

Afløbssystemer under påvirkning af klimaændringer

Hovedrapport

Dr. Ole Mark
DHI – Institut for Vand og Miljø

Dr. Jens Jørgen Linde
PH-Consult

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	3
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	5
SUMMARY AND CONCLUSIONS	11
1 AFLØBSSYSTEMER OG KLIMAÆNDRINGER, PROJEKTAFGRÆNSNING	13
1.1 KLIMAEFFEKTER I PLANLÆGNINGSPROCESSEN	13
1.2 PROJEKTAFGRÆNSNING	15
2 SCENARIER FOR FREMTIDENS KLIMA	17
2.1 SCENARIER FOR FREMTIDIGE KLIMAÆNDRINGER	17
2.2 DATAGRUNDLAGET FOR ANALYSEN AF KLIMAÆNDRINGERS EFFEKTER PÅ AFLØBSSYSTEMER	19
2.3 KLIMAÆNDRINGERS EFFEKTER I DE DANSKE FARVANDE	19
2.4 KLIMAÆNDRINGERS EFFEKTER PÅ NEDBØR OVER DANMARK	19
3 KLIMAÆNDRINGER OG AFLØBSSYSTEMER	21
4 EFFEKTER PÅ DANSKE AFLØBSSYSTEMER	23
4.1 HÅNDTERING AF VAND PÅ TERRÆN UNDER EKSTREMHÆNDELSER ²⁴	
5 DOKUMENTATION AF DET EKSISTERENDE AFLØBSSYSTEM	27
6 PLANLÆGNING OG TILTAG	29
6.1 PRIORITERING AF TILTAG	29
7 HÅNDTERING AF REGNVAND PÅ TERRÆN	31
7.1 SAMFUNDSMÆSSIGE KONSEKVENSER AF OVERSVØMMELSER	31
8 OPTIMERING AF DRIFTEN	33
9 PÅVIRKNING AF RECIPIENTER	35
9.1 ÆNDREDE OVERLØBSMÆNGDER PGA. KLIMAÆNDRINGER	35
9.2 EFFEKTER I RECIPIENTER	35
10 KYSTNÆRE KOMMUNER	37
11 PROCESSEN I ARBEJDET	39
12 VURDERING AF KLIMAÆNDRINGERS BETYDNING FOR OVERSVØMMELSER – ET EKSEMPEL FRA ODENSE	41
13 REFERENCER	47

Forord

Nærværende rapport omhandler, hvordan afløbssystemer vil blive påvirket af forøgede regnmængder under de forventede ændrede klimaforhold. Rapporten giver vejledning i hvordan udbygning af afløbssystemer skal planlægges, dimensioneres og analyseres så systemerne lever op til stillede funktionskrav. Rapporten giver endvidere vejledning i hvordan effekt af ekstremregn skal håndteres, således at skader fra oversvømmelser minimeres.

Rapporten er tænkt at skulle danne grundlag for et efterfølgende arbejde med at lave en egentlig vejledning til de danske kommuner.

Rapporten er udarbejdet sammen med ”Katalog for tilpasning af afløbssystemer som følge af klimaændringer”. Dette katalog skal også indgå i vejledningen af kommuner.

Rapporten er udarbejdet af DHI - Institut for Vand og Miljø og PH-Consult med input fra Peter Steen Mikkelsen, DTU.

Projektet er udført i perioden september - november 2005.

Der har været nedsat en følgegruppe bestående af:

Povl Frich, Miljøstyrelsen
Ditte Holse, Miljøstyrelsen
Mogens Kaasgaard, Miljøstyrelsen
Kristian Friis, DANVA
Niels Bent Johansen, Københavns Energi
Niels Aagaard Jensen, NIRAS

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

Rapporten er finansieret af Miljøstyrelsen

Sammenfatning og konklusioner

Det er i samfundets interesse at beskytte befolkningen og samfundsværdier mod de skader og omkostninger, som kan følge af overbelastning af afløbssystemer. De klimascenarier, som eksisterer i dag, indikerer at nedbørsforholdene over Danmark forventes at ændre sig signifikant. Det er derfor vigtigt at afløbssystemerne i tide forberedes til at kunne håndtere de forventede forøgede nedbørsmængder, således at der sker en forsvarlig og sikker håndtering af regn- og spildevand i henhold til dansk funktionspraksis, samtidig med at den økonomiske investering optimeres.

Denne rapport omhandler design og drift af afløbssystemerne under hensyntagen til mulige fremtidige klimaforhold og ekstreme regnhændelser. Ekstreme regnhændelser forventes at øges i hyppighed, intensitet og varighed under fremtidige klimaforhold, derfor kræver disse speciel opmærksomhed, da de potentielt kan forårsage store skader på samfundsværdier.

Baggrund og formål

I de seneste årtier har globale klimaændringer vakt betydelig international opmærksomhed. I den forbindelse er der i videnskabelige kredse verden over enighed om, at menneskets udledning af drivhusgasser er en afgørende årsag til den globale opvarmning. En brat opbremsning af kulstofudledning vil ikke kunne eliminere følgeeffekterne af de allerede udledte drivhusgasser, og klimaforandringer bliver af den grund betragtet som uundgåelige.

For at imødekomme disse fremtidige udfordringer på klimaområdet har miljøministeriet udgivet pjecen: Miljø-tema nr. 28, 2004, hvori aktører opfordres til at indtænke kommede klimaforandringer i deres beslutninger. Desuden har Teknologirådet afholdt borgerhøringer, hvor tilpasning til klimaændringer i form af stigende havspejl var i fokus. Endelig har en ATV rapport fra 2003: ”Effekter af klimaændringer – tilpasninger i Danmark” konkluderet omkring videnbehov på området klimaændringer og afløbssystemer:

- Afløbsanlæg bør allerede i dag opgraderes ved nyanlæg og renovering til de forventede fremtidige nedbørsforhold.
- Det bør overvejes, om der kan udvikles nye metoder til dæmpning og reducere af spidserne af overfladeafstrømning i byerne
- På baggrund af fremtidige nedbørforhold bør der fastlægges et nyt grundlag for dimensionering af afløbssystemer. Dette grundlag anvendes ved nyanlæg og ved opgradering i forbindelse med renovering af eksisterende anlæg.

Der findes ikke i dag en anerkendt metode til at tage højde for klimaeffekter i forbindelse med dimensionering af afløbssystemer. Det er derfor op til hver enkelt kommune på hvilken måde der tages højde for klimaeffekter. Derfor er formålet med denne rapport, at give de danske kommuner et sæt samlede anbefalinger til hvordan de kan håndtere og modgå de forventede effekter på afløbssystemer fra klimaændringer.

Rapporten

Undersøgelsen beskriver en systematik for, hvordan kommuner kan arbejde med at reducere klimaændringers negative effekter på danske afløbssystemer. Yderligere behandler undersøgelsen principper for håndtering af ekstreme regnhændelser, som forventes at øges i antal og styrke som følge af klimaændringer.

Undersøgelsen er afrapporteret i to dokumenter, som henholdsvis beskriver hovedprincipperne for håndtering af afløbssystemer under påvirkning af klimaændringer og ekstreme regnhændelser, samt et dokument som beskriver de tiltag en kommune kan gennemføre for at reducere skader på samfundsværdier, som følge af de forøgede dimensionsgivende regnmængder pga. klimaændringer.

Hovedkonklusioner

Klimaændringer forventes at ville forøge antallet af hændelser med kraftig sommerregn i Danmark og klimaændringer forventes at medføre et forøget havspejl i de danske farvande. Disse forhold vil få indflydelse på funktionen af afløbssystemerne.

Håndtering af klimaændringer kræver helhedsbetragtninger, som inddrager flere typer af planer i kommunerne. Dette kræver en koordineret indsats af de ansvarlige myndigheder i kommunerne.

Når der kommer vand på terræn/oversvømmelser, som følge af ekstremregn så skal der foretages en bevidst håndtering af dette vand. Det anbefales at foretage en problemidentifikation på tre niveauer:

- Niveau 1: Analyse af, om klimaændringer vil give anledning til overskridelse af nuværende funktionskrav.
- Niveau 2: Overskrides nuværende funktionskrav for nye designregn baseret på prognoser for fremtidige klimaændringer vurderes hvor stor vanddybden og udbredelsen bliver på terræn, samt hvor stor en evt. skade som følge af overskridelsen vil være.
- Niveau 3: Kommer der signifikante vandmængder på terræn, foretages en vurdering af evt. skader og planlægges en håndtering af vandet på terræn. Denne vurdering indgår i en planlægning af, hvornår afløbssystemet bør tilpasses, så det kan håndtere den ekstra nedbør pga. klimaændringer.

Når en problemidentifikation er gennemført, så kan en prioritering af problemerne foretages f.eks. ved hjælp af en risikoanalyse.

Er kommunen i besiddelse af en plan for arbejdet med klimaændringer, så kan kommunen følge den. Er kommunen ikke i besiddelse af en plan for arbejdet med klimaændringer, så anbefales det at planen indeholder følgende hovedpunkter, hvor der tages hensyn til klimaændringer:

1. Planlægning og design af nye afløbssystemer.
2. Vedligehold og udbygning af eksisterende afløbssystemer.
3. Håndtering af eksisterende ledningsstrækninger hvor der pt. ikke er planlagt vedligehold eller udbygning.

Projektræsultater

Prognoser for klimaændringer

Der arbejdes i Danmark med tre ligestillede klimascenarier: A2, B2, EU2°C. Pt. er der kun data tilgængelige for scenarium A2 i en opløsning, som er tilstrækkelig god til at data kan anvendes indenfor afløbsteknikken. På baggrund af klimascenarium A2, er det beregnet at den dimensionsgivende regn i Danmark vil ændre sig som følge af mulige og forventede klimaændringer. Ifølge klimascenarium A2 forventes de dimensionsgivende en-times regnintensiteter at blive ca. 20-50 % større.

Kystnære kommuner skal være opmærksomme på den forventede havspejlsstigning i de danske farvande, som potentielt kan resultere i forøgede opstuvninger i afløbssystemet og forøgede infiltrationsmængder.

Studier i udlandet i relation til klimaændringer og afløbssystemer

I udlandet er der gennemført analyser på enkelte byer af betydningen af klimaændringer (Semadeni-Davies et al. 2005, UK WIR, 2003), men der findes endnu ikke i Europa officielle undersøgelser, som angiver retningslinier for hvordan de lokale myndigheder skal håndtere effekterne på afløbssystemer fra klima ændringer. Studier fra Helsingborg by, Sverige viser at effekterne af klimaændringer kan få betydelige konsekvenser, hvis byen vokser som forventet og myndighederne fortsætter med "Business as usual". Men studiet viser også at effekten af klimaændringer kan elimineres gennem: aktiv reduktion af impermeable arealer tilsluttet afløbssystemet; separering af afløbssystemet; etablering af vådområder og reduktion af spildevandstilledninger.

Planlægning af håndtering af klimaændringer

Effekter af klimaændringer vil få indflydelse på etablering, drift og vedligeholdelse af de kommunale klokker og renseanlæg. Nedenfor er angivet de administrative dokumenter som klimaeffekter direkte kan få indflydelse på/bør indgå i:

1. Den kommunale spildevandsplan.
2. Kloakfornyelsesplanen.
3. Risikovurdering/ekstrem regnanalyse.
4. En kommunal beredskabsplan.
5. Øvrig planlægning, kommuneplan, lokalplaner, planer for vandkvalitet, mv.

Da der vil indgå flere typer af planer, så vil arbejdet med klimaændringer kræve en koordineret planlægningsindsats fra kommunens side. Klimaændringer forventes at foregå over en lang tidshorison, men deres størrelsesorden og det deraf følgende behov for investeringer, gør at det vil være optimalt at analysere konsekvenserne for afløbssystemerne nu – og derefter løbende foretage en bevidst prioritering, håndtering og implementering af tiltag som mindsker potentielle fremtidige skader på samfundet som følge af klimaændringers effekter på afløbssystemerne.

Problemidentifikation i relation til klimaændringers effekter på afløbssystemer

Det anbefales at foretage en problemidentifikation af effekterne fra klimaændringer på tre niveauer:

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

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

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

Når en problemidentifikation er gennemført, så kan en prioritering af problemerne foretages f.eks. ved hjælp af en risikoanalyse.

Håndtering af ekstremregn

En følge af klimaændringerne i klima scenarium A2, er at ekstremregn (regn ud over funktionskravet) vil forøges i antal og intensitet. Arbejdet med at reducere klimaeffektens negative virkninger på afløbssystemer vil have til formål at reducere mulige skader på samfundsværdier - enten ved at reducere oversvømmelsernes omfang eller ved at reducere skaden gennem klog forvaltning af potentielle oversvømmelser. Det er et vigtigt punkt her, at vandet på terræn nogle gange i sig selv ikke forårsager uforholdsmæssigt store skader. Man bør dog altid tilstræbe, at oversvømmelser selv i sådanne force majeure situationer sker så kontrolleret som muligt. Ligeledes anbefales det, at man har informeret og har aftaler med de berørte grundejere, hvis der kalkuleres med sådanne oversvømmelser.

Belastningen fra skader fra oversvømmelser kan reduceres ved at reducere skadens hyppighed eller omfang. Reduktionen af skader kan bestå af et eller flere elementer, herunder:

- a. Reduktion af oversvømmelsers omfang.
- b. Reduktion af interaktion med oversvømmelsen.
- c. Regulering af, hvilke områder som oversvømmes.
- d. Varsling af oversvømmelser.
- e. Beredskab til håndtering af oversvømmelser.

Reduktion af effekterne fra klimaændringer

De forventede større nedbørsmængder i byerne skal enten bortledes eller magasineres på en måde som er miljømæssig og økonomisk optimal. Der findes i dag en lang række tekniske muligheder til at løse denne udfordring. Disse tiltag kan inddeles i tre hovedgrupper:

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

Disse tiltag beskrives og vurderes detaljeret i ”Katalog for tilpasning af afløbssystemer som følge af klimaændringer”.

Andre kilder

Miljøstyrelsen – Miljø- og Energiministeriet (v. Arnbjerg-Nielsen, K.) (2005). Klimaeffekters betydning for ekstremregn og dermed funktionen af afløbssystemer – litteraturstudie. Arbejdsrapport 2005. In prep.

Parkinson, J., Mark, O. (2005). “Urban Stormwater Management in Developing Countries”. Publisher: “The International Water Association” (IWA). ISBN:1843390574.

Summary and conclusions

In Denmark three climate change scenarios have been selected for the analyses related to climate changes, i.e. A2, B2, and EU2C. The likely occurrences of three scenarios are considered to have an equal probability.

The Danish EPA has initiated a proactive investigation on how the Danish municipalities in a cost efficient way, can mitigate the impact of climate changes on sewer systems. The management and mitigation of the impacts of climate changes demand a holistic and integrated planning process across departments in the municipalities, as more types of legislative procedures will be affected compared to today's work flow.

Analyses of the expected climate change scenarios have revealed that the number of high intensity rain fall events will increase during the summer and that the mean sea level in the Danish waters will increase as well. Both of these phenomena may have an influence on the performance of the sewer systems and hence their impacts must be clarified through analyses.

Estimates of impacts from climate changes are proposed to be carried out on three levels. After the impact assessment, the problems should be prioritized e.g. by use of risk assessment tools. Based on the findings the municipalities must develop a plan for timely management and mitigation of the impacts from climate changes. The plan should contain descriptions of how and when climate changes are analysed and managed for:

- Planning and design of new sewer systems.
- Existing sewers where maintenance and reconstruction are already planned.
- Existing sewers where no maintenance and reconstruction are scheduled today.

A case study (based on a real project) has been carried out for a catchment in the city of Odense, Denmark. The case study illustrates the impacts in terms of flooding from potential climate changes (Scenario A2). Further, it demonstrates analyses of a flood mitigation strategy for the catchment.

The strategic decision from the Danish EPA to develop a mitigation strategy for climate changes has resulted in a set of guide-lines for the Danish municipalities. This set of guide-lines provide the Danish municipalities with the means to develop a timely and cost efficient strategy for coping with climate changes and their impacts on sewer system.

1 Afløbssystemer og klimaændringer, projektafgrænsning

Det er i samfundets interesse at beskytte befolkningen og samfundsværdier mod de skader og omkostninger, som kan følge af overbelastninger af afløbssystemer. De klimascenarier, som vi har i dag for perioden 2071-2100, viser at nedbørsforholdene over Danmark vil kunne ændre sig signifikant. Denne rapport handler om afløbssystemernes funktionspraksis nu og i fremtiden dvs. både håndtering af fremtidige 5- og 10 års regnsituationer (som knytter sig til dansk funktionspraksis) og håndtering af ekstremregnsituationer, som også forventes at øges i antal og intensitet under fremtidige klimaændringer og som derfor kræver speciel opmærksomhed.

At arbejde med klimaændringer i relation til afløbssystemer betyder at der i tillæg til den traditionelle analyse og håndtering af afløbssystemer, nu også skal arbejdes med et ekstra bidrag til afløbssystemet, som er behæftet med en usikkerhed, hvilket afløbsteknikere generelt ikke er vant til at håndtere. Viden om klimaændringers effekt på nedbøren over Danmark vil øges efterhånden som klimadata indsamles og modellerne forbedres. Om en årrække vil de nuværende klimamodeller være forbedret, og der vil eksistere et bedre videngrundlag til at beskrive den forventede variation i inputparametre, f.eks. hvordan CO₂ udslippet har ændret sig, og hvordan den forventede globale opvarmning vil udvikle sig. Derfor vil scenarierne for den fremtidige nedbør over Danmark også ændre sig løbende og den ansvarlige myndighed vil kunne forventes med jævne mellemrum at stille den nyeste viden til rådighed.

Arbejdet med anvendelse af klimascenarier vil derfor skulle integreres i den løbende planlægning og drift af danske afløbssystemer. Denne rapport kan ses som endnu et skridt på vejen i udviklingen af en vejledning til håndtering af danske afløbssystemer i relation til klimaændringer.

1.1 KLIMAEFFEKTER I PLANLÆGNINGSPROCESSEN

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

Spildevandsplanen

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

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

Kloakfornyelsesplanen

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

Risikovurdering og analyse af ekstremregn

Med den eksisterende dimensionering regnes normalt med fuldtløbende rør hvert eller hvert andet år. Med den nye funktionspraksis fra Spildevandskomiteen skal der sikres mod opstuvning til terræn hyppigere end hvert 5. eller hvert 10. år, for henholdsvis fælles- og separatkloakerede afløbssystemer. Der er ikke i lovgivningen et formelt krav om at vurdere ekstremregn, der ligger ud over disse hyppigheder, f.eks. en 50 eller 100- års regnhændelse. Kommunerne og deres rådgivere har dog ofte i praksis, afhængigt af, hvilket område der kloakeres, anvendt sådanne ekstremberegninger eller mere kvalitative vurderinger af ekstremregn. Men ekstremberegninger er ikke alle steder anvendt på en generaliseret og formaliseret form.

I lyset af forventede klimaeffekter i form af større ekstremregn vil det være hensigtsmæssigt at vurdere betydningen af ekstremregn for afløbssystemet - herunder at vurdere eventuelle skader som følge af opstuvning af vand.

Beredskabsplanen

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

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

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

Der er ikke tale om at stille krav om en fuld beredskabsplan, men alene at vurdere betydningen af ekstremregnsituationer, som input til en beredskabsplan.

Øvrig planlægning, kommuneplan, lokalplaner, planer for vandkvalitet mv. Klimaeffekter kan også få indflydelse på den øvrige planlægning, særligt kommuneplan, lokalplaner, planer for vandkvalitet mv. Det er vigtigt også at indtænke effekter af klimaændringer og ekstremregn i regionsplaner på stadierne før detaljerede spildevandsplaner udarbejdes. I forbindelse med udarbejdelsen af spildevandsplanen er kommunerne pligtige til at forholde sig til den øvrige planlægning og sikre overensstemmelse. Således vil kommuneplaner og lokalplaner kunne være styrende for spildevandsafledning, særligt mht. tilladelige befæstelsesgrader. Ligeledes bør kommunen forholde sig til betydningen af mere ekstremregn for vandkvaliteten i recipienter. Det skal her bemærkes, at tidshorisonterne i klimascenarierne på 50 - 100 år ligger langt udover tidsplaner i både spildevandsplaner og de kommende vandplaner efter Vandrammedirektivet, som opererer med tidshorisonter på 15 til 30 år.

Arbejdet med klimaændringer vil kræve en koordineret planlægningsindsats fra kommunens side. Herefter kan arbejdet med detaljer i håndteringen af klimaændringer påbegyndes, jf. Miljøministeriets pjece: Miljø-tema nr. 28, 2004. Klimaændringer foregår over en lang tidshorizont, men deres størrelsesorden og det deraf følgende behov for investeringer, gør at det vil være optimalt at analysere konsekvenserne for afløbssystemerne nu – og derefter løbende foretage en bevidst prioritering, håndtering og implementering af tiltag som mindsker potentielle fremtidige skader på samfundet som følge af klimaændringers effekter på afløbssystemernes effektivitet.

1.2 PROJEKTAFGRÆNSNING

Fokus for denne rapport er effekten af klimaændringer på afløbssystemer i form af kraftige nedbørhændelser og deraf følgende potentielle oversvømmelser.

I det tidsrum, som klimaberegningerne fra DMI dækker, kan der forventes at ske en væsentlig udvikling i vandkvaliteten i afledt regnvand og spildevand, f.eks. som følge af ændringer i brændstofsammensætning, spildevands-sammensætning fra husholdninger og krav til industrielle udledninger.

Det ligger udenfor denne rapports rammer at gennemgå effekter af klimaændringer på afløbssystemer i relation til spildevandets sammensætning, udledninger fra afløbssystemer og resulterende forureningspåvirkning af recipienter. Projektet beskriver derfor kun på overordnet niveau, effekten af klimaændringer på overløbsmængder og fysiske effekter i recipienter.

Det ligger ligeledes uden for rammerne af nærværende rapport at gennemgå alle hydrologiske processer, som interagerer med afløbssystemerne. Konsekvenser for afløbssystemerne af mulige ændringer i grundvandsstanden og af mulige ændringer af vandstanden i havene (havsspejlsændringer) beskrives kun på et overordnet niveau. Endelig ligger det uden for projektets rammer at vurdere klimaændringers effekter i vandløb, fjorde, mm og de deraf følgende effekter i afløbssystemerne.

2 Scenarier for fremtidens klima

2.1 SCENARIER FOR FREMTIDIGE KLIMAÆNDRINGER

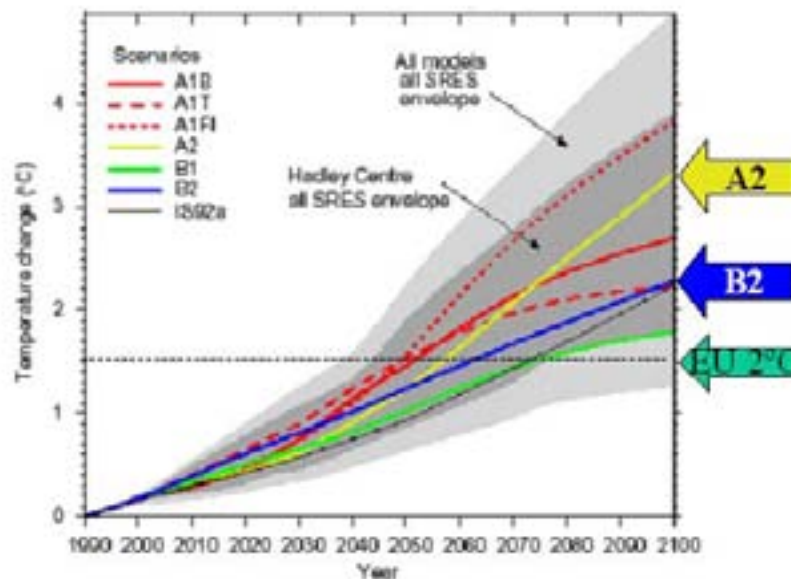
Der arbejdes i Danmark pt. med 3 klimascenarier beregnet af DMI. Fra officiel side er det meddelt at de tre scenarier er ligestillede. Det drejer sig om klimascenarierne:

A2 som beskriver en heterogen verden med lokalt forankret udvikling, hvilket resulterer i en fortsat stigning i verdens befolkningstal. Økonomisk udvikling foregår primært på regionalt plan, og økonomisk vækst samt teknologisk forandring er mere fragmenteret og sker langsommere end i de øvrige scenarier.

B2 som beskriver en verden, hvor hovedvægten lægges på lokale løsninger, som er økonomisk, socialt og miljømæssigt bæredygtige. Det er en verden med et fortsat stigende globalt befolkningstal, men i en lavere takt end i *A2*, med mellemniveauer i økonomisk udvikling og med mindre hastig og mere forskelligartet teknologisk forandring end de øvrige scenarier.

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

De tre scenarier er vist i figur nr. 1. Det skal bemærkes at de tre klimascenarier er rimeligt ens indenfor de første 30-50 år, hvorefter forskellene mellem scenarierne udvikler sig.



Figur 1. Udviklingen af de tre ligestillede globale klimascenarier, (A2, B2 og EU2°C), som er grundlaget for klimaarbejdet mht. afløbssystemer i Danmark.

Tabel 1. Ændringer i Danmarks klima frem til 2071-2100 (i forhold til middel af perioden 1961-1990) for de tre ligestillede klimascenarier

<i>Klimascenarium</i>	<i>A2</i>	<i>B2</i>	<i>EU2°C</i>
Land			
Årsmiddeltemperatur	+3,1°C °	+2,2°C	(+1,5°C)
Årsnedbør	+9%	+8%	(+4%)
Sommernedbør (JJA)	-15%	-7%	(-7%)
Max døggnedbør (JJA)	+21%	+20%	(+10%)
Hav			
Middelvind (DJF)	+4%	+2%	(+2%)
Max stormstyrke (DJF)	+10%	+1%	(+5%)
Max stormflod ved Vestkysten	+0,45-1,05 m	?	(+0,2-0,5 m)

Kilde: DMI. Alle tal viser afvigelse fra perioden 1961-90. () er foreløbige tal

Tabel 1 indeholder foreløbige tal for EU2°C scenariet i parenteser. Disse tal er fremkommet ved en simpel nedskalering af A2 og B2 scenarierne. Danmarks Meteorologiske Institut (DMI) og Miljøstyrelsen planlægger at gennemføre et projekt, som forsøger at etablere et robust klimascenarium, der modsvarer EU's målsætning om, at den menneskeskabte påvirkning af den globale middeltemperatur ikke må overstige 2°C i forhold til det forindustrielle niveau. Dette konsoliderede scenarium vil tidligst foreligge i maj 2006.

2.2 DATAGRUNDLAGET FOR ANALYSEN AF KLIMAÆNDRINGERS EFFEKTER PÅ AFLØBSSYSTEMER

Datagrundlaget som er brugt i denne rapport til at se på fremtidens klimaændringer, og deraf følgende nedbørsforhold over Danmark er A2 scenariet produceret af DMI. DMI's scenarier dækker i alt 30 år, perioden 2071-2100. Det er derfor kun muligt at udtale sig om den tidsmæssige udvikling i regnintensiteter frem til 2071 i generelle, kvalitative vendinger. Det ville være yderst relevant at kende den forventede udvikling af regnintensiteter i den nære fremtid (f.eks. de næste 30 år), men den information er pt. ikke til disposition.

I Danmark benyttes traditionelt en lang tidsserie af regnhændelser (adskillige år) til at analysere overløb fra afløbssystemer, men der eksisterer på nuværende tidspunkt (december 2005) ikke en accepteret dansk metode til at omregne tidsserier fra DMI's klimamodel direkte til tidsserier af regn, som kan anvendes til analyse af overløb fra afløbssystemer. Derfor vil projektet ikke analysere klimaændringers effekter på overløb, men blot komme med en beskrivelse af den nødvendige viden for at kunne lave detaljerede analyser af overløbsmængder under fremtidige klimapåvirkninger.

2.3 KLIMAÆNDRINGERS EFFEKTER I DE DANSKE FARVANDE

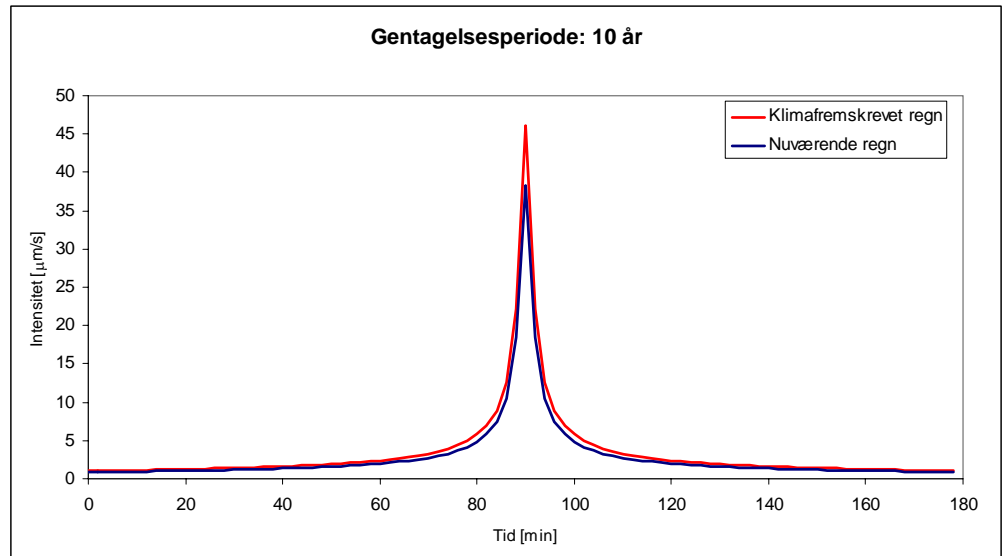
De globale klimaændringer forventes at få indflydelse på vandstandene i de danske farvande. Ændrede vandstande kan få indflydelse på forholdene i afløbssystemerne. De seneste vurderinger fra Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2001) viser en forventet havspejlsstigning på 0,09 - 0,88 m frem til år 2100. Kystdirektoratet anvender gennemsnittet af de otte IPCC-prognoser, når der vurderes konsekvenser af denne havspejlsstigning. Den forventede havspejlsstigning bliver med disse forudsætninger på henholdsvis 7 cm, 15 cm og 36 cm for de kommende 25, 50 og 100 år. Disse stigninger gælder for hele landet. For klimascenariet A2 forventes at ekstremterne i form af udsving om denne middelvandstand bliver i en størrelsesorden af plus 10-40 cm i forhold til i dag (ATV, 2003).

2.4 KLIMAÆNDRINGERS EFFEKTER PÅ NEDBØR OVER DANMARK

Ifølge DMI's klimaprognoser forventes i løbet af dette århundrede både en ændret årsfordeling af nedbør og ændrede intensiteter af de enkelte regnhændelser. Der forventes en signifikant vækst i de ekstreme nedbørsmængder og regnintensiteter, specielt om sommeren. I DMI's klimascenarium A2 (for perioden: 2071-2100) bliver årsnedbøren lidt større og de kraftige regnhændelser om sommeren bliver flere og kraftigere. Sommernedbøren forventes dog totalt set at blive lidt mindre.

Med klimamodellerne er nedbøren beregnet som en-times nedbør for arealer på 12x12 km og 25x25 km både for kontrolperioden 1961-1990 og for scenarieperioden 2071-2100. Der i en række projekter på DTU foretaget en sammenligning af ekstremstatistikken for en-times nedbøren for de to perioder i forskellige dele af landet. Disse sammenligninger viser en betydelig variation i den klimabetingede ændring af nedbør fra sted til sted. Størstedelen af denne forskel formodes at skyldes naturlig variabilitet i klimamodellen og det er derfor usikkert hvad den reelle udvikling i nedbøren er. I gennemsnit for de betragtede områder er der i fundet en stigning i nedbøren på 20-50% for

klimascenarium A2, men for delområder er der fundet stigninger fra 10-90% - uden at denne variation har kunnet forklares. Den bedste anbefaling i dag må derfor være at gange den nuværende dimensioneringsregn (gentagelsesperioder 5 og 10 år) med en faktor svarende til dette, dvs. en faktor 1.2-1.5. En nuværende og en klimafremskrevet 10 års CDS regn for Odense ses på figur 2.



Figur 2. Nuværende dimensionsgivende og klimafremskrevet 10 års CDS regn for Odense. Tidskridt = 2 minutter. Klimafaktor = 1.2. Den klimafremskrevne regn er baseret på scenariet A2.

3 Klimaændringer og afløbssystemer

De forventede ændrede nedbørsforhold og havspejlsstigninger vil, som det fremgår af denne rapport, få stor betydning for planlægning og udbygning af afløbssystemer i de kommende år. Afløbssystemer etableres generelt med lang forventet levetid og er både vanskelige og kostbare at ændre eller udbygge, så det vil være fordelagtigt at inddrage viden om de fremtidige forhold så hurtigt som muligt. Herved kan risikoen for fejlinvesteringer minimeres, og det kan sikres at samfundet har velfungerende afløbssystemer, også i fremtiden.

Danske afløbssystemer forventes fremover at skulle leve op til de i Spildevandskomiteens Skrift 27 formulerede funktionskrav, som er formuleret således:

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

Disse krav er minimumskrav og kommunerne må gerne beslutte at ville leve op til supplerende og/eller skrapere krav.

Det slås fast i skriftet, at det er de faktiske forhold i oplandene, der er afgørende, dvs. de konstaterede opstuvningshyppigheder, og det pointeres, at der ved dimensionering og analyser af afløbssystemer skal tages hensyn til de forventede fremtidige ændringer i klimaet, herunder naturligvis især ændringer i nedbørsforhold og recipientvandspejl, således at systemet i hele den forventede levetid lever op til de stillede funktionskrav.

I byområder, hvor afløbssystemet er designet svarende til skriftet, vil der fra tid til anden forekomme opstuvning af vand på terræn nogle steder. Afhængigt af regnhændelsen kan der blive tale om betydelige mængder vand. Konsekvenserne af dette bør vurderes, og der bør tages passende forholdsregler, så skader og ulemper begrænses mest muligt (jf Spildevandskomiteens Skrift 27, hvor der bl.a. står: ”Kommunen bør vurdere omfang af skader ved overskridelse af de fastsatte funktionskrav.”)

4 Effekter på danske afløbssystemer

Klimaændringers effekter på danske afløbssystemer, skal ses som en del af helheden af håndteringen af spildevand og regnvand. Dvs. vurdering af klimaeffekter bør inkluderes i design og renoveringsopgaver, på lige fod med analyser af udviklingen i impermeable arealer, ændrede spildevandsmængder tilsluttet afløbssystemet og analyser af konsekvenserne (i form af samfundsmæssige skader) f.eks. i forbindelse med nedbrud af pumper.

Traditionel dansk praksis inden for design og drift af afløbssystemer betyder, at systemerne i dag mange steder har større kapacitet end mindstekravet i SVK Skrift 27. Dette medfører, at en del afløbssystemer muligvis vil fungere uden oversvømmelsesproblemer under fremtidige klimaforhold.

Problemstillingerne om klimaændringers effekter på overløbsmængder og infiltration/eksfiltration til afløbssystemer behandles på overordnet niveau i afsnit 9.

En lokal analyse af effekten af klimaændringers effekt på afløbssystemet bør først og fremmest afdække, om nuværende designkriterier/designkapacitet og funktionskrav overskrides som følge af klimaforandringer. En sådan analyse kræver ikke nødvendigvis avancerede metoder eller modeller, men valg af metode og model afhænger af de lokale forhold og kompleksiteten af afløbssystemet. I nogle tilfælde kan en analyse af opstuvet vand på terræn baseret på en terrænmodel være nok til en vurdering af, om dette vil medføre skadevirkninger. De fleste tilfælde kræver en traditionel analyse med modeller af afløbssystemet, som f.eks. en MOUSE model, som i visse tilfælde med fordel kan udbygges med en beskrivelse af strømmingen af vand på terræn.

I de tilfælde, hvor klimaændringer medfører opstuvning af vand på terræn/oversvømmelser, bør kommunen lave en vurdering af oversvømmelsens omfang, konsekvenser og eventuelle skader. Der anbefales derfor analyser af effekter af klimaændringer på følgende niveauer for eksisterende anlæg:

1. Niveau 1: Analyse af, om klimaændringer vil give anledning til overskridelse af nuværende funktionskrav.
2. Niveau 2: Overskrides nuværende funktionskrav for nye designregn baseret på scenarier for fremtidige klimaændringer vurderes hvor stor vanddybden og udbredelsen bliver på terræn, samt hvor stor en evt. skade som følge af overskridelsen vil være.
3. Niveau 3. Kommer der signifikante vandmængder på terræn, foretages en vurdering af evt. skader og planlægges en håndtering af vandet på terræn – se afsnit 7. Denne vurdering bør indgå i en planlægning af, hvornår afløbssystemet skal tilpasses, så det kan håndtere den ekstra nedbør pga. klimaændringer.

De tre analyseniveauer er beskrevet i detaljer i ”Katalog for tilpasning af afløbssystemer som følge af klimaændringer”. Uanset om der kommer flere oversvømmelser som følge af klimaændringer eller ej, så vil de nuværende designkapaciteter for mange afløbssystemer overskrides på et eller andet

tidspunkt i systemets levetid, og der vil kunne komme vand på terræn. Kloakforsyningen bør derfor løbende forholde sig til konsekvensen af en overskridelse af kriterierne i Spildevandskomitéens Skrift 27.

4.1 HÅNTERING AF VAND PÅ TERRÆN UNDER EKSTREMHÆNDELSER

Danske afløbssystemer dimensioneres i henhold til Skrift 27, se tabel nr. 2. Når der falder større regnmængder (f.eks. som følge af klimaændringer), så er der risiko for at der kommer vand på terræn. I sådanne tilfælde bør der foretages en bevidst håndtering af dette vand (som enten kan være regnvand eller en blanding af regn- og spildevand) – se afsnit 7.

Tabel 2. Minimumsfunktionskrav angivet som tilladelig gentagelsesperiode, samt anbefalet værdi for fuld udnyttelse af rørkapacitet ved dimensionering (Gengivet fra Skrift 27).

Arealanvendelse	Minimumsfunktionskrav. Gentagelsesperiode (år) for opstuvning til kritisk kote. Terræn.
Fælleskloakerede bolig- og erhvervsområder	10
Separatkloakerede bolig- og erhvervsområder	5

Ved dimensionering med beregningsniveau 1 anbefales det at anvende følgende værdier for fuld udnyttelse af rørkapacitet. Disse værdier skønnes for et normalt forekommende afløbssystem at svare til ovenstående minimumskrav.

Arealanvendelse	Anbefalet værdi af gentagelsesperiode for fuld udnyttelse af rørkapacitet. ved dimensionering med beregningsniveau 1.
Fælleskloakerede bolig- og erhvervsområder	2
Separatkloakerede bolig- og erhvervsområder	1

Der er i sagens natur stor forskel på betydningen af oversvømmelser. Under force majeure situationer (dvs. meget ekstrem regn, der ligger udenfor et normalt dimensioneringsgrundlag (som angivet i Tabel 2) er nogle oversvømmelser mindre uacceptable, hvis vandet i sig selv ikke forvolder skade, f.eks. mindre vanddybder på en afgrænset parkeringsplads. Større vanddybder på terræn kan i andre tilfælde også "være det mindst ringe", hvis vandet i sig selv ikke forvolder skade og befolkningen er informeret i god tid og på passende måde om, hvordan de bør forholde sig – således at personer ikke påfører sig selv eller andre skader, ved f.eks. at prøve at forcere en oversvømmet viadukt.

Det vigtige punkt her er, at vandet på terræn nogle gange i sig selv ikke forårsager uforholdsmæssigt store skader. Man bør dog altid tilstræbe, at oversvømmelser selv i sådanne force majeure situationer sker så kontrolleret som muligt. Ligeledes anbefales det, at man har informeret og har aftaler med de berørte grundejere, hvis der kalkuleres med sådanne oversvømmelser.

Belastningen af skader fra oversvømmelser kan reduceres ved at reducere skadens hyppighed eller omfang. Reduktionen af skader kan bestå af et eller flere elementer, herunder:

1. Reduktion af oversvømmelsers omfang.
2. Kontrol over, hvilke områder som oversvømmes.
3. Varsling af oversvømmelser.
4. Beredskab til håndtering af oversvømmelser.

Reduktion af oversvømmelsens omfang kan f.eks. opnås ved:

- Aktiv reducere af tilstrømning af regnvand til afløbssystemet, f.eks. gennem forøget nedsivning af regnvand.
- Midlertidig, kontrolleret opmagasinering af regnvand, f.eks. brug af vådområder og lavninger.
- Tiltag i afløbssystemet, som forøger kapaciteten, f.eks. større rør, forsinkelsesbassiner, mm.
- Start af pumper og tømning af rør enten helt eller delvist, når et kraftigt regnvejr varsles.
- Styring af overløbsbygværker, så opstuvning i afløbssystemet reduceres.

Afløbssystemet kan således forberedes til at kunne håndtere den kraftige regn. Metoder til reduktion af oversvømmelser er gennemgået i detaljer i ”Katalog for tilpasning af afløbssystemer som følge af klimaændringer”.

Kontrol over, hvilke områder som oversvømmes kan opnås ved brug af planlægningsværktøjer. Det kan således planlægges at en del af regnafstrømningen til et afløbssystem tilbageholdes i opstrøms vådområder. Når regnen er slut og vandet nedstrøms er afstrømmet, så frigives vandet langsomt fra de oversvømmede områder. Opstrøms kan områder således bruges aktivt, som buffer for afløbssystemet. Alternativt kan overfladevandet bevidst ledes hen på steder, hvor det forårsager minimale skader, f.eks. *hvis det er acceptabelt* på parkeringspladser, på sportspladser, i parker og lignende steder - eller direkte til vandløb/recipienter. Hvis oversvømmelser genereres på sådanne områder, skal kommunen/kloakforsyningen sikre, at dette sker på kontrolleret og forsvarlig vis, at der informeres om dette og at der er aftaler herom med berørte grundejere. Arealer, der udlægges til kontrollerede oversvømmelser, kan evt. indarbejdes i byplanlægningen, så der samtidig opnås en rekreativ gevinst for borgerne.

Varsling af oversvømmelser er nyttig på steder, hvor der kommer til at stå vand på terræn, som potentielt kan forvolde skade. Der kan være tale om skilte som automatisk tændes, når vandstanden når et vist niveau eller når en kraftig regnhændelse varsles. Varsling kan f.eks. anvendes ved viadukter, så disse steder afspærres i god tid før oversvømmelsen er så stor, at folk kan komme i fare under forsøg på at forcere vandet.

Beredskab til håndtering af oversvømmelser vil indebære, at kommunen er i besiddelse af en relevant handlings- og beredskabsplan, som kan effektueres når ekstrem regn (f. eks. en 25-, 50- eller 100- års regnhændelse) varsles/forekommer. En beredskabsplan kan udarbejdes på baggrund af tidligere erfaringer med oversvømmelser og/eller på baggrund af modelsimuleringer af ekstremhændelser. Når en oversvømmelse varsles eller er en realitet, så iværksættes beredskabsplanen, f.eks. etablering af omkørsler, start af nødpumper, etablering af nødstrømforsyning, evakuering af borgere, mm.

5 Dokumentation af det eksisterende afløbssystem

Kommunen bør *dokumentere* den nuværende funktion af afløbssystemet, da det uden denne dokumentation ikke er muligt at forholde sig tilstrækkelig præcist til, hvordan afløbssystemet vil fungere under kommende ekstreme regnhændelser.

Funktionen af afløbssystemet kan dokumenteres ved hjælp af målinger af vandstand, vandføring og oversvømmelser, gerne i kombination med modellering af afløbssystemet. Hvis hovedvægten af dokumentationen af afløbssystemets funktion består af modelberegninger, så anbefales det at der anvendes samme usikkerhedsbetragtning som i Skrift 27. Dokumentation af større oversvømmelser kan evt. også foretages ved at spørge borgere, slamsugerfirmaer eller ved brug af remote sensing, f.eks. i form af satellitbilleder - taget i situationer med vand på terræn.

Det anbefales desuden, at kommunen *kommunikerer* nuværende funktionsniveau og kommunens servicemål til borgerne og går ind i en dialog med borgerne om servicemål for kloaksystemet, f.eks. som det anbefales af DANVA i ”Kommunen Kommunikerer Kloak”, (DANVA, 2005). Denne kommunikation med borgerne bør indeholde emnerne:

- Hvad kloakforsyninger er ansvarlig for mht. afledning af spildevand og regnvand.
- Hvad husejere selv kan gøre for at reducere vand i kælder, mm.
- Hvad kloakforsyningen gør for at mindske risikoen for vand i kældre og for oversvømmelser.

Mål for kommunikationen med borgerne er bl.a. at opnå reduktion af gener og økonomiske udgifter for borger og kommune, samt at opnå en gensidig accept af mål og serviceniveau for afløbssystemet.

6 Planlægning og tiltag

De forventede større nedbørmængder i byerne skal enten kunne bortledes eller magasineres for at undgå oversvømmelser. Eventuelt kan en del af vandet nedsive lokalt, så det ikke ledes til afløbssystemet. Der findes en lang række tekniske muligheder til at løse dette. Der kan f.eks. nedlægges større eller supplerende rør og der kan bygges bassiner til magasinering. Alle disse indgrebsmuligheder beskrives og vurderes detaljeret i ”Katalog for tilpasning af afløbssystemer som følge af klimaændringer”. Hovedgrupperne af indgrebsmuligheder er:

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

Planlægningen og håndteringen af spildevand og regnvand under ekstreme regnhændelser, skal koordineres mellem de relevante instanser i kommunen. Koordineret planlægning og håndtering af spildevand og regnvand betyder, at kommunen aktivt forholder sig til samspillet mellem afløbssystem, veje, byanvendelse, recipienter, renseanlæg, m.m.. Der er således her tale om både koordination af planlægning og design af den fysiske infrastruktur og af driften af systemerne.

Integreret forvaltning af vand i byen bør involvere alle dele af serviceinstitutioner, forvaltninger og infrastruktur, som er i berøring med byens spildevand og regnvand. Udover kloakforsyningen vil dette blandt andet inkludere byplanlægningen og vej-, miljø- og havnemyndigheder.

6.1 PRIORITERING AF TILTAG

For at kunne foretage en hensigtsmæssig planlægning af rækkefølgen af udbygninger af et afløbssystem er det væsentligt at gennemføre en systematisk gennemgang og vurdering af afløbssystemets funktion under kraftig belastning, dvs. gennemføre en del af en risikoanalyse. Herved kan kritiske punkter i systemet identificeres og der kan på et velbelyst grundlag foretages en prioritering af indgreb og udbygninger. Afløbssystemet gennemregnes f.eks. med en ekstrem regn (f.eks. en 50 eller 100 års regn, se ”Katalog for tilpasning af afløbssystemer som følge af klimaændringer”) og resultaterne vurderes. Det kan herudfra afgøres, hvor forholdene er specielt kritiske, og hvad der kan gøres for at forebygge skaderne som følge af oversvømmelser. Gennemførelsen af en risikoanalyse beskrives detaljeret i ”Katalog for tilpasning af afløbssystemer som følge af klimaændringer”.

7 Håndtering af regnvand på terræn

7.1 SAMFUNDSMÆSSIGE KONSEKVENSER AF OVERSVØMMELSER

Det er svært præcist at kvantificere omkostningerne fra oversvømmelser i bymæssig bebyggelse. Traditionelt deles skader pga. opstuvet vand på terræn ind i tre kategorier:

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

En metode til at finde omkostningerne relateret til oversvømmelser i bymæssige bebyggelser er at indsamle information om dokumenterede oversvømmelser fra forsikringsselskaber, som det f.eks. er gjort i Norge (König et al. 2002) og Danmark (DANVA, 2005).

Gader og veje vil nogle steder transportere vand under regnhændelser, hvor afløbssystemets kapacitet overskrides. Det er i disse situationer vigtigt her at kende estimater på vanddybder, vandhastigheder og have viden om, hvor vandet flytter sig hen. Bemærk i øvrigt at veje oftest er designet til at bortlede regnvand hurtigt og effektivt, så når der forekommer signifikante mængder vand på veje er det muligvis i konflikt med det oprindelige design af vejen. Viser en analyse, at en vej under fremtidige klimaforhold vil blive oversvømmet ofte, så bør det hensigtsmæssige i dette forhold afklares med vejmyndigheden. Evt. kan vejens konstruktion tilpasses.

Det anbefales, at følgende indgår i en bevidst håndtering af situationer, hvor der falder regnmængder, som er ud over kravene for afløbssystemet i henhold til funktionskravene:

1. At det i videst mulig udstrækning undgås at befolkningen bringes i kontakt med en blanding af spildevand og regnvand på terræn, som følge af overfyldte kloakker.
2. At vitale samfundsfunktioner, f.eks. el-forsyning, vandforsyning, varmforsyning, vitale kommunikationsknudepunkter og adgangsveje til hospitaler, ikke sættes ud af funktion pga. vand på terræn.
3. At der foretages en økonomisk overvejelse af hvilke samfundsmæssige værdier, som går tabt når der forekommer på vand på terræn. Dette kan evt. gøres ved hjælp af en risikoanalyse – se afsnit 6.
4. At der defineres og etableres et nødvendigt beredskab til at håndtere ekstremhændelser, som giver anledning til større skader på samfundsværdier.

8 Optimering af driften

I dag anvendes realtidsinformation om kraftige regnhændelser med efterfølgende oversvømmelser kun i begrænset omfang i Danmark. Det skyldes formodentligt, at der ikke accepteres hyppige oversvømmelser med gener for boliger, erhverv og infrastruktur, og at større oversvømmelser historisk set er sjældne.

I Danmark eksisterer der i dag vejrradarer, som forudsiger og observerer regn – men disse er hidtil kun i begrænset omfang blevet anvendt operationelt i forbindelse med afløbssystemer.

I udlandet anvendes forudsigelser af regn mange steder til at reducere omkostningerne forbundet med oversvømmelser, f.eks. kan kloaksystemet tømmes delvist før regnen kommer eller trafikradio kan bruges til at informere befolkningen om byområder med risiko for oversvømmelser.

Forudsigelse af regn og oversvømmelser kan både anvendes for regnhændelser, som forekommer hyppigt med mindre gener og for ekstremhændelser, som måske har større omkostninger. Det er vigtigt, at relevante myndigheder varsler/informerer hurtigst muligt, således at et beredskab kan iværksættes.

Forudsigelse af regn og oversvømmelser er ikke nævnt i skrifterne fra Spildevandskomitéen, og den metode skal derfor ses som et supplement til skrifterne – for på et tidligt tidspunkt at iværksætte beredskabet til at håndtere og reducere skader fra kraftig regn og deraf følgende oversvømmelser. Hvis en analyse viser, at der i et område vil forekomme oversvømmelser med en vis hyppighed, som vil forvolde store skader under fremtidige klimaforhold, så kan etablering af et varslingsystem til den tid måske være med til at reducere skadernes omfang, indtil en ny infrastruktur er bygget. Omkostningerne ved at etablere og drive et varslingsystem bør således sammenlignes med reduktion i hyppighed og omfang af skader.

9 Påvirkning af recipienter

9.1 ÆNDRERE OVERLØBSMÆNGDER PGA. KLIMAÆNDRINGER

I afløbssystemer med minimal infiltration, hvor der er overløbsbygværker, som hyppigt er aktive, vil antallet af overløbshændelser til en vis grad følge udviklingen i antallet af kraftige sommerregn.

I afløbssystemer med betydelig infiltration, og hvor der er overløbsbygværker, som hyppigt er aktive, vil det være svært at udtale sig om antallet af overløb og overløbsmængder. Den forøgede vandstand i havet, kan i kystnære områder ændre grundvandsstanden, således at infiltrationen til afløbssystemet bliver større. Den modsatte effekt på infiltrationen - i form af mindsket grundvandsstand og forøget ex-filtration – er også en mulighed. Alternativt kan en sænket grundvandsstand medføre mindre vand i vandløb, (sommer-udtørring) i perioder, hvor overløb er særligt kritiske for vandløb. Der er her tale om en kompleks problemstilling, hvor det er nødvendigt at analysere de nuværende og kommende grundvands- og infiltrationsvandmængder - før ændringen i antal overløb og overløbsmængder kan vurderes.

9.2 EFFEKTER I RECIPIENTER

Effekten af klimaændringerne i recipienterne bør vurderes gennem en analyse af de forøgede overløb fra afløbssystemet, sammenholdt med effekten i recipienten – jævnfør: Larsen, T. et al. 2002.

Vurderingen af effekterne i recipienterne skal ske med udgangspunkt i myndighedernes målsætning for recipienterne (vandområdeplanerne). Potentielt negative effekter kan være følgende:

1. Hygiejnisk forurening, som kan overføre sygdomme til mennesker og dyr.
2. Udledning af organisk stof, som kan medføre iltvind og/eller belaste gydebanker.
3. Udledning af næringssalte, som kan medføre eutrofiering i søer og fjorde.
4. Udledning af stoffer med toksiske effekter, herunder miljøfremmede stoffer (bl.a. tungmetaller, pesticider, olie, ammoniak, svovlbrinte osv.), som vil kunne medføre forringelse af biologiske forhold i recipienten.
5. Hydraulisk overbelastning, som kan medføre erosion og oversvømmelse.
6. Aflejring af slam og andre sedimenter fra afløbssystemet.
7. Æstetisk påvirkning ved afsætning af flydestof på vandløbsbrinker.

10 Kystnære kommuner

Kommuner bør ved projektering og vedligehold af kloakker i kystnære områder forholde sig til den forventede havspejlsstigning, som følge af klimaændringer.

En forøget vandstand i de danske farvande kan have følgende effekter med betydning for afløbssystemer, som påvirkes af vandstanden i havet:

- Hævet grundvandsspejl, som kan forøge infiltrationen i utætte afløbssystemer – med følgende potentielle konsekvenser: forøgede overløb, forøgede oversvømmelser, forøgede mængder af fortyndet spildevand til renseanlæg.
- Tilledning af saltvand til renseanlæg. Oversvømmelser af havvand som ledes bort helt eller delvist via afløbssystemet, kan bl.a. betyde, at spildevandsslammet ikke sedimenteres med samme effektivitet, som tidligere.
- Forøget tilbagestuvning i afløbssystemet, som kan resultere i oversvømmelser og/eller forøgede overløb.
- Hævet grundvandsspejl, som kan få betydning for fundering af spildevandskonstruktionerne med hensyn til opdriftssikring mm.
- Mere vand i åerne kan i kombination med højere havspejl påvirke afløbssystemerne i de kystnære kommuner, hvilket kan påvirke såvel rensningsanlæg som recipientvandspejl.

Effekterne i afløbssystemet af en forøget vandstand i de indre danske farvande kan analyseres med en hydrodynamisk model af afløbssystemet, hvor nuværende randbetingelser i form af vandstande ved udløb og overløbsbygværker erstattes med de vandstande, som anbefales af Kystdirektoratet på baggrund af det valgte klimascenarium. Analyserne foretages ellers som i dag i henhold til Skrift 27.

11 Processen i arbejdet

Vurderingen af klimaændringers effekter på danske afløbssystemer vil være en kontinuert proces, hvor ny information om klimaprognoser og deres usikkerhed vil blive opdateret og stillet til rådighed for kommunerne, efterhånden som den bliver tilgængelig. Det forventes her, at ny information om klimaændringer vil være mindre justeringer af eksisterende klimascenarier og f.eks. en bedre opløsning af den geografiske variation af nedbøren over Danmark. Imidlertid kan mere drastiske scenarier ikke udelukkes, hvorfor den generelle anbefaling er at følge de ansvarlige myndigheders råd.

Har kommunen udarbejdet en plan for arbejdet med klimaændringer i relation til afløbssystemer, så anbefales det at det checkes at denne plan som minimum indeholder følgende:

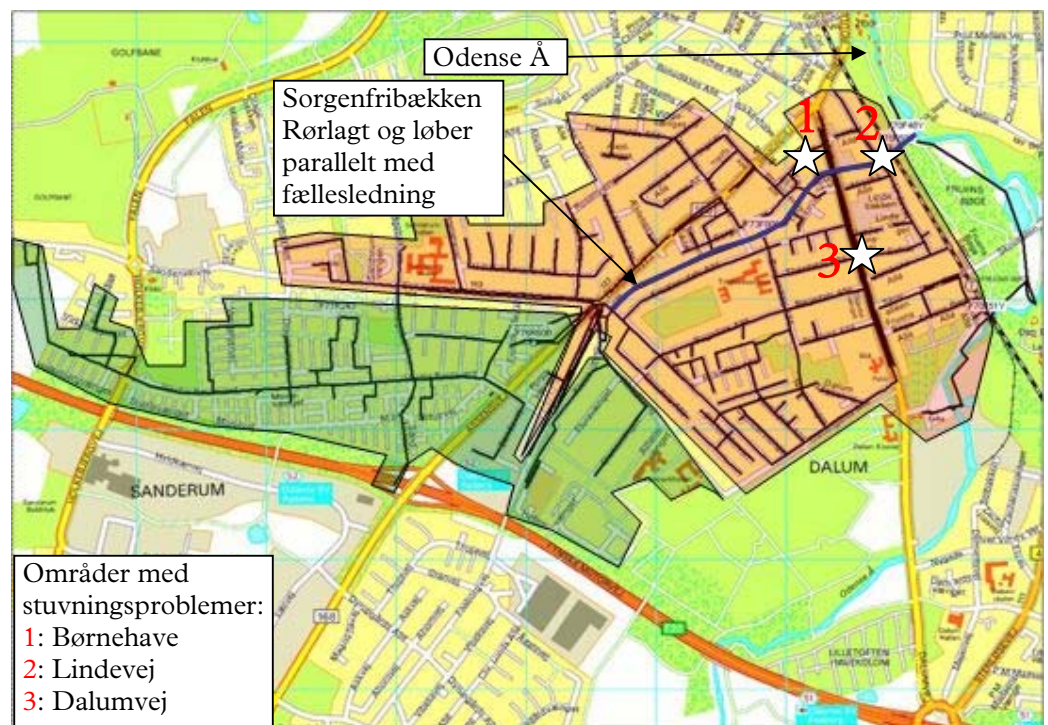
1. Beskrivelse af hvordan planlægning og design af nye afløbssystemer foretages under hensyntagen til klimaændringer.
2. Beskrivelse af principper for udførelse af planlagt vedligehold, renovering og fornyelse af eksisterende afløbssystemer under hensyntagen til klimaændringer.
3. Beskrivelse af hvornår og hvordan analyser vil blive foretaget for eksisterende ledningsstrækninger, hvor der pt. ikke er planlagt vedligeholdsarbejde under hensyntagen til klimaændringer.

Har kommunen *ikke* allerede udarbejdet en plan for arbejdet, så anbefales retningslinierne nedenfor:

1. *Planlægning og design af nye afløbssystemer under hensyntagen til klimaændringer*
Nye ledningsstrækninger dimensioneres efter den til enhver tid gældende funktionspraksis inkl. hensyntagen til klimaændringer.
2. *Planlagt vedligehold og renovering af eksisterende afløbssystemer under hensyntagen til klimaændringer*
Ledningsstrækninger, som allerede nu er planlagt til at blive renoveret inden for en overskuelig fremtid (f.eks. indenfor de kommende 10 år), dimensioneres, når renovering finder sted, under hensyntagen til det på renoveringens tidspunkt, bedste bud på klimaændringer (i systemets levetid) deraf følgende ændrede nedbørsforhold og ændrede vandstande i de danske farvande.
3. *Eksisterende ledningsstrækninger hvor der pt. ikke er planlagt udbygning*
Det anbefales at ledningsstrækninger som ikke allerede i dag er dimensioneret med hensyntagen til klimaændringer og hvor der pt. ikke er planlagt udbygning inden for de kommende 10 år, indenfor en periode på 5 år analyseres for om klimaændringer, vil give anledning til at deres funktionskrav overskrides. Vil der ske en overskridelse af funktionskrav i henhold til Skrift 27, anbefales det at der planlægges udbygning således at kravene i Skrift 27 overholdes.

12 Vurdering af klimaændrings betydning for oversvømmelser – et eksempel fra Odense

I dette eksempel demonstreres betydningen af udviklingen i ekstremregn for et opland i Odense. Oplandets geografiske placering er vist på figur 3. Oplandet ligger omkring Assensvej umiddelbart nord for motorvejen og afgrænses i øvrigt af Odense å mod øst. Gennem oplandet løber det rørlagte vandløb Sorgenfribækken. Vandløbet afvander regnvand til Odense Å fra det separat kloakerede opland samt vejvand fra enkelte områder i det fælleskloakerede opland i F7. Oplandet er delvist separat kloakeret og inklusiv et opstrømsliggende separatkloakeret opland er arealet på 273 ha (87 ha red). Det fælles kloakerede opland er på 178 ha (50 ha red). I oplandet er der allerede nu under kraftig regn flere steder problemer med opstuvning på terræn.

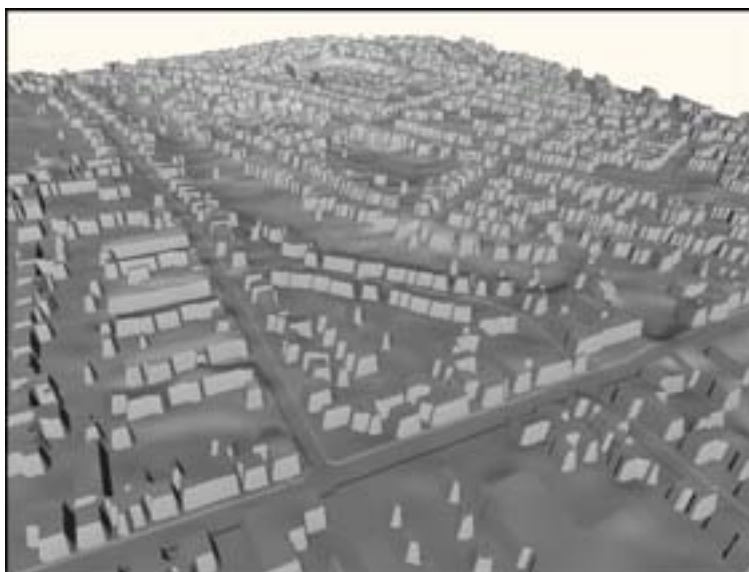


FIGUR 3. OPLAND F7 I ODENSE. SEPARATSYSTEMET ER VIST MED GRØN SKRAVERING, MENS FÆLLESSYSTEMET ER VIST MED ORANGE SKRAVERING. STJERNE ANGIVER OMRÅDER MED OPSTUVNINGSPROBLEMER.

Modelopstilling

Modelberegninger gennemføres med en koblet afløbs- og overflademodel (MOUSE – koblet med MIKE 21), hvor oversvømmelser på terræn synliggøres. Der foretages beregninger med CDS regn med gentagelsesperioder på 10, 50 og 100 år. Afløbsmodellen beskriver forholdene i afløbssystemet, mens MIKE 21 beregner strømningsforhold og vanddybde

på terræn. De to modeller kører samtidigt og udveksler under beregningen dynamisk information om transport af vand fra afløbssystem til terræn og vice versa. Overflademodellen er baseret på en digital terrænmodel med en grid størrelse på 2x2 meter. Den dækker et areal på 1,1x1,2 km se figur 5. Den digitale terræn model som anvendes i beregningen er vist i figur 4.



Figur 4. Digital terrænmodel for opland F7.



Figur 5. Beregningsområde for overflademodel, samt afløbsmodellen. Rød angiver de brønde i afløbsmodellen (MOUSE), der er koblet til overflademodellen (MIKE 21).

På figur 6 ses opstuvningerne i oplandet for de nuværende forhold for gentagelsesperiode på 10, 50 og 100 år. Beregningerne viser, at der er problemer med opstuvninger generelt i afløbssystemet. Målsætningen er ikke opfyldt primært omkring Lindevej, Dalumvej og langs den afskærende ledning parallelt med Sorgenfribækken. Af hensyn til sammenligning med udbygningsforslag er foretaget en referenceberegning, hvor det nuværende systems funktion beregnes med samme forudsætninger som anvendes ved beregning af udbygningsforslag. Dvs. der er regnet med en faktor på 1,2 på regnen for at tage hensyn til statistisk usikkerhed samt yderligere en faktor på 1,2 på regnen for at tage hensyn til klimaforandringer. Dvs. i alt en faktor

1,44. Resultatet disse beregninger er vist på figur 7. Den ændrede forudsætning, hvor tilstrømningen er øget med 44% medfører markante forværringer af forholdene.

Et løsningsforslag for den centrale del af oplandet består i at udbygge afløbssystemet med:

- 200 m ny Ø1200 ledning
- 650 m ny Ø1600 ledning
- Et nyt bassin med et volumen på 4000 m³

Effekten af disse tiltag beregnes med modelsystemet. Opstuvningen efter etableringen ses på figur 8. Arealer med opstuvningsproblemer er ikke helt undgået men der er sket markante forbedringer og der kan herudfra arbejdes videre med yderligere udbygningsforslag. I tabel 3 ses hvor store arealer der er oversvømmet i de forskellige beregningstilfælde.

Tabel 3. Oversvømmet areal for eksisterende og udbygget system.

Gentagelsesperiode /Oversvømmet areal	Eksisterende system [m ²]	Udbygget system [m ²]
T = 10 år	10 300	4 100
T = 10 år m. klimafremskrivning	14 400	5 600
T = 10 år m. klimafremskrivning & sikkerhedsfaktor	21 500	10 000
T = 50	22 300	11 400
T = 100	28 900	14 700
T = 50 år m. klimafremskrivning & sikkerhedsfaktor	41 800	26 400
T = 100 år m. klimafremskrivning & sikkerhedsfaktor	48 900	31 600



Figur 6. Oversvømmede områder med *eksisterende* ledningsnet. Beregning er gennemført for gentagelsesperioder på 10 (rød), 50 (blå), 100 (orange) år.



Figur 7. Oversvømmede områder med *eksisterende* ledningsnet. Beregning er gennemført for gentagelsesperioder på 10 (rød), 50 (blå), 100 (orange) år. Der er anvendt en sikkerhedsfaktor på 1.2, samt en klimafaktor på 1.2. (Klimascenarium A2).



Figur 8. Oversvømmede områder ved *udbygget* ledningsnet. Beregning er gennemført for gentagelsesperioder på 10 (rød), 50 (blå), 100 (orange) år. Der er anvendt en sikkerhedsfaktor på 1.2, samt en klimafaktor på 1.2 (Klimascenarium A2).



Figur 9. Vanddybder i oversvømmede områder ved eksisterende ledningsnet. Beregning er gennemført for en gentagelsesperiode på 50 år *uden* hensyntagen til sikkerhedsfaktorer og klimaeffekter.

I tabel 4, er vist den beregnede maksimale vanddybde på to udvalgte lokaliteter, hvoraf den ene er en parkeringsplads ved en børnehave, og på figur 9 er vist et eksempel på et kort med vanddybder i de oversvømmede områder. Dette kan være et centralt hjælpemiddel til vurdering af omfanget af skader fra oversvømmelser.

Tabel 4. Maksimum vanddybde på terræn i udvalgte punkter i oplandet for eksisterende og udbygget system.

Gentagelsesperiode / Vanddybde på terræn	Eksisterende system [cm]		Udbygget system [cm]	
	Børnehave	Dalumvej	Børnehave	Dalumvej
T = 10 år	58	0	0	0
T = 10 år m. klimatemskrivning	71	17	0	0
T = 10 år m. klimatemskrivning +sikkerhedsfaktor	84	27	0	0
T = 50 år	91	29	5	0
T = 100 år	99	35	7	9
T = 50 år m. klimatemskrivning +sikkerhedsfaktor	122	56	17	15
T = 100 m. klimatemskrivning +sikkerhedsfaktor	124	59	26	21

Tabel 5. Oversigt over antal bygninger berørt af oversvømmelsen.

Gentagelsesperiode og Klimaeffekt	Antal berørte bygninger - eksisterende system	Antal berørte bygninger - udbygget system
T = 10 år	20	8
T = 10 år m. klimafremskrivning +sikkerhedsfaktor	36	13
T = 50 år	37	15
T = 50 år m. klimafremskrivning +sikkerhedsfaktor	53	30
T = 100 år	50	22
T = 100 år m. klimafremskrivning +sikkerhedsfaktor	92	37

Resultatpræsentationerne viser hvordan den kombinerede modelanvendelse meget tydeligt kan illustrere udbredelsen og omfanget af oversvømmelsen. Dette kan være særdeles nyttig viden ved planlægning af tiltag til forebyggelse af oversvømmelser og ved planlægning af beredskab til afhjælpning af gener fra oversvømmelser. I tabel 5 ses antallet af bygninger berørt af oversvømmelserne for de forskellige scenarier. Det ses her at klimaændringer ifølge scenarium A2 forventes at få betydelige effekter på antallet af berørte bygninger. Samtidig ses at udbygningsforslaget afhjælper en stor del af skaderne, som kommer pga. klimaændringer. Ifølge Skrift 27 kræves det at kommunen undersøger hvordan afløbssystemer virker i situationer med overbelastning pga. ekstremregn. Til sådanne undersøgelser er det her beskrevne modelværktøj velegnet.

13 Referencer

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

Grum, M., Jørgensen A.T., Johansen, R.M. and Linde, J.J. (2005). The Effect of Climate Change on Urban Drainage: An Evaluation Based on Regional Climate Model Simulations. 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen, Denmark, August 2005

DANVA (2005). Kommunen Kommunikerer Kloak.
<http://www.danva-kkk.dk/>

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

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2001) "Climate change 2001, The scientific basis".

König, A., Sægrov, S., Schilling, W. "Damage Assessment for Urban Flooding". 9th International Conference on Urban Drainage, Portland, Oregon USA, September 8 -13, 2002.

Larsen, T. m.fl. (2002), Udledningskrav for regnbetingede udløb, Rapport fra "Udvalget vedrørende udledningskrav for regnbetingede udløb fra kloaksystemer til vandløb" til Spildevandskomiteén, Ingeniørforeningen i Danmark.

Miljøstyrelsen – Miljø- og Energiministeriet (2004). [Tilpasning til fremtidens klima](http://www.mst.dk/udgiv/Publikationer/2004/87-7614-179-9/html/default.htm). Miljø-Tema nr. 28, 2004.
www.mst.dk/udgiv/Publikationer/2004/87-7614-179-9/html/default.htm

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

Spildevandskomiteen (2005). "Skrift 27 - Funktionspraksis for afløbssystemer under regn".