregn i 2002 og 2006. På figur 5, ses en registreret ekstremregn fra SVK-systemets regnmåler ved Søvangen (20309) sammenholdt med en 100 års CDS regn⁸.

⁸ CDS (Chicago Design Storm) er en teoretisk genereret 100-års regn.



Figur 5: 100 års CDS regn (sort) og målt ekstremregn 21. august 2006 (rød). Tiden [tt:mm] på x-aksen og intensitet i $\mu\text{m/s}$ på y-aksen.

De observerede skader i forbindelse med de oplevede ekstremregn omfatter en lang række kælderopstuvninger samt stuvning til terræn, med skader i stueplan til følge i enkelte områder. Erfaringsmæssigt giver ekstremregn størst problemer i følgende områder:

- Lucernevej
- Tornhøjparken
- Håndværkerkvarteret

Alle tre områder er lavtbeliggende. Ved ekstremregn vil vandløbskapacitet og bassinvolumen blive overbelastet.

For at få et overblik over den faktiske funktion af afløbssystemet under ekstremregn, har Aalborg Kommune en fast rutine med indhentning af data fra skadesservicefirmaer. Dataene viser, på hvilke adresser firmaerne har været ude til vandskader. På figur 6 er angivet ejendomme med vandskader i forbindelse med ekstremregnen 21. august 2006 i Nr. Sundby.



Figur 6: Registrerede vandskader i Nr. Sundby som følge af ekstremregnen 21. august 2006.

Kælderoversvømmelser forekommer kun i områder med fælleskloakering. I disse områder indebærer oversvømmelserne en sygdomsrisiko. Der findes ikke oplysninger om antallet af sygdomstilfælde i forbindelse med en konkret oversvømmelse.

På trods af de meget kraftige regnhændelser, der er observeret i 2002 og 2006 er der ikke konstateret store trafikale eller andre infrastrukturelle problemer som følge af vandmængderne. Der har kortvarigt været vand på kørebanen enkelte steder, men dette har ikke givet væsentlige problemer.

Ud fra de erfaringer, som Aalborg Kommune har med håndtering af ekstremregn, vurderes problemstillingen at være overskuelig. Med forholdsvis begrænsede lokale tiltag, så som ekstra bassinvolument og pumpeløsninger, vurderes det, at ekstreme regnhændelser, også i fremtiden, kan håndteres på en tilfredsstillende måde.

4.2.2 Spontane og planlagte tilpasninger

Det må forventes, at boligejere med ejendomme beliggende i udsatte områder spontant vil iværksætte sikring af ejendommen, herunder kælder og lavtbeliggende grunde. Endvidere må kommunen formodes at tænke klimaeffekterne ind i kommuneplanlægningen og byggelovgivningen. Herved kan det f.eks. blive muligt for kommunen at pålægge private en pligt til at forebygge gener af ekstrem regn. Eksempler er krav til separat kloakering ved nybyggeri, krav om højere bygninger (sokler) i lavtliggende områder og vandtætte kældre. Kommunen forventes endvidere generelt at arbejde på at få den enkelte grundejer til at udvise rettidig omhu med henblik på allerede nu at begynde at tage hensyn til de kommende klimaforandringer. Kommunen kan således arbejde på at få grundejerne til at tilbageholde regnvand på egen grund. Dette tiltag vil eventuelt kunne blive understøttet af et regnvandsbidrag. Kloakforsyningen dimensionerer i dag afløbssystemerne, så

de kan håndtere vandmængder svarende til en regnhændelse, der optræder en gang hvert 2. år uden at blive overbelastet. I forbindelse med fremtidigt vedligehold kan kloakforsyningen opdimensionere kloaknettet og sælge den overskydende kapacitet. Grundejeren kan vælge at få adgang til det opdimensionerede net og derved undgå oversvømmelser som følge af regnmængder, der er større end en 2. års regn, ved at betale et regnvandsbidrag. Alternativt kan grundejeren undgå oversvømmelserne ved at investere i private foranstaltninger. Der er ikke taget stilling til, hvorvidt en sådan løsning er mulig inden for gældende lovgivning.

Aalborg Kommune påtænker at gennemføre separat kloakering af hele byen over de næste 100 år. Mere end halvdelen af de kloakerede områder i kommunen er i dag separat kloakeret. Separat kloakering ventes i sig selv at kunne bidrage effektivt til løsning af især problemerne med kælderoversvømmelser som følge af ekstrem regn. Endvidere vil separat kloakering give flere muligheder for også at håndtere regnafstrømning med andre metoder som f.eks. nedsivning og overfladisk afstrømning.

4.2.3 Reference

I referencen er det antaget, at den kommunale kloakforsyning gennemfører de planlagte tiltag, som er nødvendige for at opfylde servicemålet (jf. Harremoës *et al.*, 2005), samt de tiltag, der indgår i anden planlægning. Derudover bør borgernes spontane tilpasning også inddrages.

I Aalborg er det vurderet, at det er muligt at opfylde servicemålet ved separat kloakering. Ved separat kloakering adskilles spildevand og kloakvand i to systemer. Den separate kloakering vil ske løbende og vil være afsluttet i år 2100. Det forventes, at separat kloakering i væsentlig omfang vil afbøde skaderne som følge af klimaændringerne. Separatkloakeringen er ikke primært iværksat af hensyn til klimaændringerne, men for at opnå de drifts-, sundheds og miljømæssige fordele en separering af de to spildevandstyper giver. Separatkloakeringen indgår derfor som en del af referencen, og omkostningerne hertil indgår ikke i nærværende analyse.

4.2.4 Mulige tiltag og tiltagsomkostninger

Separatkloakering medfører, at kælderoversvømmelser vil forekomme mindre hyppigt. Indtil separat kloakering er fuldt udbygget i kommunen, vil der fortsat være mulighed for, at ekstreme regnskyl vil bevirke en del oversvømmelser i de fælleskloakerede områder. Den separate kloakering vil hindre kælderopstuvninger, men der vil stadig være risiko for oversvømmelser i visse områder, ligesom oversvømmelser i stueplan forekommer uafhængigt af kloakeringstypen.

På workshoppen blev det vurderet, at skaderne kan afhjælpes med en kombination af følgende tre tiltag:

- Informationskampagne
- Tilbageholdelse af vand i Østerådal
- Diverse lokale tiltag

I Tabel 13 er tiltagene og de tilhørende omkostninger opsummeret.

Informationskampagne

En informationskampagne iværksættes med henblik på at orientere befolkningen om de forholdsregler, som befolkningen bør tage for at mindske skadesomfanget i tilfælde af oversvømmelser. Informationskampagnen vil endvidere fokusere på de tiltag, som kommunen vil sætte i værk, de tiltag, som private med fordel kan sætte i værk, samt ansvarsfordelingen mellem borgeren og andre myndigheder inklusive forsikringsselskaber. Kampagnen kan f.eks. udmøntes i form af en hjemmeside. Erfaringsmæssigt er omkostningerne ved denne type kampagne omkring 0,5 mio. kr.

Tilbageholdelse af vand i Østerådal

Afløbsforholdene i Kærby og Håndværkerkvarteret kan forbedres ved at tilbageholde vand i den nordlige del af Østerådal. Den nordlige del af Østerådal er ejet af Aalborg Kommune og bliver i dag udelukkende anvendt til rekreative aktiviteter. Det er teknisk muligt at tilbageholde vand i ådalen efter opførelse af tre aflukningsporte eller spjæld, hvor Østre Landgrøft, Vestre Landgrøft og Østerå krydser Over Kæret. Det forventes, at de samlet vil koste 10 mio. kr. at opføre. De lejlighedsvis oversvømmelser vil betyde et øget behov for vedligehold af ådalen. Som grundlag for de øgede vedligeholdelsesudgifter anvendes vedligeholdelsesudgiften i år 2006. Udgifterne i dette år var ekstraordinært høje, da samtlige stier blev gennemmoderniseret.

I det øjeblik, ådalen oversvømmes, vil også kolonihaveforeningerne ***Engen*** og ***Ådalen*** blive oversvømmet. Endvidere er der risiko for, at genbrugspladsen Over Kæret 2 og en nærliggende elfacilitet vil blive oversvømmet. Det er muligt at beskytte både genbrugspladsen og elfaciliteten ved at etablere et dige herom. NIRAS har netop været involveret i et lignende projekt, hvor anlægsomkostningen var 500.000 kr. Denne pris er også anvendt i nærværende tilfælde.

Der eksisterer ikke samme mulighed for at beskytte kolonihaverne. Kolonihaverne ligger på et areal lejet af Aalborg Kommune, og det er derfor nødvendigt at opsigte aftalen før tid, hvis det beslutes at lade arealet indgå i tilpasningsstrategien. Værdien af disse kolonihaver kan opgøres som omkostningerne til genopbygning af kolonihaverne andet steds, jf. Miljøstyrelsens udredning om de metodemæssige problemstillinger i forbindelse med samfundsøkonomiske vurderinger af klimatilpasningstiltag (Damgaard *et al.* 2006). Som basis herfor benyttes kolonihavernes nuværende grundværdi på 1.504.200 kr. Hertil skal lægges værdien af kolonihavehusene samt lejernes velfærdsmæssige tab for at skulle flytte. En have med hus kan erhverves i haveselskabet ***Engen*** for mellem 2.000 og 100.000 kr. Prisen fastsættes på baggrund af haveselskabets egen vurdering. Til sammenligning koster et ny kolonihave med hus ifølge Kolonihaveforbundet mellem 50.000 og 300.000 kr. alt afhængig af beliggenhed. I analysen vælges der at tage udgangspunkt i det Kolonihaveforbundets lave estimat, hvilket svarer til en gennemsnitlig pris for en kolonihave i ***Engen***. Der er i alt 250 haver, og det vurderes, at der er et hus i 9 ud af 10 haver. Den samlede værdi af kolonihavehusene kan derfor bestemmes til 11,25 mio. kr. (Haveselskabet Engen, 2007). Det velfærdsmæssige tab i forbindelse med ophør af haverne og flytning medtages ikke.

Diverse lokale tiltag

Kloakforsyningen i Aalborg kommune har i forbindelse med de oplevede ekstremregn i 2006 udarbejdet en plan for, hvordan risikoen for

opstuvningsproblemer kan reduceres i et konkret separatkloakeret område på 500 hektar (oplandet til Toppentuebækken). Det er vurderet, at omfanget og typen af tiltag også kan anvendes i resten af kommunen som et udtryk for niveauet af nødvendige tiltag for at reducere effekten af ekstremregn. Tiltagene består først og fremmest i etablering af nye pumper, nye udløb og udvidelse af eksisterende regnvandsbassiner.

Etableringen af øget pumpekapacitet og eventuel etablering af nye pumpestationer, har til formål at holde stuvningsniveauet nede i lavtliggende områder, hvor overfladevandet ikke kan afstrømme ved gravitation. Desuden kan pumpeløsningen anvendes, hvor områder afleder til recipienter, i hvilke stuvningsniveauet under ekstremregn bliver så højt, at der er risiko for oversvømmelse på grund af tilbagestuvning fra recipienten.

Under ekstreme regnskyl vil der være risiko for, at overfladevand, når det stuver på terræn, afstrømmer til lavtliggende områder i andre kloakoplande. For at undgå denne belastning på de lavtliggende områder kan det være hensigtsmæssigt at sikre afledningsmulighederne på kritiske lokaliteter. Dette kan bl.a. gøres ved at afskære højtbeliggende områder via nye udløb. Det er en forudsætning, at det vand, der udledes, ikke må være påvirket af sanitært spildevand.

Det er i Aalborg Kommune erfaret, at kloakforsyningen flere steder har problemer i forbindelse med overbelastning af kapaciteten i eksisterende regnvandsbassiner. Disse problemer kan reduceres ved udvidelse af bassinvolumenerne, hvor dette er muligt. Endvidere ved udarbejdelse af en beredskabsplan, for hvert enkelt bassin, hvor det tydeligt fremgår, hvordan situationer med overbelastning af bassinerne håndteres.

Aalborg Kloakforsyning har beregnet, at gennemførelse af ovenstående tiltag for oplandet til Toppentuebækken vil koste 5 mio., hvilket svarer til en omkostning på 1 mio. kr. pr. 100 ha. Under antagelse af, at denne omkostning er repræsentativ, vil gennemførelse af lignende tiltag i hele det kloakerede opland i Aalborg Kommune på ca. 7000 ha. udgøre 70 mio. kr.

Tabel 13: Budgetøkonomiske anlægsomkostninger ekskl. moms ved iværksættelse af tilpasningstiltag, der kan reducere skaderne ved ekstremregn.

Tiltag	Omkostning (kr.)
Informationskampagne	0,5 mio.
Tilbageholdelse af vand i Østerådal	
- aflukningsporte	10 mio.
- vedligehold af rekreative arealer efter oversvømmelse	0,2 mio.
- grundværdi kolonihaver (150.000 kvm/250 haver)	1,5 mio.
- værdi af kolonihavehuse	11,25 mio.
Diverse lokale tiltag	70 mio.

4.2.5 Gevinster ved tiltagene

Iværksættelse af en kombination af ovenfor beskrevne tiltag vil bevirke, at en række skader som følge af klimaændringerne undgås. Disse undgåede skader, vil som nævnt i metodeafsnittet, indgå som en gevinst. I nærværende medtages udelukkende gevinster, som direkte kan behæftes med en

markedspris. Tabel 14 viser en samlet oversigt over omkostningerne som følge af ekstremregn.

Oversvømmelser af private boliger

Gennemførelse af separat kloakering vil først og fremmest påvirke omfanget af kælderoversvømmelser. Efterhånden som separat kloakering gennemføres, vil antallet af kælderoversvømmelser gradvis falde. På basis af hidtidige erfaringer og kortmateriale blev det på workshoppen anslået, at en 100-års regn i dag vil resultere i, at 2000 kældre bliver oversvømmet. I det øjeblik, det separate kloaksystem er fuldt udbygget, vil der ikke længere være risiko for kælderoversvømmelser. Det er derfor afgørende for det samlede skadesomfang, hvornår ekstremregnen falder i forhold til udbygningen af det separate kloaknet.

DANVA har i 2005 foretaget et skøn over de samlede årlige erstatningsomkostninger som følge af afstrømning under skybrud og tøbrud. Af denne undersøgelse fremgår, at der i gennemsnit udbetales 10.000 kr. pr. hændelse fra forsikringsselskaberne. Dette beløb er dog sandsynligvis i underkanten, idet kontakt til skadesfirmaer, Stormrådet samt forsikringsselskabet Tryg-Vesta afslører, at oppumpning og efterfølgende affugtning typisk koster 5-15.000 kr. pr. kælder. Tryg-Vesta udbetaler i gennemsnit 25.000 kr. pr. oversvømmelse og Stormrådet knap 50.000 (Stormrådet, 2006). De to sidstnævnte omfatter både erstatning af bygninger og løsøre. Da Stormrådet kun i særlige tilfælde udbetaler erstatninger, er det i analysen antaget, at 25.000 kr. repræsenterer de gennemsnitlige omkostninger ved en kælderoversvømmelse.

Ud over reduktionen i antal kælderoversvømmelser vil der også ske et fald i antallet af oversvømmelser i stueplan, som følge af de lokale tiltag. Oversvømmelser i stueplan er forbundet med en del højere omkostninger. Ud over at det må antages, at der bliver opbevaret løsøre af højere værdi i stueplan, er der risiko for, at det er nødvendigt med omfattende reparationer. Det kan endvidere være nødvendigt med genhusning, mens huset tørres, og reparationerne står på. I Aalborg har sidstnævnte i nogle tilfælde været nødvendigt. Omkostningerne herved har været knap en mio. kr. pr. bolig. Da oversvømmelserne ikke altid vil have så vidtrækkende konsekvenser, blev det på workshoppen vurderet, at ½ mio. kr. er en repræsentativ gennemsnitlig omkostning ved oversvømmelse i stueplan. På workshoppen blev det vurderet, at ca. 50 boliger vil blive ramt af en oversvømmelse i stueplan ved en 100-års regn.

Ovenstående omkostninger omfatter udelukkende de direkte omkostninger. Herudover vil borgerne opleve et velfærdstab. Velfærdstabet kan f.eks. opstå på grund af, at værdier med høj affektionsværdi går tabt, eller gener som resultat af oversvømmelsen. Gener kan opstå dels direkte i forbindelse med selve oversvømmelsen, dels indirekte i forbindelse med kontakten til forsikringsselskaber mv. Usikkerhed om, hvorvidt et heftigt regnskyl vil medføre oversvømmelse, vil desuden kunne påvirke borgerens velfærd.

Virussygdomme

Det må forventes, at en del husejere selv vil forsøge at rydde op efter oversvømmelserne. Hermed opstår risiko for, at de bliver syge som følge af kontakt med spildevand. På workshoppen blev det anslået, at folk selv vil forsøge at rydde op ved halvdelen af alle kælderoversvømmelser. I forbindelse med en risikovurdering af anvendelse af lokalt opsamlet fæces i private

havebrug er det estimeret, at sandsynligheden for at pådrage sig diarre (rotavirus) ved håndtering af komposteret fæces og ved ophold i haver, hvor der er anvendt komposteret fæces er 0,34. I nærværende er det antaget, at denne sandsynlighed også gælder for husejere, der selv rydder op efter oversvømmelser (Arnbjerg-Nielsen *et al.*, 2005). T.A. Stenström har vurderet omkostningerne ved diarre til 7.200 kr. pr. tilfælde (Arnbjerg-Nielsen, 2007).

Oversvømmelser erhverv

Der er risiko for, at industriområdet omkring Håndværkervej og Nållemagervej vil blive oversvømmet i tilfælde af ekstremregn. Ekstremregnen kan bl.a. bevirke, at virksomhedernes varelagre går tabt eller bliver beskadiget. Dette var bl.a. tilfældet ved ekstremregnskyllet i august 2006. Der ligger ca. 50 virksomheder i området, og de udgøres primært af byggemarkeder, autoværksteder, el-, murer- og vvs-installatører, glarmestre samt møbel- og køkkenforhandlere. Det er dog ikke samtlige virksomheder, som er udsatte. I cost-benefit analysen er det antaget, at 20 pct. af virksomhedernes varelagre vil blive beskadiget. Det er muligt ved hjælp af Danmarks Statistik at anslå værdien af forskellige typer virksomheders varelagre. Værdien af ovenstående virksomheders varelagre bliver på denne baggrund vurderet til 1,1 mio. kr. (Danmarks Statistik, 2007).

Tabel 14: Oversigt over skaderne, deres omfang og tilhørende vel færdsmæssige omkostninger ved 100-års regn i hele Ålborg (7000 ha).

	Antal	Forventet omkostning pr. enhed/oversvømmelse	Velfærdsøkonomisk omkostning
Kælderoversvømmelser private boliger	2000	25.000 kr.	50 mio. kr.
Oversvømmelser i stueplan	50	500.000 kr.	25 mio. kr.
Sygdom som følge af oprydning	1000	2.430 kr.	2,43 mio. kr.
Oversvømmelse af varelagre	10	1,1 mio. kr.	11 mio. kr.
Total			88,43 mio.

4.2.6 Velfærdsøkonomisk analyse

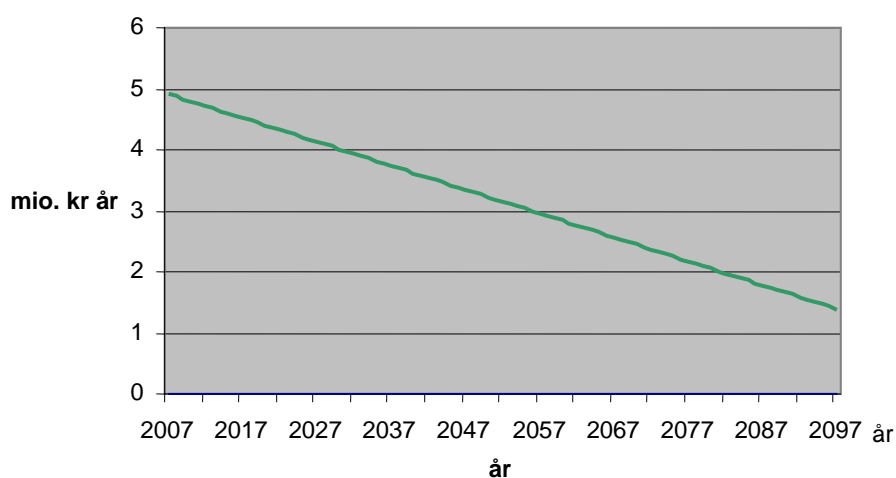
I de to foregående afsnit er henholdsvis omkostningerne ved at iværksætte et klimatilpasningstiltag og omkostningerne ved manglende tilpasning blevet beskrevet.

Ved at iværksætte et tilpasningstiltag vil omkostningerne, som følge af manglende tilpasning, ikke indtræffe, og de undgåede omkostninger vil derfor skulle medtages som en gevinst i den samfundsøkonomiske analyse. I dette tilfælde vurderes tilpasningstiltagets samfundsøkonomiske fordelagtighed ved hjælp af en cost-benefit analyse. I en cost-benefit analyse omregnes samtlige gevinster og tab til nutidsværdier, hvorefter de sammenvejes, jf. afsnit 2.5.

Tabel 13 er en oversigt over omkostningerne ved at iværksætte et klimatilpasningstiltag og Tabel 14 omkostningerne ved en 100 års hændelse.

Ud over en 100 års hændelse vil der i den betragtede periode også ske en række mindre ekstreme hændelser. I bilag B er redegjort for, hvorledes omkostningerne ved disse mindre ekstreme hændelser kan indarbejdes i det samlede omkostningsestimat.

Omkostningerne ved manglende tilpasning er meget afhængige af udbygningen af det separate kloaknet. Når det separate kloaknet er fuldt udbygget, vil opstuvning af opspædt spildevand i kældre og den eventuelt opståede sygdom som følge af egen oprydning kunne undgås. Omkostningerne ved kælderoversvømmelser og den eventuelt opståede sygdom udgør ca. 60 % af de samlede omkostninger. Ifølge Aalborg Kommune (2006) sker udbygningen af det separate kloaknet lineært. Udbygningen forventes at være færdig om 100 år, og de undgåede skadesomkostninger antages derfor også at falde lineært frem til år 2097. Udviklingen i de undgåede skadesomkostninger er vist i figur 7. Efter udviklingen i projektets undgåede skadesomkostninger er fastsat, er det muligt at beregne nutidsværdien. Nutidsværdien er 123,8 mio. kr. ved anvendelse af en 3 % diskonteringsrate.



Figur 7: Udviklingen af skadesomkostninger over tid.

Omkostningerne ved de enkelte tilpasningstiltag er opgjort i faktorpriser dvs. den omkostning, som producenterne har ved at producere goderne. Idet tilpasningen vil påvirke borgernes samlede forbrugsmuligheder, skal omkostningerne ved de enkelte tiltag afspejle den pris, borgerne er villige til at betale. Dette sker i praksis ved at gange en nettoafgiftsfaktor på faktorpriserne. De undgåede skadesomkostninger er alle opgivet i markedspriser – dvs. priser inklusive moms og afgifter – og de skal derfor ikke korrigeres med nettoafgiftsfaktoren. Der blev ved workshoppen ikke taget stilling til, hvorledes tilpasningen skal finansieres. I nærværende er det antaget, at tilpasningen finansieres af kommune- eller statsskat, og det er derfor nødvendigt at korrigere for skatteforvriddningstab⁹. I

⁹ Hvis det i stedet antages, at tiltagene finansieres ved hjælp af vandafledningsbidraget, som tilfældet er i Roskilde, skal der ikke korrigeres herfor.

Tabel 15 er de velfærdsøkonomiske omkostninger samt nutidsværdier for samtlige tiltags omkostninger opsummeret. Nærværende analyse tager ikke højde for omkostninger til løbende drift og vedligehold.

Tabel 15: Velfærdsøkonomiske tiltagsomkostninger. Det er antaget, at tiltagene anlægges i år 2010.

	Velfærdsøkonomisk omkostning i kr.	Nutidsværdi (2007-kr.)	
Informationskampagne	702.000	642.429	
Tilbageholdelse af vand i Østerådal (Syd)	Oversvømmelse af rekreative arealer	280.800	256.972
	Aflukningsporte	14.040.000	12.848.589
	Bygning af diger omkring elfacilitet og genbrugsstation	702.000	642.429
	Grundværdi kolonihaver	2.111.897	1932.685
	Værdi af kolonihavehuse	13.500.000	12.354.412
Lokale tiltag	98.280.000	89.940.122	
Total	129.616.697	118.617.639	

I Tabel 16 er nutidsværdien af tiltaget samt de undgåede skadesomkostninger opsummeret. Det ses, at tilpasningen vil give anledning til en velfærdsøkonomisk gevinst på 5 mio. kr.

Det skal erindres, at analysen udelukkende baseres på umiddelbare kvantificerbare undgåede skadesomkostninger. Der er således ikke taget højde for et undgået prisfald på boliger som følge af undgået risiko for oversvømmelser, forretningernes tab ved en oversvømmelsesbetinget lukning eller befolkningens velfærdsmæssige tab ved ikke at kunne bo i deres hus på grund af oversvømmelse. Medtages disse undgåede tab i analysen, vil velfærdsgevinsten blive øget.

Analysens resultat er i overensstemmelse med workshopdeltagernes indtryk om, at ekstremregn ikke vil have de store økonomiske konsekvenser i relation til udgifterne herved. Øget havspejl samt grundvandsstigning vil have langt større konsekvenser. De ovenfor beskrevne tiltag vil ikke have indflydelse herpå.

Tabel 16: Samlet resultat af cost-benefit analysen ved gennemførelse af de tre tilpasningstiltag (diskonteringsrate på 3 %).

Nutidsværdi af de samlede tilpasningstiltag	118.617.639
Nutidsværdi af de samlede undgåede skadesomkostninger	123.758.155 kr.
Velfærdsøkonomisk nettotab (NPV)	5.140.516

4.2.7 Følsomhedsanalyse

Ovenstående analyse er forbundet med stor usikkerhed. Et er, at omkostningerne i sig selv er baseret på bedst tilgængelige datagrundlag, et andet er, at det er uvist, hvornår de ekstreme hændelser vil indtræffe. Der er derfor udført følsomhedsanalyser for følgende parametre i cost-benefit analysen:

- 1 og 6 % diskonteringsrate
- 20 % højere og lavere skadesomkostninger

- Tidlig og sen forekomst af ekstreme hændelser
- **Break-even** værdi for gevinster

En cost-benefit analyse foretaget med en diskonteringsrate på 1 og 6 % giver anledning til et velfærdsøkonomisk gevinst på henholdsvis 79,7 mio. og et tab på 33,6 mio. i nutidsværdi. Dette resultat afspejler, at tidsmæssigt sent placerede gevinster og omkostninger vægtes lavere jo højere diskonteringsrate. I nærværende analyse forekommer samtlige tilpasningstiltag i år 2010. På grund af den tidsmæssige tætte placering på i dag vil de kun i begrænset omfang blive påvirket af diskonteringsraten. Gevinsterne forekommer derimod på både kort og langt sigt. Resultatet afspejler netop, at disse gevinster, der forekommer på langt sigt, tillægges en meget lille værdi jo højere diskonteringsrate.

De enkelte tiltagsomkostninger er baseret på bedste tilgængelige datagrundlag og ikke på eksakte beregninger. De er således oftest funderet på omkostninger fra lignende projekter. Dette er baggrunden for, at en følsomhedsanalyse med henholdsvis 20 % højere og lavere tiltagsomkostninger er blevet lavet. Øges omkostningerne, ændres den velfærds-mæssige gevinst til et tab på 18,6 mio. kr., og reduceres omkostningerne, øges gevinsten til knap 30 mio. kr.

I analysen er der ikke taget hensyn til, hvornår de ekstreme hændelser vil ske. Sandsynligheden for, at hændelserne vil ske i et givent år, er uafhængig af det valgte år. Bemærk, at analysen ud over 100-års regnen også antager, at tiltagene vil påvirke flere mindre ekstreme hændelser. Det er muligt at få et indtryk af, hvad den tidsmæssige placering af de ekstreme hændelser vil betyde ved dels at betragte et scenarium, hvor samtlige af de ekstreme hændelser vil falde i de første 10 år af perioden, dels et scenarium, hvor de vil falde i de sidste 10 år af den betragtede periode. Hvis førstnævnte er tilfældet, vil de undgåede skadesomkostninger vægte meget højt, mens det modsatte er tilfældet, hvis de falder i slutningen af perioden. Falder samtlige ekstreme regnskyl i starten øges gevinsten til knap 237 mio. kr. Falder de derimod i slutningen af perioden, medfører det et velfærds-mæssigt tab på knap 109 mio. kr.

Det er muligt at beregne, hvor stor værdien af de undgåede skadesomkostninger skal være for at tilpasningstiltagene hverken vil give anledning til et velfærdsøkonomisk tab eller gevinst – en såkaldt **break-even** værdi. Projektets velfærds-mæssige gevinst er 5,1 mio. kr. **Break-even** værdien er værdien af dette tab samt værdien af de undgåede skadesomkostninger på 123,8 mio. kr. dvs. 118,9 mio. kr.

På samme vis er det muligt at beregne en **break-even** værdi for tiltagsomkostningerne. Denne værdi er summen af tiltagsomkostningerne på 118,6 mio. kr. og projektets velfærds-mæssige gevinst på 5,1 mio. kr. Samlet set kan tiltagsomkostningerne derfor stige til 123,7 mio. kr., før det ikke længere er muligt at opnå en velfærds-mæssig gevinst.

4.2.8 Tiltag og barrierer

I forbindelse med tiltaget **Tilbageholdelse af vand i Østerådal** vil der være behov for samarbejde på tværs af forvaltninger. Finansieringen af sådanne tiltag vil sandsynligvis medføre en sammenblanding af skattefinansierede og

takstfinansierede midler. Det er derfor vigtigt at sikre, at finansieringen opfylder den til enhver tid gældende lovgivning på området.

4.3 Havvandsstigning

I analysen af havvandsstigning vil der udelukkende være fokus på tiltagene og de tilhørende omkostninger. Formålet herved er at rangordne de enkelte tiltag i forhold til deres omkostningseffektivitet.

4.3.1 Klimaforandringer og forventede effekter

I løbet af de næste 90 år forventes det, at gentagelsesperioden for ekstreme vandstande reduceres, eller med andre ord, at vi oftere vil se hændelser, hvor vandstanden i Limfjorden er ekstremt høj. Øgningen i ekstremvandstand kan opdeles i to bidrag. Et bidrag fra middelvandstandsstigningen, der skyldes afsmeltning af is i de polare områder samt udvidelse af havvandet på grund af temperaturstigning. Derudover sker der et bidrag fra stigning i ekstremudsvingene på grund af flere og kraftigere storme.

Den eksisterende højvandsstatistik for Nørresundby foreskriver, at der hvert 10. år vil forekomme en vandstand i kote 1,20 og hvert 100. år en vandstand i kote 1,55 (Kystdirektoratet, 2002).

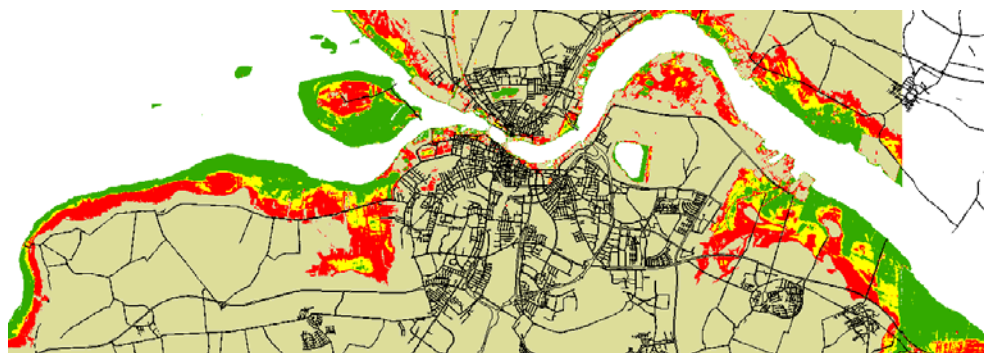
Den forventede havspejlsstigning for de næste 100 år er ud fra gennemsnittet af de otte IPCC-prognoser beregnet til 36 cm, til dette skal der i Aalborg lægges 2 cm på grund af bevægelserne i landet (landsenkning/-hævning).

Ud over den generelle stigning i middelvandstanden vil udsvingene omkring denne også øges. I Miljøstyrelsens Miljøprojekt nr. 1123 anføres det, at udsvinget omkring middelvandstanden for klimascenarium A2 forventes at blive øget i størrelsesordenen plus 10-40 cm i forhold til i dag. Der er i de videre beregninger for Aalborg regnet med en stigning på 25 cm som følge af øget udsving. Med disse tillæg bliver vandspejlskoten ved en klimafremskrevet 100 års hændelse 2,18.

De tre vandstandsniveauer (VS), der er anvendt og afbilledet i det efterfølgende, er

VS_{10}	= 120 cm
VS_{100}	= 155 cm
$VS_{100, \text{ Klimafremskrevet}}$	= 218 cm

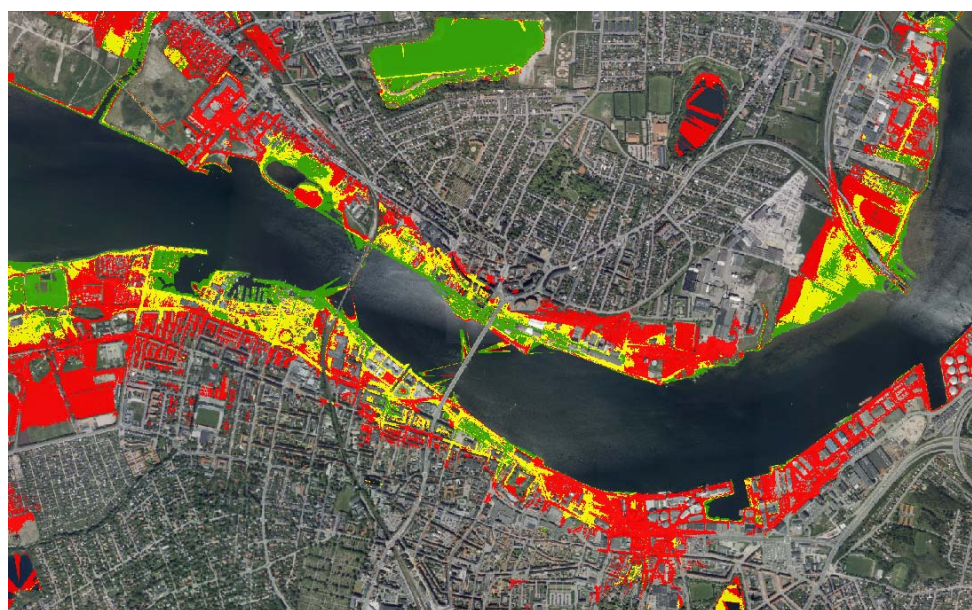
Aalborg Kommune strækker sig på begge sider af Limfjorden, og en stigning i ekstremvandstanden her vil påvirke store arealer langs fjorden, se figur 8.



Figur 8: Oversvømmede arealer langs Limfjorden, de sorte streger er vejnettet. Grøn (kote 1,20) 10 års hændelse, gul (kote 1,55) 100 års hændelse, rød (kote 2,18) 100 års hændelse, klimafremskrevet.

Store dele af terrænet i områderne uden for bymæssig bebyggelse ligger under den kote, som en 100 års, klimafremskrevet, hændelse forventes at nå, se figur 8. Dette bør inddrages i den fremtidige arealanvendelses planlægning i kommunen.

Stigningen i ekstremvandstand vil være mest problematisk i de bymæssigt bebyggede områder i Aalborg og Nr. Sundby. På figur 9 er de arealer i Aalborg og Nr. Sundby centrum, der vil blive oversvømmet ved en ekstremvandstand, markeret.



Figur 9: Kort over Aalborg og Nr. Sundby centrum med markering af arealer, der vil blive oversvømmet ved en klimafremskrevet 100 års hændelse. Farvekoderne er som følger. Grøn (kote 1,20) 10 års hændelse, ikke klimafremskrevet. Gul (kote 1,55) 100 års hændelse, ikke klimafremskrevet. Rød (kote 2,18) 100 års hændelse, klimafremskrevet.

Da en stor del af bymidten med handelsområder mm. ligger ned til fjorden, er der tale om forholdsvis vitale områder. Desuden er der pt. stor byggeaktivitet på havnefronten, hvor kommunen ønsker at skabe et attraktivt miljø. Ud over bymidten og havnefronten oversvømmes også en lang række boligområder specielt i Vestbyen.

Hvis vi kigger på enkelte kritiske steder, kan det ses, at vandstanden ved en 100 års klimafremskrevet hændelse vil blive så høj, at der er risiko for, at vandet strømmer ned i Limfjordstunnellen, landingsbanerne i Aalborg Lufthavn vil komme til at stå delvist under vand, og Aalborg Tivoli vil blive oversvømmet. Det kan desuden blive problematisk at krydse Limfjorden via Limfjordsbroen, da alle vejene, der leder til og fra broen på Aalborg siden, kommer til at stå under vand.

På workshopen var der blandt Aalborg kommunes embedsmænd (vej, plan og kloak) enighed om, at de potentielle oversvømmelser er så omfattende, at de ikke er acceptable. Som følge af denne vurdering blev der på workshopen fokuseret på tiltag, som kan afhjælpe skaderne af oversvømmelserne. Disse er efterfølgende sammenlignet i det følgende i en cost-effectiveness analyse. Formålet med analysen er således at finde det tiltag, som afhjælper skaderne billigst muligt. Dermed er det en forudsætning for undersøgelsen, at der skal ske en klimatilpasning.

4.3.2 Spontane og planlagte tilpasninger

Spontane tilpasninger foretaget af private aktører må forventes at have begrænset indflydelse på skadesomfanget af en havvandsstigning, idet disse må forventes at begrænse sig til forsøg på at inddæmme dele af privat ejendom.

Der er ikke kendskab til konkrete planlagte tilpasninger rettet mod høj vandstand. Det må dog forventes, at der efterhånden vil blive gennemført en række planlagte tiltag. Eksempler på dette er, at der i de berørte områders lokalplaner i fremtiden bliver taget højde for oversvømmelsesrisikoen, f.eks. med anvisninger af særlige byggetekniske fremgangsmåder. Endvidere må det forventes, at der i kommunen gradvist fokuseres på problemstillingen, og at der påbegyndes erfaringsindsamling fra lokationer med lignende karakteristika. F.eks. kunne det blive aktuelt at afholde en konference om, hvordan man forholder sig til beredskabsplan, advarselsystemer og finansiering. Konferencen kunne involvere hollandske eksperter med henblik på at se, om konkrete hollandske løsninger med fordel vil kunne implementeres i Aalborg. Konferencen kunne eventuelt blive efterfulgt af en ekskursion til Holland.

4.3.3 Reference

En forudsætning for at kunne opgøre de samfundsøkonomiske gevinster og omkostninger er, at effekten af tiltagene måles op imod en reference. I referencen tages højde for de nuværende planlagte og spontane aktiviteter, der kan have indflydelse på omfanget af skader som følge af klimaforandringerne. Aalborg Kommune har som nævnt ovenfor endnu ikke iværksat tiltag med dette sigte, ligesom det vurderes, at de forventelige spontane tilpasninger ikke vil få afgørende betydning for skadesomfanget af en vandstandsstigning.

4.3.4 Mulige tiltag og tiltagsomkostninger

Der eksisterer flere fremgangsmåder til løsning af problemerne med øget havvandspejl i Aalborg. Ved workshopen blev tre mulige tiltag foreslået:

- Sluse ved Hals

- Højere kant ved kaj og sluse ved Østerå.
- Hydrauliske porte på tværs af Limfjorden

De tre tiltag vil i det følgende blive beskrevet nærmere.

Sluse ved Hals

Det er muligt at kontrollere vandstanden i Limfjorden ved Aalborg ved hjælp af en sluse ved Hals. Slusen vil ikke kun have en gavnlig effekt for arealer i Aalborg Kommune, men for hele området øst for Aalborg. Der har tidligere været meget fokus på en sluse ved Thyborøn. En sluse ved Thyborøn vil dog kun have en begrænset indvirkning på vandstanden ved Aalborg, da det smalle stykke mellem Nibe og Løgstør vil bremse vandet (Larsen, 2007).

I forbindelse med arbejdet om en eventuel sluse ved Thyborøn er et overslag over omkostningerne blevet estimeret. Slusen forventes at ville koste 0,9 – 1 mia. kr. På trods af, at havvandsstigningen i Kattegat er mindre end for Nordsøen, vil en sluse ved Hals være forbundet med højere omkostninger på grund af større vanddybde. Hvor der ved Thyborøn kun er en vanddybde på 4,5 m, er den det dobbelte ved Hals. Da indsejlingen af kul til kraftværket sker via Hals, er det nødvendigt at bibeholde en dyb sejlrende samt bygge en stor skibssluse. Ifølge Larsen (2007) er det for omkostningskrævende at lade kullet om til andre skibe.

Højere kant ved kaj og sluse ved Østerå

Det andet tiltag, som blev foreslået på workshoppen, består af en række mindre tiltag, hvoraf det mest omfattende er en højere kant ved Aalborgs havnekaj. Kanten skal i gennemsnit hæves 1 m på en 15 km lang strækning. Herudover er det også nødvendigt at installere kontraventiler på eksisterende regnvandsudløb, hvilket skal kombineres med mulighed for pumpning af regnvand ud i havnebassinet, når de naturlige udløb er blokeret.

Det vil endvidere være nødvendigt også at etablere sluser ved udløbet af Lindholm Å og Østerå med mulighed for at lade Østerådal lejlighedsvis oversvømme. Sidstnævnte er beskrevet som et særskilt tiltag i forbindelse med ekstrem regn.

Ud over de direkte anlægs- og driftsomkostninger vil denne kombination af tiltag også medføre flere afledte omkostninger, som kun behandles kvalitativt i nærværende analyse. Oversvømmelse af Østerådal og Lindholm Å vil forringe befolkningens rekreative muligheder, idet arealet ikke vil kunne benyttes i de få perioder, når det står under vand. Endvidere er det muligt, at især den højere kajkant vil reducere havnens rekreative og æstetiske værdi. Dette vil konkret manifestere sig i en ændring i huspriserne for boligerne langs kajen, efter kajkanten er blevet forhøjet. Der ligger derfor en væsentlig arkitektonisk udfordring i eventuelt at etablere en højere kajkant. Omvendt forventes det ikke, at den forhøjede risiko vil blive udtrykt i lavere priser; i hvert fald ikke før efter den første store hændelse har fundet sted.

Omkostningerne ved de enkelte tiltag er beskrevet i Tabel 17. Det ses, at bygningen af en højere kant samt slusen ved Østerå udgør størstedelen af den samlede omkostning på knap 66 mio. kr.

Tabel 17: Budgetøkonomiske anlægsomkostninger ved de enkelte del-tiltag ved tiltaget højere kant ved kaj og sluse ved Østerå.

Tiltag	Omkostning (kr.)
Højere kant (15 km)	45 mio.
Kontraventiler	0,5 mio.
Pumper	0,1 mio.
Sluse ved Østerå	20 mio.
Samlet omkostning	65,6 mio.

Hydrauliske porte

Det er muligt at bygge en hydraulisk port på tværs af Limfjorden øst for Aalborg, som kan anvendes efter behov. Denne port vil kun have en gavnlig indvirkning på selve Aalborg, og kan, i tilfælde af havspejlsstigning, resultere i oversvømmelser øst herfor. Disse gener er væsentlige og medfører, at tiltaget i praksis er særdeles vanskeligt at realisere.

Der findes flere former for hydrauliske porte. I Holland er den nyeste hydrauliske port en oppustelig dæmning - **Inflatable dam** eller **balg-gate**. Porten anvendes dog i områder med lavere vanddybde, end tilfældet er i Aalborg. Dæmningen består af tykke gummibælge, der kan pustes op med vand og luft efter behov. I de perioder, hvor der ikke er brug for dæmningen, opbevares den under vandoverfladen. I tilfælde af risiko for oversvømmelse kan bælgene på mindre end en time pustes op. I Holland sker dette i gennemsnit en gang årligt. Fordelen ved denne type dæmning er, at de nærliggende diger kun i begrænset omfang behøver at blive forstærket. Derudover påvirker dæmningen kun i begrænset omfang områdets dyreliv (Groot Salland Waterschap, 2007). Tilsvarende beskytter et system af bevægelige porte af stål og beton London mod oversvømmelse. Systemet er kendt som The Thames Barrier.

Anlægsomkostningerne er meget afhængige af det specifikke projekt og ligger i størrelsesordenen $\frac{1}{2}$ - 1 mia. kr. Efter kontakt til producenter af hydrauliske porte har det ikke været muligt at få et mere præcist estimat.

Der er i dag ønske om en tredje Limfjordsforbindelse. En mulighed er, at bygge en hydraulisk port i kombination hermed.



Figur 10: Balg-gate ved Ramspol i Holland.

4.3.5 Velfærdsøkonomisk analyse: Valg af tiltag

Den samfundsøkonomiske analyse har taget udgangspunkt i en cost-effectiveness analyse (CEA). I en CEA rangordnes tiltagene alt efter deres omkostningseffektivitet i forhold til at opnå et ønsket mål. I dette tilfælde er det ønskede mål at undgå oversvømmelser i Aalborg som følge af havspejlsstigning.

Tabel 18 opsummerer de velfærdsøkonomiske anlægsomkostninger ved de enkelte tiltag. Det antages, at tiltagene finansieres af offentlige midler via enten kommunekassen eller statskassen. De budgetøkonomiske omkostninger er derfor korrigeret med skatteforvridningstab og omregnet til markedspriser ved hjælp af nettoafgiftsfaktoren.

På trods af, at der eksisterer stor usikkerhed med hensyn til omkostningerne til den hydrauliske port, er resultatet meget entydigt. Tiltaget "Højere kant ved kaj og sluse ved Østerå" er langt mere omkostningseffektivt end de øvrige to tiltag. Resultatet må siges at være særdeles robust, idet der, på basis af de nuværende forudsætninger, først er mulighed for, at rangordningen vil blive ændret, hvis udgiften til det mest omkostningseffektive tiltag 7-8 doubles.

Tabel 18: Oversigt over de enkelte tiltags velfærdsøkonomiske omkostninger, som kan reducere omfanget af skader som følge af øget havvandspejl.

Tiltag	Omkostning
Højere kant ved kaj og sluse ved Østerå	89,9 mio.
Sluse ved Hals	> 1,37 mia.
Hydraulisk port	0,69 - 1,37 mia.

Det skal dog bemærkes, at de forventeligt positive afledte benefits af slusen ved Hals i form af undgåede oversvømmelser og dermed reducerede skader i området mellem Aalborg og Hals ikke er inkluderet i ovennævnte betragtning.

4.3.6 Tiltag og barrierer

I forbindelse med tiltagene **Sluse ved Hals** samt **Højere kant ved kaj og sluse ved Østerå** kan finansieringen af tiltagene være en barriere. Dette hænger sammen med, at en finansieringsform, som er "rimelig", ikke umiddelbart kan identificeres. Hvis man finansierer solidarisk, f.eks. ved skattefinansiering eller gennem en regional eller lokal klimafond, vil de opstå situationer, hvor "taberne" vil være med til at finansiere "vinderne". Dette peger på, at der som en del af finansieringsmekanismen bør indtænkes en kompensationsbetaling.

5 Generelle konklusioner og barrierer

I dette afsnit vil generelle konklusioner og barrierer fra Roskilde og Aalborg blive præsenteret. Resultaterne er baseret på en relativt grov økonomisk analyse, hvor der primært er fokuseret på de direkte omkostninger ved tiltag. En mere omfattende analyse med en bedre (og mere omfattende) prissætning af de indirekte omkostninger bør foretages som led i det fortsatte arbejde med klimatilpasning.

5.1 Konklusioner

- De samfundsøkonomiske beregninger viser, at den metode til tilpasning af afløbssystemer, som er foreslået i Spildevandskomiteens Skrift 27 ("klimatillægget"), er tæt på at være optimal i Roskilde og Aalborg. På den baggrund vurderes det, at der overordnet set ikke er brug for yderligere tilpasning i byer med gode topografiske forhold. Konsekvenserne af opstuvning af spildevand til terræn bør altid overvejes, herunder også de hygiejniske forhold.
- Anbefalingen af 10 års gentagelsesperiode som et samfundsøkonomisk optimum for fælleskloakerede områder er tilsyneladende rimeligt. Der kan være områder, hvor det samfundsøkonomiske optimum ligger højere eller lavere. Eventuelle ønsker om fravigelser fra det generelle serviceniveau i kommunen skal overholde den til enhver tid gældende lovgivning, herunder principperne om lighed for loven.
- Indgreb mod oversvømmelse af kældre er optimalt, såfremt det kan løses lokalt af de enkelte lodsejere i form af højvandlukker, pumper eller lignende tiltag. Det er ikke samfundsøkonomisk optimalt at løse denne problemstilling ved større udbygninger af det offentlige afløbssystem.
- Det er vanskeligt for den enkelte kommune at tilpasse sig stigende havvandsstand. Det skyldes, at konsekvenserne ved en stor stormflod er meget store, samtidigt med at de samfundsøkonomiske beregninger viser, at det tilsyneladende ikke kan betale sig at lave større tilpasningstiltag. Der er behov for yderligere undersøgelser på dette område. På baggrund af disse undersøgelser kan det være relevant at udarbejde landsplandirektiver på området.
- Der skal tænkes bredt og tværgående i kommunerne, således at muligheden for, at nye anlæg kan få en dobbeltfunktion som klimatilpasningstiltag, udnyttes. Eksempelvis i forbindelse med etableringen af nye rekreative arealer eller fritidsaktiviteter.
- Den valgte fremgangsmåde med først at indsamle oplysninger på en workshop for dernæst at gennemføre tekniske og økonomiske analyser på et strategisk niveau giver god mening i den forstand, at udfaldet generelt har været robust handlingsanvisende.

5.2 Generelle barrierer for tiltag

- Den aktuelle analyse er en samfundsøkonomisk analyse. Imidlertid er der i mange tilfælde ikke overensstemmelse mellem alle interessenters

individuelle budgetøkonomiske optimum og det overordnede samfundsøkonomiske optimum. Endvidere kan gældende lovgivning i nogle tilfælde forhindre implementering af det samfundsøkonomiske optimale indgreb. Derfor kan der være en række af de foreslåede tiltag, der i praksis er vanskelige at realisere.

- Finansieringen af tiltagene kan generelt være en barriere. Dette hænger sammen med, at en finansieringsform, som er "rimelig", ikke umiddelbart kan identificeres. Hvis man finansierer solidarisk, f.eks. ved skattefinansiering eller gennem en regional eller lokal klimafond, vil de opstå situationer, hvor "taberne" vil være med til at finansiere "vinderne". Dette peger på, at der som en del af finansieringsmekanismen bør indtænkes en kompensationsbetaling.
- Mere specifikt bør finansieringen kunne fordeles på forskellige forvaltningskasser. Der synes at være et behov for, at lovgivningen i højere grad ansporer til fælles og tværgående indsatser med henblik på at få mest miljø for pengene. Konkret bør kommunerne have mulighed for at beslutte afvejede, tværgående løsninger, samt at pålægge interessenter en udgift. Et eksempel på sidstnævnte kan være muligheden for at pålægge husejere en regnvandsafløbsafgift, som afhænger af, om og i hvilket omfang husejeren har gennemført tiltag fra en i forvejen defineret portefølje.
- Der skal tænkes bredt og tværgående i kommunerne, således at muligheden for, at nye anlæg kan få en dobbeltfunktion som klimatilpasningstiltag, indtænkes, eksempelvis i forbindelse med nye rekreative arealer eller sæsonbestemte fritidsaktiviteter.

5.3 Væsentligste antagelser

Beregningerne er foretaget på baggrund af den til rådighed værende information, herunder både viden om infrastruktur og muligheder for tilpasning i lokalområderne. Den tilgængelige information har været på et meget overordnet niveau, svarende til en grov risiko-screening. Yderligere undersøgelser er således nødvendige for at kunne komme med konkrete anvisninger til, hvordan tilpasningen i praksis kan foregå i de to kommuner. Endvidere vurderes de væsentligste tre antagelser at være følgende:

- Den økonomiske analyse er baseret på en meget simpel model. Voldsomme hændelser af f.eks. nedbør og havvandsstand vil have langtids-effekter, der ikke er medtaget i de økonomiske vurderinger. Specielt kan det fremhæves, at en ekstrem havvandsstand vil påvirke adskillige byer samtidigt. Derved vil de økonomiske tab forventeligt være større end summen af de enkelte tab opgjort som en række begrænsede hændelser i et enkelt byområde. Det er denne tankegang, der har medført, at et land som Holland har en endog meget stor beskyttelse mod ekstrem havvandstand.
- At anvende en partiel analyse kan være ganske vanskeligt på så lang tidshorisont. Der vil være andre faktorer, der kan få væsentligt større betydning end de ændringer, som forventes i vandkredsløbet på grund af klimaændringer. Betydningen af globalisering af arbejdsmarkedet, mere fokus på oplevelsesøkonomi og meget andet kan og vil ændre forudsætningerne ganske væsentligt. Rapporten skal derfor ikke ses som et forsøg på at forudsige vandets kredsløb og de nødvendige tiltag, men derimod et forsøg på at forudsige, hvilke tiltag og muligheder, vi har på sigt, og hvilke tiltag vi skal begynde at overveje at iværksætte

- Konkret har det været diskuteret, hvorvidt grundenes værdi har skullet indregnes i prissætningen af at lave tiltag. Det er valgt ikke at gøre det i den aktuelle problemstilling, fordi det er vurderet, at der er et stort (og stigende) behov for grønne arealer i byområder. Oversvømmelse af disse grønne arealer sjældnere end en gang hvert 10. år er i den henseende betragtet som værende en mindre omkostning, der sandsynligvis vil blive opvejet af en tilsvarende positiv værdi ved, at området anvendes mere bevidst til rekreative formål i hverdagen.

6 Litteratur

Arnbjerg-Nielsen, K. (2007): Personlig meddelelse. COWI A/S.

Arnbjerg-Nielsen, K., L. Hansen, J. Kjølholt, F. Stuer-Lauridsen, A.B. Hasling, N. J. Hansen, T.A. Stenström, C. Schönning, T. Westrell, A. Carlsen & B. Halling-Sørensen (2005): Risikovurdering af anvendelse af lokalt opsamlet fæces i private havebrug. Miljøstyrelsen

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

Damgaard, C., L. Strandmark, R. Heideman, T. Nielsen, L. Emborg (2006): Metodemæssige problemstillinger i forbindelse med samfundsøkonomiske vurderinger af klimatilpasningstiltag. Miljøstyrelsen.

Danmarks Statistik (2007): Generel Erhvervs Statistik. Statistikbanken. <http://www.statistikbanken.dk/statbank5a/default.asp?w=1024>

Energistyrelsen (2004) : Omkostninger ved elforsyningssvigt. Energistyrelsen

Danmarks statistik (2007): Generel Erhvervsstatistik. <http://www.statistikbanken.dk/statbank5a/default.asp?w=1024>

Groot Salland Waterschap (2007): The inflatable dam at Ramspol. <http://www.wgs.nl/asp/get.aspx?xdl=/views/salland/xdl/page&ItmIdt=00001829&SitIdt=00000002&VarIdt=00000002>

Gudriksen, S. (2007): Personlig meddelelse, Roskilde Kommune.

Haveselskabet Engen (2007): Haveselskabet Engen – en kolonihave forening i Aalborg. <http://www.haveselskabet-engen.dk/>

Kystdirektoratet (2002): Højvandsstatistikker 2002.

Laden, B. (2007): Personlig meddelelse. Aalborg Kommune, kloakforsyningen.

Larsen, T. (2007): Personlig meddelelse, Professor. Institut for byggeri og anlæg, Aalborg Universitet

Miljøstyrelsen (2006a): Afløbssystemer under påvirkning af klimaændringer. Miljøprojekt nr. 1123. Miljøstyrelsen

Miljøstyrelsen (2006b): Katalog over tiltag til reduktion af effekten fra klimaændringer på afløbssystemer. Miljøprojekt nr. 1124. Miljøstyrelsen

Rosbjerg, D. (1988): A defence of the median plotting position, Inst. Hydrodyn. and Hydraul. Eng., Tech. Univ. of Denmark, Prog. Rep. no. 66, 17-28

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 Jakobsen, C. (2005): Funktionspraksis for afløbssystemer under regn. Spildevandskomiteens Skrift 27. IDA, København

Stormrådet (2006): Stormrådets virksomhed – beretning. Stormrådet.

Trafikministeriet (2003): Manual for samfundsøkonomisk analyse, anvendt metode og praksis på transportområdet. Trafikministeriet

Aalborg Kommune (2006): Vision 2100 – samt udviklingsplan frem til år 2020. Kloakforsyningen, Aalborg Kommune.

Samfundsøkonomiske vurderinger af klimatilpasningstiltag

Dette bilag uddyber nogle af de metodiske overvejelser, der har været i forbindelse med nærværende projekt. For en mere generel gennemgang af de metodiske problemstillinger i forbindelse med samfundsøkonomiske vurderinger af klimatilpasningstiltag henvises til Damgaard *et al.* (2006).

1.1 Scenarier

I den samfundsøkonomiske analyse er der taget udgangspunkt i to sæt af scenarier som alternativer til referencescenariet:

- Referencescenariet indeholder spontane tiltag, men ikke andre store tiltag. For ekstremregn indebærer spontan tilpasning, at de offentlige afløbssystemer leverer en uændret service til borgerne i form af en maksimalt tilladelig frekvens for opstuvning til terræn med kloakvand. Det betyder, at afløbssystemerne udbygges i takt med, at ekstremregn bliver kraftigere. For ekstreme havvandsstande sker der ingen tilpasning.
- I scenarium 1 vurderes de samfundsøkonomiske konsekvenser af at lave spontan tilpasning af afløbssystemerne. Konkret undersøges det, hvilke økonomiske konsekvenser det vil få, såfremt afløbssystemerne ikke udbygges til kraftigere ekstremregn, men at servicen over for borgerne i stedet nedjusteres i takt med, at de kraftigere hændelser observeres.
- I scenarium 2 vurderes de samfundsøkonomiske konsekvenser af at lave flere tiltag end reference-scenariet, hvorved borgerne sikres bedre beskyttelse mod et ændret klima. Det indebærer flere tiltag til sikring mod ekstremregn og tiltag til sikring mod ekstreme havvandsstande.

Scenarium 1 er beskrevet i tabel A1 og Scenarium 2 i tabel A2.

I Clausen *et al.* (2006) er der foretaget en skønsmæssig beregning af de samlede nationale omkostninger ved at ændre dimensioneringen af kloaksystemerne. Dette erfaringstal er blevet anvendt til at beregne nutidsværdien af den besparelse, som kan opnås ved ikke at lave spontan tilpasning af afløbssystemerne i scenarium 1.

Scenarium 2 baseres på en analyse af meget kraftige hændelser, der forventes at forekomme med en sandsynlighed på 1% på et år (en 100-års hændelse). Disse hændelser skal bestemmes både for ekstremregn og for havvandsstand og for nutid og forventet fremtid. På baggrund af modeller for oversvømmelsernes størrelse og placering i byerne prissættes skaderne.

Tabel A1: Samfundsøkonomiske resultater for ekstreme nedbørssituationer, som forekommer hyppigere end eller lig med hvert 10. år (30 mm/2 timer)

Kommune	Scenarium	Tiltag	Omk. (anlæg og drift) NV kr.	Skader/ gevinster NV kr.	I alt NV kr.
Roskilde	Referencescenarium (servicemål overholdes)	Spontane tiltag - Offentlig (eksisterende dimensioneringspraksis/udbygningspraksis hos kommunerne) - Private og producenter	0 kr. 0 kr.	0 kr. 0 kr.	0 kr.
	Scenarium 1 (Ingen spontan tilpasning i det offentlige)	- Ingen udbygning af afløbssystem hos kommunen (udelukkende opretholdelse af eksisterende system). - Spontane tiltag hos private	- sparede omk. + X	+ skader i kr.	X kr.
Ålborg	Referencescenarium (servicemål overholdes)	Spontane tiltag - Private og producenter - Offentlig (eksisterende dimensioneringspraksis/udbygningspraksis hos kommunerne)	0 kr. 0 kr.	0 kr. 0 kr.	0 kr.
	Scenarium 1 (Ingen spontan tilpasning i det offentlige)	- Spontane tiltag hos private - Ingen udbygning af afløbssystem hos kommunen (udelukkende opretholdelse af eksisterende system).	- sparede omk. + X	+ skader i kr.	X kr.

Prissætningen er foretaget på baggrund af skøn af de kommunale embedsmænd fra de to kommuner suppleret med rådgivernes erfaringstal fra tilsvarende undersøgelser af skader. Hermed er det muligt at få et samfundsøkonomisk resultat for hver af de to scenarier i de to kommuner.

Det er ikke blevet forsøgt at opregne eller opskalere tiltagenes økonomiske konsekvenser for samtlige kommuner i Danmark. En sådan opregning vil være vanskelig og tidskrævende i sig selv, idet effekter af klimaforandringer - og dermed behovet og niveauet for tilpasningstiltag - varierer fra kommune til kommune. Dette skyldes, at såvel effekterne af de forventede klimaforandringer som de mulige tilpasningstiltag vil afhænge kraftigt af karakteristika ved det nuværende kloaksystem (alder, kvalitet, kapacitet, hældning etc.), højdekoter, naturlige afløbsmuligheder, det omkringliggende landskab osv.

Det er naturligt at forsøge at sektorintegrere klimatilpasningstiltagene i kommunernes sektorplanlægning (trafikplaner, kommuneplaner, byggeplaner mv.), såfremt der er en samfundsøkonomisk gevinst ved det i forhold til i dag (referencen). Spørgsmålet er, om reduktionerne i skadesomkostningerne er tilstrækkelige til at opveje omkostningerne herved.

Tabel A2: Samfundsøkonomiske resultater for ekstreme nedbørs- og oversvømmelsessituationer (30 mm/2 timer). Samfundets ansvarsområde. Nutidsværdien af tiltagene i forhold til i dag.

Kommune	Scenarium	Tiltag	Omk. (anlæg og drift) NV kr.	Skader/ gevinster NV kr.	I alt NV kr.
Roskilde	Referencescenarium (servicemål overholdes)	Spontane tiltag - Offentlig (eksisterende dimensioneringspraksis/udbygningspraksis hos kommunerne) - Private og producenter	0 kr. 0 kr.	+ skader i kr. (***) + skader i kr. (***)	X kr.
	Scenarium 2 (yderligere tilpasningstiltag ift referencen)	- Et skøn over den optimale kombination af tiltag i kommunen samt tiltagenes optimale dosering (lokal nedsivning, separatkloakering, rensning lokalt, større afløbssystem, ændret arealdisp. mv.)	+ omkostn.	- reducerede skader/gevinster (**)	Z kr.
Ålborg	Referencescenarium (servicemål overholdes)	Spontane tiltag - Offentlig (eksisterende dimensioneringspraksis/udbygningspraksis hos kommunerne) - Private og producenter	0 kr. 0 kr.	+ skader i kr. (***) + skader i kr. (***)	X kr.
	Scenarium 2 (yderligere tilpasningstiltag ift referencen)	- Et skøn over den optimale kombination af tiltag i kommunen samt tiltagenes optimale dosering (lokal nedsivning, separatkloakering, rensning lokalt, større afløbssystem, ændret arealdisp. mv.)	+ omkostn.	- reducerede skader/gevinster (**)	Z kr.

1.2 Overordnede metode

Metodetilgangen i projektet er i overensstemmelse med metodebeskrivelsen i Miljøstyrelsens publikation om metodiske problemstillinger i forbindelse med samfundsøkonomiske vurderinger af klimatilpasning. Der er således foretaget en samfundsøkonomisk vurdering ved at beregne den partielle velfærdsøkonomiske effekt af de udvalgte tilpasningstiltag. Det betyder, at hvert tiltag i hver kommune (fire tiltag i alt) er vurderet isoleret.

Den velfærdsøkonomiske analyse af tiltagene har omfattet følgende vurderinger:

- **Omkostninger:** Værdien af de ressourcer, som tiltaget beslaglægger (tab af forbrugsmuligheder)
- **Gevinster:** Værdien af forøgede forbrugsmuligheder i samfundet som følge af tiltaget i form af 1) reducerede omkostninger som følge af reducerede klimakonsekvenser og 2) nye gevinster som følge af tiltaget.

Ved at sammenligne nutidsværdien af tiltagets omkostninger og gevinster ses det, hvorvidt tiltaget samlet set er en gevinst eller omkostning for samfundet. Der vil altid være omkostninger eller gevinster, som ikke er mulige at

værdisætte i en sådan analyse, og der er derfor foretaget en såkaldt neutral-balance-beregning, som viser, hvor store udvalgte gevinster/omkostninger der skal til, for at tiltaget kommer i nulbalance dvs. **break-even** (ændrer fortegn).

Der er ikke foretaget budgetøkonomiske fordelingsanalyser af tiltagene.

1.2.1 Basis/referencescenarium

Effekten af scenarium 1 (ingen offentlig tilpasning) og scenarium 2 (pakke af optimale tilpasningstiltag) er blevet opgjort i forhold til et referencescenarium (spontan tilpasning).

Referencescenariet indeholder de spontane tilpasninger til klimaforandringerne og tager i nærværende projekt derudover også højde for eksisterende fremtidige planer.

For de kommunale kloakforsyningsansvarsområde lægges Skrift 27 til grund for fastlæggelse af referenceniveauet. Skrift 27 indeholder retningslinjer for, hvorledes kloakforsyningen i fremtiden skal agere for at sikre, at serviceniveauet i fremtiden forbliver uændret. Med de forventede stigende nedbørsmængder indebærer dette, at referencescenariet svarer til en generel opdimensionering af det offentlige kloaksystem. Idet det offentlige påtager sig at investere i en opdimensionering af kloaknettet, vil det også betyde, at lodsejernes spontane investeringer vil være minimale.

Den spontane tilpasning er defineret som den tilpasning, de enkelte forbrugere og producenter samt det offentlige foretager som reaktion på de fysiske klima-konsekvenser inden for de givne lovgivningsmæssige, økonomiske og teknologiske rammer. Et eksempel er, at grundejere vil etablere højvandslukker i kældre ved høj risiko for oversvømming.

Det kan være vanskeligt at definere den spontane tilpasning, idet den kan være svær at isolere fra den samlede effekt af tilpasningstiltagene i dette projekt. Med andre ord er det en delmængde af den samlede tilpasning, som i nærværende projekt er forsøgt udskilt.

Referencescenariet i dette projekt

I praksis er det antaget, at referencescenariet svarer til den myndighedspraksis, der anvendes for kloakdimensionering i dag. Herefter er det vurderet, hvilke konsekvenser (effekter) denne praksis har de næste 90 år. Hertil er lagt effekten af privates spontane tilpasninger, såfremt det har været muligt at vurdere dem.

I nærværende projekt er der ikke foretaget en økonomisk vurdering af reference-scenariet for afløbssystemer i hver kommune. I stedet er der taget udgangspunkt i det skøn, som Miljøstyrelsen allerede har foretaget på landsplan af omkostninger ved en øget rørdimensionering (Clausen *et al.*, 2006).

Det er scenariernes partielle ændringer i omkostninger i forhold til i dag der er relevante, og derfor svarer referencescenariet til uændrede omkostninger.

Det afgørende er her, at de identificerede effekter af tilpasningstiltagene i scenarium 2 er kvantificeret som yderligere effekter i forhold til

referencescenariet (inklusive spontane tilpasninger). Såfremt dette ikke var lykkedes, kan der blive tale om overlap mellem scenarierne, hvor omkostningerne i scenarium 2 overvurderes, hvis der inddrages dele af de spontane tilpasninger.

1.3 Omkostninger

Klimatilpasningstiltagenes samfundsøkonomiske omkostninger er en sum af de direkte omkostninger (markedsomsatte goder) og eventuelle afledte negative eksternaliteter, som værdisættes og tillægges de direkte omkostninger.

1.3.1 Direkte omkostninger

De direkte omkostninger baserer sig på anlægs- og driftsomkostninger ved de valgte tiltag i de to kommuner. Det vil sige prisen for nye regnvandsbassiner, lokale faskiner, etablering af nye lavtliggende arealer til aflastning af andre byarealer som oversvømmes, osv. Disse oplysninger er leveret af kommunerne.

Endvidere er det også forsøgt for udvalgte klimatilpasningstiltag at identificere, hvad yderligere/ekstra driftsomkostninger i forhold til basisscenariet skyldes (ny pumpe, evt. øget energiforbrug). Dette er vigtigt for at identificere eventuelle afledte omkostninger heraf. De afledte omkostninger er dog kun blevet behandlet kvalitativt.

1.3.2 Afledte omkostninger (negative eksternaliteter)

Iværksættelse af tiltagene kan have en række afledte effekter, som påvirker borgernes velfærd negativt. Det kan f.eks. være:

- Et areal, der skal anvendes til sikring mod sjældne oversvømmelse af andre (mere værdifulde) områder. Afhængigt af udformningen af det konkrete tiltag kan der være tale om en tilvækst eller et tab i rekreativ værdi for borgerne. Udgiften til arealerhvervelse er derfor ikke medtaget i den konkrete samfundsøkonomiske analyse. I mere detaljerede analyser af konkrete tiltag vil det være rimeligt konkret at prissætte arealanvendelsen.
- Gener i anlægsfasen såsom vibrationer og støj for borgere, der bor tæt ved anlægget.
- Endelig kan der forekomme varige visuelle gener for visse borgere som følge af tiltagene såsom synlige anlæg, rør, overløb.

1.3.3 Afgrænsning

De samfundsøkonomiske resultater er baseret på de direkte omkostninger, der er nævnt i ovenstående afsnit. De afledte omkostninger er udelukkende beskrevet kvalitativt og indgår derfor ikke i de samfundsøkonomiske beregninger.

1.4 Gevinster

For klimatilpasningstiltag rettet mod ændringer i afstrømningen vil der typisk være tale om følgende typer gevinster (reducerede skader):

1. Direkte skader: Materielle skader forårsaget af vand eller strømmende vand (boliger, biler, varelager mv.). Herved opstår både reparations- og genetableringsomkostninger.
2. Indirekte skader f.eks. trafikulykker pga. akvaplaning (personskader, produktionstab), trafikforstyrrelser på grund af ødelæggelse af veje/jernbaner/tunneler (tidstab), administrative omkostninger, arbejdsomkostninger, produktionstab.
3. Sociale omkostninger:
 - a) Værdiforringelse af ejendele: reduktion af huspriser ved gentagne oversvømmelser.
 - b) Sygdom ved kontakt med blanding af spildevand og afstrømmet regnvand.
 - c) Forsyning: nedbrud i el-forsyning, vandforsyning, varmforsyning, kommunikation, hospitalsadgang.
 - d) Miljø: recipientmiljø: erosion, belastede gydebanker, forringelse af biologiske forhold i recipienter, aflejring af slam og andre sedimentter i fra afløbssystem i recipient, flydestof (æstetisk), rekreativt: nye gevinster som følge af etablering af lavtliggende områder til aflastning for oversvømmelse af andre områder, idet de kan anvendes rekreativt i tørvejr og moderat regn.

En del af disse gevinster kan prissættes med markedspriser såsom de direkte omkostninger og visse af de indirekte omkostninger. En lang række af gevinsterne omsættes dog ikke på et marked og er derfor nødt til at blive prissat med eksisterende værdisætningsnøgletal (typisk 1. sundhedseffekter: sygdom og død, 2. miljøeffekter, 3. tidstab: mistet fritid). I dette projekt har klimatilpasningstiltagene typisk betydet bedre sundhed, bedre miljø og mindre tidstab. Derfor skal prisen på goderne bruges til at vurdere reducerede skadesomkostninger og dermed til at opføre en samfundsøkonomisk gevinst.

Første opgave, efter at projektgruppen havde identificeret mulige klimatilpasningstiltag i de to kommuner, var at identificere de potentielle gevinster. Dernæst blev gevinsterne kvantificeret i de enheder, der svarer til de tilgængelige værdisætningsnøgletal. Tabel A3 viser den systematik, der er nødvendig for at foretage en vurdering af tiltagenes samfundsøkonomiske gevinster.

1.4.1 Afgrænsning

Det er nødvendigt at foretage en afgrænsning af de økonomiske beregninger, således at den økonomiske analyse alene vil omfatte visse af de potentielle gevinster. De samfundsøkonomiske resultater omfatter de gevinster, der består af reduktion i de direkte omkostninger (materielle skader). Desuden omfatter resultaterne også reduktion i de indirekte omkostninger (trafikuheld, trafikforstyrrelser, tidstab, produktionstab). Derimod er reduktionen i de sociale omkostninger ikke opgjort i kroner og ører (andre sygdomme, recipientmiljøeffekter, rekreative værdier, nedbrud i forsyning). Til gengæld er disse gevinster forsøgt beskrevet kvalitativt.

Tabel A3: Samfundsøkonomiske gevinster ved ekstremregn (reducerede skader)

Identifikation	Kvantifikation	Prissætning
Virussygdom som følge af fysisk kontakt med blandet spildevand og regnvand	Antal personer med virus per oversvømmelseepisode	- Antal personer gange sundhedsmkostning per person (1.000 kr./person) - Antal sygedage arbejde*løn (produktionsværdi)
Andre sygdomme	Antal berørte per oversvømmelseepisode	
Trafikulykker	1) Type ulykker og typiske skader på bil, personer mv. 2) Antal af disse ulykker per oversvømmelseepisode evt. fordelt på a) alvorligt tilskadekomne, b) lettere tilskadekomne og c) ingen personskade	- Trafikministeriets nøgletalskatalog for ulykker
Trafikforstyrrelser	Antal ødelagte veje - Km2 ødelagt vej - Gener heraf (øget transport, andre transportformer, trængsel)	Kr./km genoprettelse Tidstab
Recipient miljø	- Erosion - Kemikalier fra produktion - osv. - Eutrofiering	Kr./kg reduceret N og P (alternativomkostningen ved at reducere N og P med andre tiltag/sektorer)
Rekreative værdier	? ha nyt lavtliggende område 1) Funktion: fodboldbane (brugsværdi i perioder uden oversvømmelse) 2) Aflastning til oversvømmelse af andre områder (bl.a. brugsværdi når oversvømmet)	Kr./ha fodboldbane (Friluftsrådet) Kr./ha sø/vandområde

1.5 Beregningsmetode - nutidsværdier, tidshorisont og diskonteringsfaktor

Der er regnet med en tidsperiode på 90 år. Samtlige omkostninger og gevinster ved tiltagene i forhold til referencen er tilbagediskonteret med en diskonteringsrate på 3 %. Idet en del klimaeffekter først vil slå kraftigt igennem efter denne periode, er det også værd at vurdere fordelene på længere sigt.

Den lange tidshorisont bevirker, at resultatet kan være særdeles følsomt over for den valgte diskonteringsrate. Jo højere rate desto mere vil tidsmæssigt sent forekommende fordele ved tilpasningen blive negligeret. Følsomhedsanalyser med flere diskonteringsrater og en kvalitativt beskrivelse er derfor yderst central.

Tidshorisonten bevirker endvidere, at det er relevant også at udføre følsomhedsanalyser for andre kritiske parametre. I projektet er det bl.a. vurderet, hvad en sen eller tidlig forekomst af ekstreme hændelser betyder.

1.6 Datagrundlag

Generelt er datagrundlaget til den samfundsøkonomiske analyse blevet leveret af kommuner og konsulenter. Nedenfor skitseres kort, hvordan dataindsamlingen var fordelt mellem aktørerne i projektet.

1.6.1 Omkostninger

De direkte omkostninger ved klimatilpasningstiltagene blev primært indsamlet og leveret af de to deltagerkommuner, idet de vidste mest om de lokale omkostningsforhold. Der er først og fremmest tale om anlægsomkostninger, levetider og driftsomkostninger, men også til dels oplysninger om finansieringen af tiltagene (vandaflødningsbidraget, kommuneskat, anden offentlig finansiering, andel borgerfinansiering). Hvor det ikke har været muligt for kommunerne at levere lokalspecifikke omkostninger, har COWI og NIRAS forsøgt at finde estimater.

COWI og NIRAS har herefter sørget for at omregne de indsamlede omkostninger til markedspriser (nettoafgiftsfaktoren) og indregne eventuelle skatteforvridningsomkostninger.

1.6.2 Gevinster

Arbejdet med at indsamle gevinsterne datagrundlag er primært foregået som vist i tabellen nedenfor. Der har været behov for at afgrænse, hvilke gevinster der var vigtigst at få med, da det er meget tidskrævende at kvantificere og finde rette prissætningstal til opgørelsen af gevinsterne.

Tabel A4: Dataindsamling til opgørelse af gevinster ved klimatilpasningstiltagene. Ekstreme nedbørssituationer og højere vandstande.

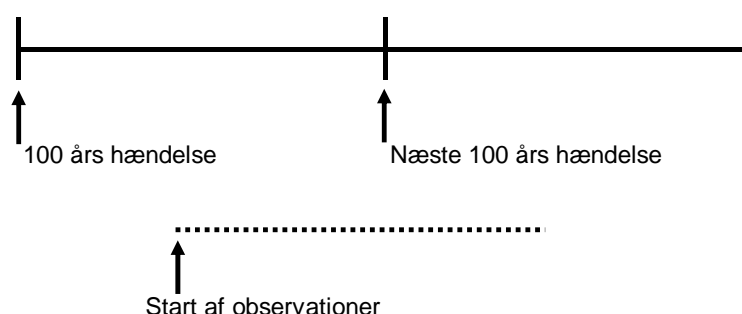
Identifikation	Kvantifikation	Prissætning
Primært kommuner	Kommuner og konsulenter	Konsulenter og Miljøstyrelsen

Med hensyn til reduktionen i de direkte skader for private (materielle skadesomkostninger på bolig og indbo), er data fra forsikringsselskaber blevet anvendt. En forudsætning for at kunne bruge disse tal har været, at der for hvert klimatilpasningstiltag kendes reduktionen i antal oversvømmede kældre/boliger, således at reduktionen i samfundets skadesomkostninger kan udregnes (dvs. summen af mindsket forsikringsudbetaling).

Metode til fordeling af skadesomkostninger over tid

Hyppige hændelser af høj vandstand og kraftig regn skal kunne håndteres af byer uden skader på infrastrukturen. Det er derfor kun sjældne hændelser, der vurderes i nærværende undersøgelse.

Centralt er begrebet gentagelsesperiode (Engelsk: Mean Time Between Events). Gentagelsesperioden er defineret som den tid, der i gennemsnit er mellem to hændelser, der overskrider en given tærskel. Hændelsen kan f.eks. være en regnmængde pr. tidsenhed eller en økonomisk skade pr. oversvømmelse. Det er væsentligt at bemærke, at den største hændelse i en måleserie som regel vil have en gentagelsesperiode, der er større end observationsperioden. Dette princip er beskrevet i figur B1 nedenfor. Konkret benyttes en formel fra Rosbjerg (1988) til at beregne gentagelsesperioden. Resultatet for en 90 års observationsperiode er angivet i tabel B1.

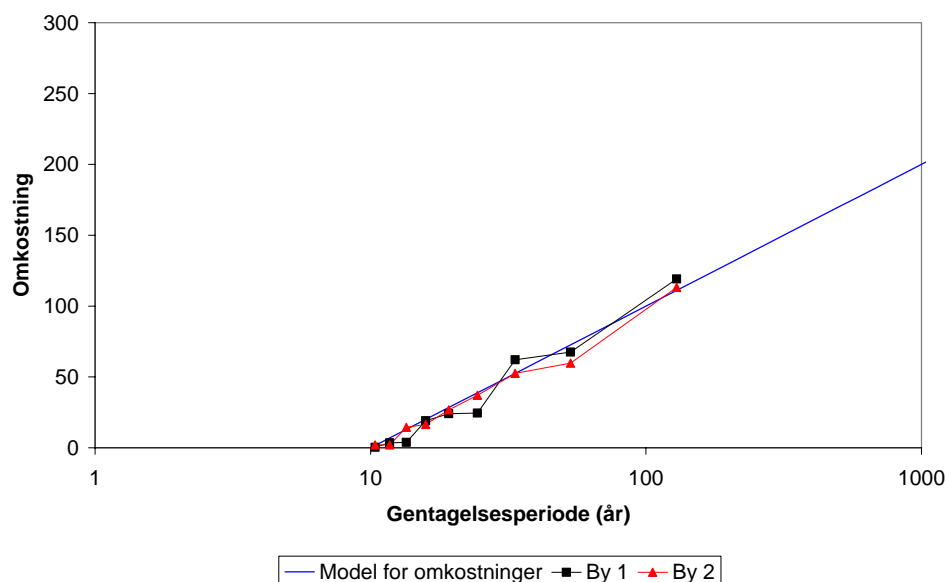


Figur B1: Når der måles i en 100-års periode, vil den største hændelse i gennemsnit have en gentagelsesperiode på mere end 100 år. Undtagelsen er, når målingerne påbegyndes, fordi der er sket en kraftig hændelse. I det tilfælde vil der i gennemsnit være 100 år, indtil næste hændelse med 100 års gentagelsesperiode optræder.

Der er i anvendelsen i nærværende bearbejdning udelukkende opgjort skader for gentagelsesperioder på henholdsvis 10 og 100 år. Det betyder, at der er lavet en række grove antagelser i bearbejdningen. Antagelserne er forskellige for henholdsvis ekstremregn og ekstrem havvandsstand og gennemgås derfor under de respektive afsnit.

1.1.1 Skøn over omkostninger til nedbørshændelser med konstant serviceniveau

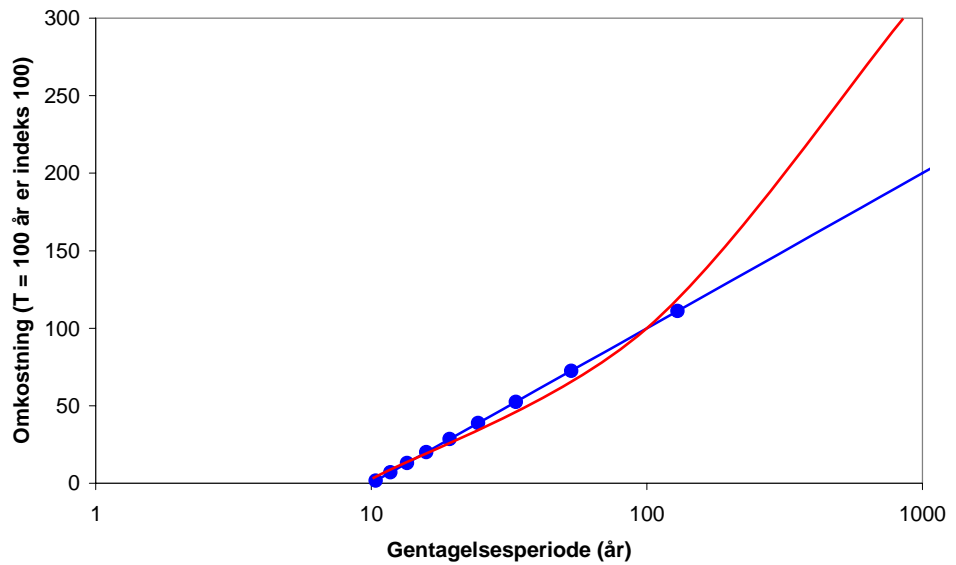
Jævnfør diskussionen i det foregående afsnit antages det, at nedbørshændelser med en gentagelsesperiode på over 10 år vil give skader. I løbet af en 90 års periode vil der derfor forventeligt være 9 hændelser, der giver skader. De fleste skader vil være ret små, mens der vil være 2-3 hændelser, der står for hovedparten af skaderne. Princippet er illustreret på figur B2 nedenfor.



Figur B2. Fiktivt eksempel på observerede skadesomkostninger for to byer under antagelse af, at 100 års hændelsen har omkostningen 100. I praksis vil de dominerende udgifter udgøres af de største 2-3 hændelser, og der vil være forskelle mellem de faktiske udgifter og den gennemsnitlige model. Data er i virkeligheden baseret på observationer af ekstremregn.

Projektets reference-scenarium er baseret på et uændret serviceniveau overfor borgerne. Det indebærer, at figur B3 principielt er uændret i løbet af hele perioden, fordi afløbssystemet tilpasses, så figuren er uændret. Der er en mindre systematisk fejl ved denne fremgangsmåde, fordi det forventes, at ekstremregn bliver mere ekstreme for højere gentagelsesperiode, svarende til den røde linie på figur B3. Denne systematiske fejl vurderes dog at være lille i denne sammenhæng. Dermed er modellen fastlagt ved, at der er omkostningen 0 for 10 års gentagelsesperiode og omkostningen 100 for 100 års gentagelsesperiode.

Hvis modellen benyttes direkte, kan man opgøre de forventede skader til 3,45 gange skaderne af en 100 års hændelse i løbet af en 90 års observationsperiode, jf. tabel B1. I praksis vil skaderne være noget større, fordi de økonomiske konsekvenser i form af ekstra skader, der opstår af en ekstra kraftig hændelse, er større end de besparelser, der opstår som følge af, at den største hændelse er mindre end forudsat. Det betyder, at der er en bias i modellen, der systematisk undervurderer omkostningerne i løbet af 90 års perioden. Som et groft skøn over denne bias er de samlede forventede udgifter i løbet af 90 års perioden sat til 5 gange skaderne af en 100 års hændelse. Bias vil kunne estimeres, såfremt der foretages en nærmere analyse af flere gentagelsesperioder og usikkerheden på den økonomiske skade, der forvoldes, ved disse gentagelsesperioder.



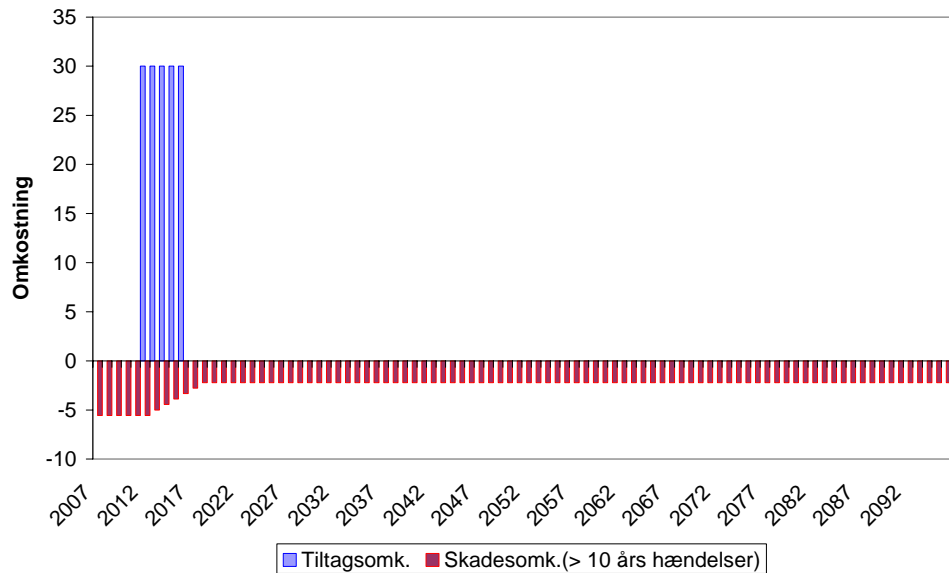
Figur B3. Ved opgørelse af skader forårsaget af ekstremregn benyttes en simpel model, der ofte anvendes på ekstrem nedbør. De forventede skadevoldende hændelser er markeret med blå punkter i figuren. I virkeligheden vil skadesbilledet være mere som angivet med den røde figur. For at kunne prissætte den røde figur kræves dog fastlæggelse af skaderne ved flere gentagelsesperioder.

Tabel B1. Sammenhæng mellem forventet gentagelsesperiode og forventet skade for de 9 hændelser, der forventes at give skader i løbet af en 90 års periode. Opgørelsen af de forventede omkostninger til skader i søjlen til højre er baseret på modellen i figur B2, blå kurve.

Rang	Forventet gentagelsesperiode af største hændelser med 90 års observationsperiode (år)	Forventet skade pr hændelse i forhold til en 100 års hændelse (indeks 100)
1	129,1	111,1
2	53,2	72,6
3	33,5	52,5
4	24,4	38,8
5	19,2	28,4
6	15,9	20,0
7	13,5	13,0
8	11,7	7,0
9	10,4	1,7
Sum	-	345,0

Det kan ikke forudsiges, hvornår (og om) de ekstreme hændelser forekommer i løbet af de 90 år. Hændelserne optræder uafhængigt af hinanden, dvs. de kan alle ligge i starten af perioden, i slutningen af perioden eller jævnt fordelt. Den samlede skade kan derfor bedst spredes jævnt ud på alle årene. Hermed kan skaderne pr. år opgøres til $500/90 = 5,5$ omkostning pr. år, med indeks 100 for en 100 års hændelse.

På figur B4 er angivet princippet for de økonomiske vurderinger af tiltag rettet mod afhjælpning af ekstremregn. Formålet med de økonomiske vurderinger er at identificere tiltag, der har så lav omkostning, at den forventede reduktion i skade er større end de omkostninger, der er ved indgrebet. Omkostningerne opgøres i nutidsværdi for både tiltag og skader.

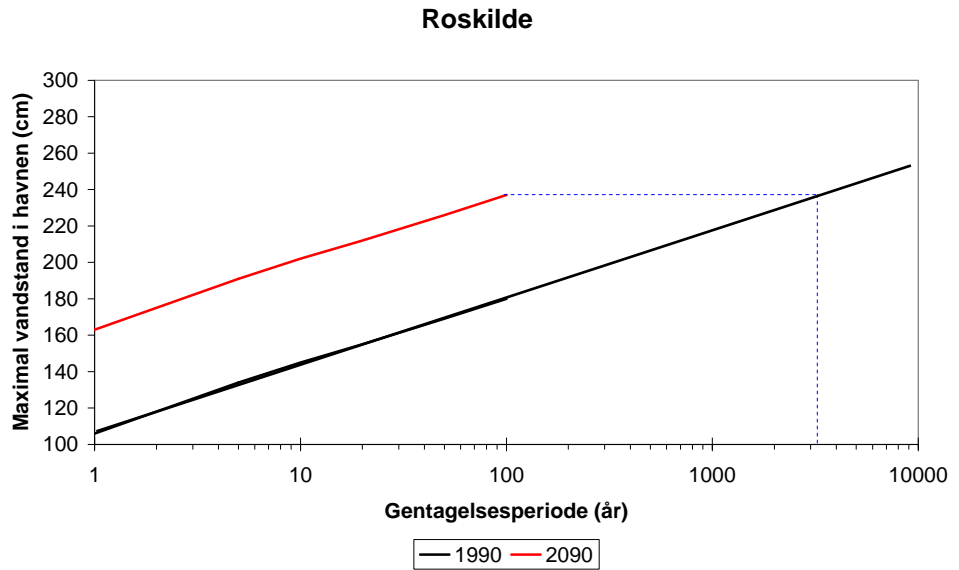


Figur B4. Princip for vurdering af omkostninger forårsaget af ekstremregn. I årene inden der foretages tiltag, er omkostningen 5,55 pr år. Ved at foretage en investering på 30 i 5 fortløbende år nedsættes omkostningen til 2,2 pr. år.

1.1.2 Klimatilpasning til ekstreme havvandsstand

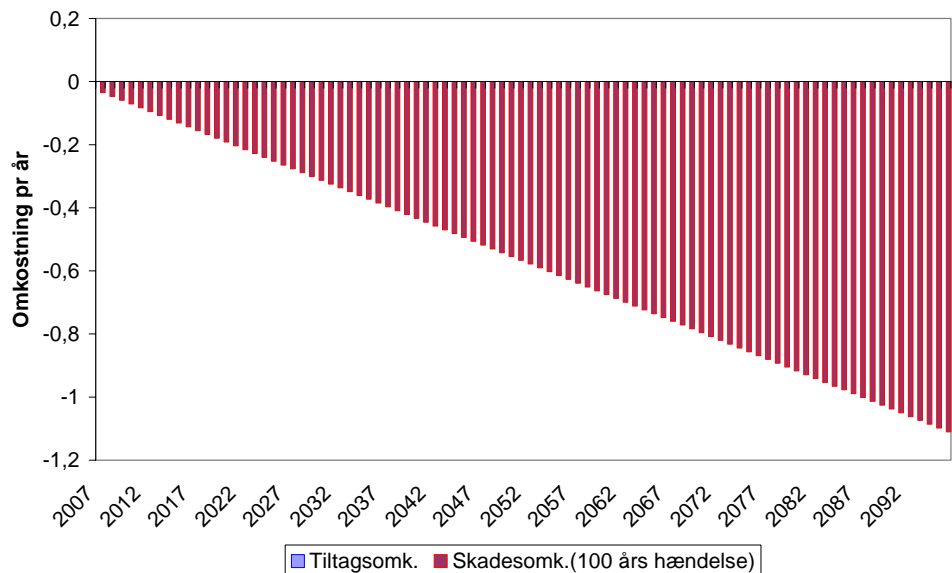
I modsætning til ekstremregn sker der en voldsom ændring af risikoen for ekstrem havvandsstand i løbet af den betragtede 90 års periode, se figur B5. Den hændelse, der i 2096 har en gentagelsesperiode på 100 år, har i 2007 en gentagelsesperiode på mere end 3000 år. Derfor er den forventede omkostning pr. år stærkt stigende i løbet af observationsperioden.

Som en grov antagelse er det skønnet, at der kun vil være én væsentlig skadevoldende effekt i løbet af de 90 år, der betragtes. Der er derfor kun én hændelse, der har skaden 111% af en 100 års hændelse i 2097.

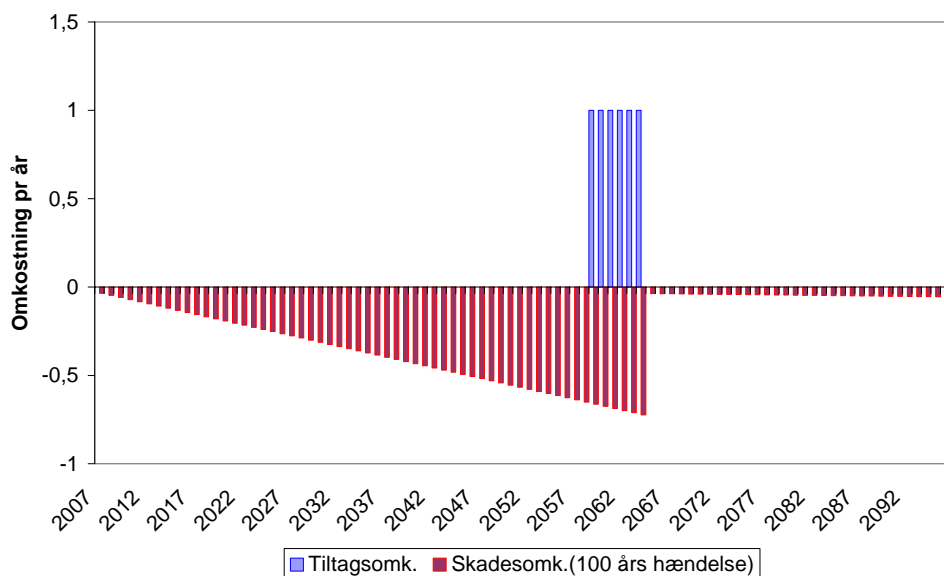


Figur B5. Sammenhæng mellem gentagelsesperioder for Roskilde i år 2007 og 2096.

På figur B6 er angivet den forventede omkostning, såfremt der ikke foretages indgreb til sikring af de lavtliggende områder. På figur B7 er tilsvarende vist det principielle forløb af en investering. Det ses, at der må forventes at være et optimalt tidspunkt for investeringen af tilpasningen, og at dette tidspunkt næppe er inden for de første år af perioden.



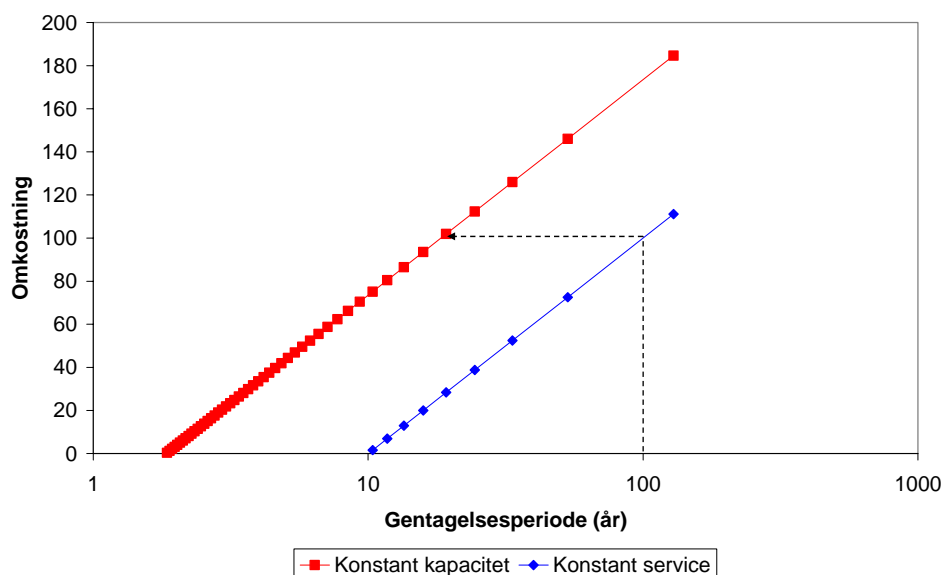
Figur B6. Forventet omkostning af en ekstrem havvandsstand svarende til 100 års gentagelsesperiode i 2096.



Figur B7. Forventet omkostning af en ekstrem havvandsstand under forudsætning af, at der i omkring år 2060 investeres i en tilpasning, der mindsker effekten af den ekstreme havvandsstand.

1.1.3 Skøn over omkostninger til nedbørshændelser med konstant kapacitet i afløbssystemet

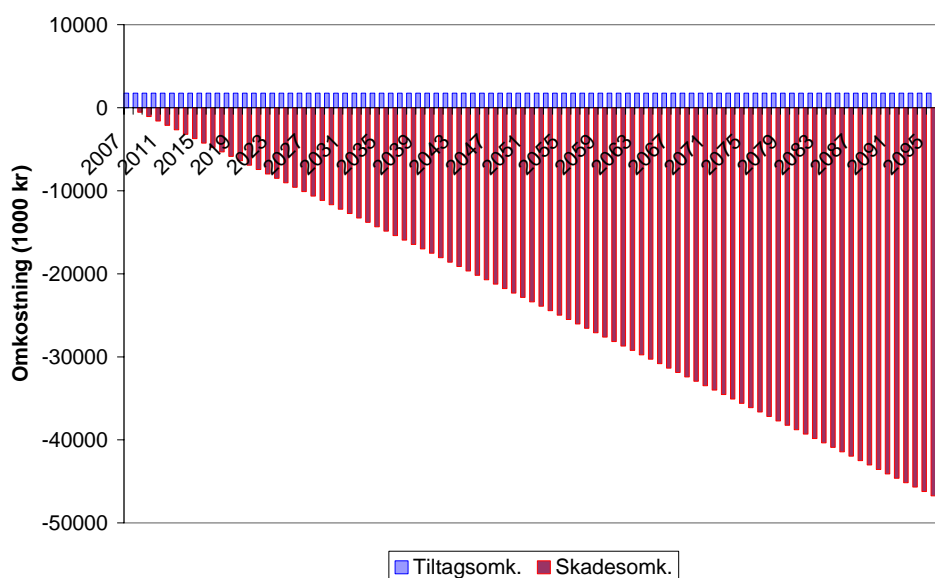
Såfremt afløbssystemet opdateres med konstant kapacitet, vil borgerne opleve et væsentligt fald i serviceniveauet. Med en antagelse om en ændring svarende til en klimafaktor på 1,4 vil en 10 års hændelse i 2096 optræde ca. hvert 2,5 år. Det, der svarer til en 100 års hændelse i dag, vil i 2096 optræde som en 18 års hændelse (Ref: Skrift 27). I alt vil der ved udgangen af den betragtede periode være sket et servicetab svarende til skiftet fra den blå til den røde kurve i figur B8.



Figur B8. Såfremt en 100 års hændelse har en klimafaktor på 1,4, vil en kapacitet svarende til en 100 års hændelse i fremtiden optræde hvert 18. år. I løbet af en 90 års periode vil forventeligt optræde ca. 50 skadevoldende hændelser.

En opgørelse svarende til tabel B1 giver et samlet skadesbillede svarende til 2071 i år 2096. Med samme opgørelsesmetode som for ekstremregn med konstant serviceniveau kan skadesbilledet groft skønnes til 30 omkostning pr. år. Med andre ord, den forventede omkostning pr år i 2096 vil være 30% af den skade, som en 100 års hændelse forvolder i dag. Udviklingen i udgifter antages at være lineær, svarende til 0 % i 2007 til 24,5 % i 2096 af en 100 års regnhændelse anno 2007.

Omkostningen antages at blive øget lineært over perioden svarende til princippet for havvandsstand, se figur B6. I figur B9 er for Roskilde vist de sparede udgifter til udvidelse af afløbssystemet (over x-aksen), som kan sammenlignes med de øgede udgifter til skader i bybilledet som følge af den ringere kapacitet af afløbssystemet (under x-aksen). Det fremgår umiddelbart, at investeringen i opgradering af afløbssystemet som led i klimatilpasning er en samfundsøkonomisk god investering. Det fremgår endvidere, at med antagelse af en lineær model er der break-even efter blot ca. 5 år. I praksis vil kurven have et lavere forløb, hvilket betyder, at break-even på sparet investering pr. år og øget skadesudgift pr. år vil ligge længere ude i fremtiden.



Figur B9. Oversigt over sparet investering og øget skadesomkostning for Roskilde Kommune, såfremt der ikke laves spontan klimatilpasning i form af løbende opgradering af afløbssystemet.

Enhedsomkostninger

Skade	Enhed	Omkostning	Reference
Kælderoversvømmelser	Antal ejendomme med kælderoversvømmelser	10.000	Spildevandskomiteen (2005)
	d.o.	25.000 (Erstatningen omfatter både tørring, reparation og løsøre)	Tryg-Vesta (2007)
	d.o.	50.000	Stormrådet (2006)
	d.o.	5-15.000 (tørring og affugtning)	Vandskaden (2007)
Oversvømmelser i stueplan	Antal ejendomme med vand i stueetage	0 – 800.000 kr./oversvømmelse	NIRAS
Sygdom som følge af berøring med inficeret vand	Antal syge personer eller	7200 kr./syg person	Arnbjerg-Nielsen et al. (2005) Arnbjerg-Nielsen (2007)
d.o.	Antal personer, som har kontakt med inficeret vand.	2.430	Arnbjerg-Nielsen et al. (2005) Arnbjerg-Nielsen (2007)
Oversvømmelse af varelagre	Antal varelagre pr. butikstype	Afhænger af butikstype	Danmarks Statistik (2007)
Trafikforstyrrelser	Antal forsinkede bilister	127	Trafikministeriet (2003)
Vejbrud	Antal vejbrud	1.000.000	COWI
Skader på kloakker	Antal brønde, der beskadiges som følge af opstuvning	30.000	COWI
	Antal hovedpumpestationer som ødelægges	1.000.000	COWI
Administrationsomk. (kommunen, rådgivere)	Antal timer kommunale medarbejdere bruger pga. skaderne Rådgivningstimer	300	Gudriksen (2007)
		1.000	COWI
Transformerstationer	Antal transformerstationer, der oversvømmes, og som skal reoveres/rengøres.	1.000.000	COWI
Manglende el-forsyning	Antal husstande uden el i op til 5 døgn	1.682	Energistyrelsen (2004)
	Antal virksomheder uden el i op til 5 døgn	0,0026% årsomsætning	

Oversigt over tiltag og omkostninger i Roskilde

Tabel D1: Tiltag i sydlige del af Roskilde By (Zone 1)

Tiltag	Anlæg	Anlægsinvestering (kr. ekskl. moms)	Levetid	Drifts- og vedligeholdelsesomk. (kr./år)
Øget magasinering i alt 115.000 m ³	Zone 1: Grønne areal ved SCANDIC hotellet: 35.000 m ³ Åbent jordbassin	Udgravning af bassin, sikring af sider med græs, udløbsbygværk, adgangsvej, indhegning og overvågning: 40.000.000,-	100 år	50.000,-
		Jordkøb: 0,-		
		Kloakker i nærområdet omkring bassinet for afledning af regnvandet til og fra bassinet: 5.000.000,-	100 år	5.000,-
	Zone 1: Grønne areal bag Hedegårdenens skole: 34.000 m ³ Åbent jordbassin	Udgravning af bassin, sikring af sider med græs, udløbsbygværk, adgangsvej, indhegning og overvågning: 40.000.000,-	100 år	50.000,-
		Jordkøb: 0,-		
		Kloakker i nærområdet omkring bassinet for afledning af regnvandet til og fra bassinet: 5.000.000,-	100 år	5.000,-

Kilde: COWI intern viden. Omkostninger er skønnet ud fra erfaringstal for tilsvarende arbejder og kan kun opfattes som retningsgivende. Alle omkostninger er ekskl. moms.

Tabel D2: Tiltag i sydlige del af Roskilde By (område 1)

Tiltag	Anlæg	Anlægsinvestering (kr. ekskl. moms)	Levetid	Drifts- og vedligeholdelsesomk. (kr./år)
Øget magasinering i alt 115.000 m ³	Zone 1: Grønne areal nord for Trekroner station: 23.000 m ³ Åbent jordbassin	Udgravning af bassin, sikring af sider med græs, udløbsbygværk, adgangsvej, indhegning og overvågning: 26.000.000,-	100 år	35.000,-
		Jordkøb: 0,-		
		Kloakker i nærområdet omkring bassinet for afledning af regnvandet til og fra bassinet: 5.000.000,-	100 år	5.000,-
	Zone 1: Grønne areal ved Granly havekoloni: 23.000 m ³ Åbent jordbassin	Udgravning af bassin, sikring af sider med græs, udløbsbygværk, adgangsvej, indhegning og overvågning: 26.000.000,-	100 år	35.000,-
		Jordkøb: 0,-		
		Kloakker i nærområdet omkring bassinet for afledning af regnvandet til og fra bassinet: 5.000.000,-	100 år	5.000,-

Kilde: COWI intern viden. Omkostninger er skønnet ud fra erfaringstal for tilsvarende arbejder og kan kun opfattes som retningsgivende. Alle omkostninger er ekskl. moms.

Tabel D3: Tiltag i nordlige del af Roskilde By (Zone 2-6)

Tiltag	Anlæg	Anlægsinvestering (kr. ekskl. moms)	Levetid	D&V omk. (kr./år)
Etablering af transportkorridorer og øget magasinering	Zone 2: Ladegårdsrenden: 50.000 m ³ Åbent jordbassin	Udgravning af bassin, sikring af sider med græs, udløbsbygværk, adgangsvej, indhegning og overvågning: 55.000.000,-	100 år	35.000,-
		Jordkøb: 0,-		
	Zone 3: Etablering af transportkorridor i Kong Valdemars Vej	Kloakker i nærområdet omkring bassinet for afledning af regnvandet til og fra bassinet: 10.000.000,-	100 år	5.000,-
		Supplerende kloakledning i Kong Valdemars Vej fra Roskilde Fjord til Røde Port. 1,6 km Ø1200-Ø1600 mm lagt i vejen inkl. udløb i Roskilde Fjord: 35.000.000,-	100 år	5.000,-
	Zone 5: Etablering af transportkorridor i Byvolden/Sct. Clara Vej	Supplerende ledningsanlæg i tilstødende veje for at fjerne flaskehalse og for at øge afstrømningen til Kong Valdemars Vej: 10.000.000,-	100 år	5.000,-
		Supplerende kloakledning i Byvolden/Sct. Clara Vej fra Roskilde Fjord til Helligkorsvej: 1,7 km Ø1200-Ø1600 mm lagt i vejen inkl. udløb i Roskilde Fjord: 40.000.000,-	100 år	5.000,-
	Supplerende ledningsanlæg i tilstødende veje for at fjerne flaskehalse og for at øge afstrømningen til Byvolden/Sct. Clara Vej: 10.000.000,-	100 år	5.000,-	

Kilde: COWI intern viden. Omkostninger er skønnet ud fra erfaringstal for tilsvarende arbejder og kan kun opfattes som retningsgivende. Alle omkostninger er ekskl. moms.

Noter: Omkostninger til transportkorridorer omfatter også visse udgifter til ejendomsinstallationer for ejendomme på tilstødende veje. Disse er ikke medregnet her, men vil ligge på ca. 5 mio. for hver transportkorridor.

Tabel D4: Tiltag i nordlige del af Roskilde By (Zone 2-6)

Tiltag	Anlæg	Anlægsinvestering (kr. ekskl. moms)	Levetid	Drifts- og vedligeholdelsesomk. (kr./år)
Etablering af transportkorridorer og øget magasinerings	Zone 6: Etablering af transportkorridor i Møllehusvej	Supplerende kloakledning i Møllehusvej fra udløb i mose vest for Sct. Hans Hospital til Holbækvej. Tunnelering af ledning fra krydset Møllehusvej/Låddenhøj til udløb vest for Sct. Hans Hospital, Overløb fra fællessystem i Sønderlundsvej til bassinet ved Sct. Jørgens skole: 1,5 km Ø1200-Ø1600 mm lagt i Møllehusvej, 0,6 km tunneleret fra Låddenhøj til udløb samt 0,5 km overløbsledning fra Sønderlundsvej: 100.000.000,-	100 år	15.000,-
		Supplerende ledningsanlæg i tilstødende veje for at fjerne flaskehalse og for at øge afstrømningen til Møllehusvej og Sønderlundsvej: 20.000.000,-	100 år	10.000,-
	Zone 4: Øget afvanding ud af bymidten mod transportkorridorerne i Kong Valdemars Vej og i Byvolden/Sct. Clara Vej	Supplerende kloakledning i Støde/Skomagergade/Algade, 1,2 km Ø1200-Ø1600 mm lagt i vejen med afløb mod øst og vest. 35.000.000,-	100 år	5.000,-
		Supplerende ledningsanlæg i tilstødende veje for at fjerne flaskehalse og for at øge afstrømningen fra nærområdet til den supplerende kloakledning: 20.000.000,-	100 år	5.000,-

Kilde: COWI intern viden. Omkostninger er skønnet ud fra erfaringstal for tilsvarende arbejder og kan kun opfattes som retningsgivende. Alle omkostninger er ekskl. moms.

Noter: Omkostninger til transportkorridorer omfatter også visse udgifter til ejendomsinstallationer for ejendomme på tilstødende veje. Disse er ikke medregnet her, men vil ligge på ca. 5 mio. for hver transportkorridor.

Tabel D5: Skader ved 100 års regnhændelse (50mm/2 timer) i Roskilde By

Skade	Enhed	Zone 1 Syd	Zone 2 Nord	Zone 3 Nord	Zone 4 Nord	Zone 5 Nord	Zone 6 Nord
Trafik- forstyrrelser	Antal timer tabt arbejdstid	16.667	6.667	1.111	1.111	1.111	6.667
Vejbrud	Antal vejbrud	5	4	1	1	1	4
Stuegulve	Antal ejendomme med vand i stueetage	18	17	3	3	3	17
Kælder	Antal ejendomme med kælderoversvømmelser	600	500	125	150	125	500
Elsvigt (>5 t)	- Antal personer i private boliger - Antal virksomheder/institutioner	3.750	1.500	263	225 26	263	1.500
Fødevarerbutikker - produktionstab og erstatning	Antal fødevarerforretninger der oversvømmes i kælder	11	2	1	16	1	2
Andre butikker - varelager	Antal virksomheder og forretninger med vand i kælder (antages lager i kælder)	48	17	4	61	4	9
Skader på kloaker	Brønde der beskadiges som følge af opstuvning	100	80	30	20	30	40
Administrationsomk. (kommunen, rådgivere)	Antal timer kommunale medarbejdere bruger pga. skaderne Rådgivningstimer	1.200 500	1.200 400	200 100	400 100	200 100	1.000 300
Sundhedsomk.	Antal personer i berøring med blandet vand og spildevand	1.544	1.292	320	382	320	1.292