

Vand i byer

Mark, Ole; Arnbjerg-Nielsen, Karsten

Published in:
Klimatilpasning af Danmark

Publication date:
2012

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Mark, O., & Arnbjerg-Nielsen, K. (2012). Vand i byer. I Klimatilpasning af Danmark: IDAs klimatilpasningsstrategi (s. 43-52). Ingeniørforeningen IDA.

DTU Library

Technical Information Center of Denmark

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

KLIMATILPASNING AF DANMARK

– IDAs KLIMATILPASNINGSTRATEGI

Marts 2012

FORORD

Nødvendig tilpasning til fremtiden

Det danske vejr bliver varmere, vådere – og meget mere ekstremt – lyder forudsigelserne. Vi kan bl.a. forvente flere oversvømmelser af danske byer fra regn og fra kraftige storme og højere havniveau. Kort sagt vil hele det hydrologiske kredsløb blive påvirket. Disse forhold vil have dybe konsekvenser for alle sektorer i det danske samfund, hvis vi ikke gør noget.

Danmark mangler i dag en effektiv strategi for, hvordan vi tilpasser os til de ændrede vejrforhold og beskytter vores fælles værdier imod skader. En handlingsorienteret national klimatilpasningsstrategi er derfor helt nødvendig, når klimatilpasning af Danmark skal foregå på den mest økonomiske og miljøvenlige måde.

Udover at forebygge mod følgerne af klimaforandringerne skal vi også arbejde på at reducere årsagerne til klimaændringerne. IDA har derfor udarbejdet både en klimaplan og en klimatilpasningsstrategi. I arbejdet med klimaplanen deltog IDAs medlemmer med viden og erfaringer fra både forskning, erhvervsliv og den offentlige sektor. IDAs Klimaplan 2050 indeholder således konkrete forslag til, hvordan Danmark kan reducere udledningen af drivhusgasser, og ad den vej bidrage til at reducere de forventede temperaturstigninger.

Desværre venter klimaforandringerne ikke på, at alle lande i verden vedtager planer for reduktion af drivhusgasser, ligesom en markant reduktion ikke alene afgøres af indsatsen i et enkelt lille land som Danmark, men af verdenssamfundets samlede indsats. Selvom verdenssamfundet i dag fastfrøes dets udledning af drivhusgasser, så vil klimaet stadig blive meget mere voldsomt. Klimatilpasning er derfor af allerstørste vigtighed.

IDAS klimatilpasningsstrategi er et konsistent og grundigt oplæg til klimatilpasning af alle sektorer i Danmark, og er udarbejdet af førende eksperter på området. Strategien indeholder vejledning i, hvordan vi i fællesskab kan tilpasse Danmark på den mest økonomiske og miljømæssigt optimale måde til at håndtere de fremtidige ændringer i vind, temperatur, regn og vandstand. Foruden konkrete anbefalinger lægger vi i strategien vægt på, at klimatilpasning også skal være et afsæt for erhvervs- og eksportmuligheder for danske virksomheder.

Jeg vil rette en stor tak til alle, der har bidraget til arbejdet med IDAs klimatilpasningsstrategi. Det er takket være deres indsats, at vi med denne strategi kan levere et kvalificeret indspil til de politikere og instanser, som i sidste ende har ansvaret for at udvikle og udføre en klimatilpasningsstrategi for Danmark.

Frida Frost
Formand

Ingeniørforeningen, IDA

INDHOLD

FORORD	3	Farvande, fysiske forhold og det marine vandmiljø	37
INTRODUKTION TIL IDAs KLIMATILPASNINGSTRATEGI	7	Interessentinddragelse	37
Prioritering og udvælgelse	7	Tværsæktorielle vurderinger	38
Arbejdsgruppen bag rapporten	7	Usikkerhedsvurderinger	38
		Overvågning/monitering	39
		Anbefalinger for rammebetingelser	40
RESUMÉ AF IDAs KLIMATILPASNINGSTRATEGI	9	VAND I BYER	43
DET FREMTIDIGE KLIMA I DANMARK	11	Klimaeffekter	44
Forventede klimaændringer i Danmark	12	Mulige klimatilpasningstiltag	45
Andre kilder til usikkerhed	14	Interessentinddragelse, usikkerheds- vurderinger og tværsæktorielle vurderinger ..	47
Klimatilpasningsstrategien fra marts 2008 – IDAs anbefalinger	15	Anbefalinger til rammebetingelser	50
STRATEGI FOR KLIMATILPASNING AF DANMARK ..	19	KLIMATILPASNING AF BYGGERIET	53
Usikkerheder omkring forudsigelse af klimaændringer	19	Klimaeffektens betydning for det byggede miljø	53
Involvering af interessenter	20	Mulige klimatilpasningstiltag	54
Nuværende danske anbefalinger skal udskiftes	20	Interessentinddragelse	61
Hvordan skal Danmark klimatilpasses?	21	Helhedssyn og systemtænkning	61
		Usikkerhedsvurderinger	62
		Tværsæktorielle vurderinger	62
VAND I DET ÅBNE LAND	25	TRANSPORTSEKTORENS KLIMATILPASNING	67
Klimaeffekter	25	Klimaeffekter	67
Vandmiljø	25	Mulige klimatilpasningstiltag	69
Vandforsyning	25	Interessentinddragelse	71
Mulige klimatilpasningstiltag	27	Tværsæktorielle vurderinger	71
Interessentinddragelse	27	Usikkerheders vurderinger	71
Tværsæktorielle vurderinger	28	Overvågning/monitering	72
Usikkerheder	28	Anbefalinger for rammebetingelser	72
Overvågning/monitering	29	FRA KLIMATILPASNING TIL EKSPORTPOTENTIALER	75
Anbefalinger til rammebetingelser	29	Fem omdrejningspunkter for vækst	75
HAVET OG KYSTEN	33	Klimatilpasningsbranchen, findes den?	78
Klimaændringer i det åbne hav og i de kystnære farvande	33	Verdensmarkedet og eksportpotentialet	80
Klimaeffekter	33	Klimatilpasning kan bidrage til vækst i arbejdspladser og eksport	80
Mulige klimatilpasningstiltag	36		

INTRODUKTION TIL IDAs KLIMATILPASNINGSTRATEGI

Mange ingeniører og cand.scient.er er sammen med planlæggere og arkitekter i deres daglige arbejde involveret i opgaver, hvor klimatilpasning er en vigtig parameter. Det gælder i forbindelse med dimensionering af broer, veje, baner, kystsikring, bygninger, kloakker, drikkevandsboringer, naturgenopretning og mange andre opgaver, hvor der skal tænkes i konstruktioner, som skal kunne holde i 20, 50 og 100 år.

I 2009 identificerede IDAs Klimaplan 2050 behovet for en dansk klimatilpasningsplan, dvs. et konsistent nationalt grundlag for de beslutninger, som bliver taget af entreprenører, kommuner og stat, hver gang et projekt bliver sat i gang. To fagtekniske selskaber IDA Miljø og Spildevandskomiteen, har derfor sammen med IDA Byg taget initiativ til at udarbejde en klimatilpasningsplan for Danmark. Planen er udarbejdet af ledende eksperter på området. Målet med planen er at tilpasse Danmark på den mest økonomiske og miljømæssige optimale måde til at håndtere de ændringer i vind, temperatur, regn, vandstand m.m., som vi kan forvente i fremtiden.

IDAs klimatilpasningsstrategi består dels af en overordnet strategi for, hvordan Danmark skal arbejde med klimatilpasning, dels af en mere tilbunds gående diskussion af de fem væsentligste indsatsområder for klimatilpasning i Danmark. De fem indsatsområder kan læses som selvstændige afsnit og indeholder en række anbefalinger på området samt forslag til konkrete tiltag. Rapporten indledes med en status på, hvad vi kan forvente af klimaforandringer i Danmark – både på kort sigt og på lang sigt.

Prioritering og udvælgelse

Det har været væsentligt i arbejdet at se konsekvenserne af klimaforandringer ud fra et helhedsperspektiv. De fem indsatsområder er derfor valgt tematisk: Det Åbne Land, Byerne, Kysterne, Bygningerne og Den Transportmæssige Infrastruktur.

Der kan skrives virkelig meget om klimatilpasning i Danmark. Emnet er stort og går på tværs af mange faggrupper. De fem indsatsområder er valgt, fordi det er der, hvor vi i Danmark bygger

og investerer på den lange bane. Områder, hvor klimaforandringer har betydning, men hvor vi i højere grad tager beslutninger med en kortsigtet konsekvens, fx en landmands valg af afgrøder, er ikke behandlet direkte i denne rapport, fordi denne type tiltag ofte foretages når behovet opstår. Der vil selvfølgelig være grænseområder, fx skovbruget, og her er emnernes relevans for IDAs klimatilpasningsplan vurderet på en sag til sag basis. En kortsigtet investering kan være vigtig, hvis den har relation til fx ekstreme hændelser. Det kan fx være sikring af IT, hvor oversvømmelser kan få fatale konsekvenser for fx sygehuse.

Arbejdsgruppen bag rapporten

Rapporten er udarbejdet af en arbejdsgruppe bestående af: Ole Mark, Hans Jørgen Henriksen, Ib Ferdinandsen, Karsten Arnbjerg-Nielsen, Michael Kenneth Quist, Morten Rugbjerg, Jens Christian Refsgaard, Niels-Arne Jensen og Karsten Mangor. Pernille Hagedorn-Rasmussen fra IDA har koordineret arbejdet i gruppen. Ole Mark, Spildevandskomiteen, IDA Miljø har været tovholder for hele forløbet. Gruppen har mødtes i perioden juni 2010 – november 2011.

Hvert kapitel har haft særligt ansvarlige: Det fremtidige klima i Danmark: Jens Christian Refsgaard; Strategi for klimatilpasning af Danmark: Ole Mark og Jens Christian Refsgaard; Vand i det åbne land: Jens Christian Refsgaard og Hans Jørgen Henriksen; Havet og kysten: Karsten Mangor, Morten Rugbjerg og Anders Erichsen; Vand i byer: Ole Mark og Karsten Arnbjerg-Nielsen; Klimatilpasning af byggeriet: Ib Ferdinandsen; Transportsektorens klimatilpasning: Michael Kenneth Quist og Ole Mark. Eksportpotentialer i klimatilpasning: Pernille Hagedorn-Rasmussen.

RESUMÉ AF IDAs KLIMATILPASNINGSTRATEGI

Når der tidligere blev dimensioneret infrastruktur, placeret anlæg, bebyggelse eller nye byområder i Danmark, antog man, at fremtiden blev som fortiden. Men forandringerne i jordens klima betyder, at vi i dag står vi i en situation, hvor det er utilstrækkeligt at bruge fortidens variationer til at tage beslutninger om dimensioneringen af fremtidig infrastruktur. IDAs klimatilpasningsstrategi tager derfor udgangspunkt i at beskytte det danske samfund mod fremtidens klimaændringer på baggrund af den viden, vi allerede har, og optimere både eksisterende og ny infrastruktur på baggrund af den viden, vi løbende får om klimaændringerne.

Målet med IDAs klimatilpasningsstrategi er at få tilpasset det danske samfund, således at:

1. De negative samfundsmæssige konsekvenser (bl.a. økonomiske, tekniske, sociale og andre følgevirkninger) af klimaforandringerne minimeres til et bevidst valgt niveau.
2. Der skabes tryghed hos borgerne om, at konsekvenserne af klimaforandringerne bliver identificeret, at der handles, og at borgernes synspunkter bliver hørt.
3. Klimatilpasning af det danske samfund gøres til en integreret del af planlægningsprocesser i Danmark.

Disse mål opnås gennem bevidste oplyste og dokumenterede valg om, hvordan vi håndterer konsekvenserne af klimaændringerne. Dette kræver, at vi kortlægger såvel alle de relevante effekter af klimaændringerne som den usikkerhed, vurderingerne er forbundet med. På baggrund af denne kortlægning skal der træffes "bevidste valg". *Det bevidste valg* om klimatilpasning består af følgende elementer:

1. Vurderinger af effekterne af klimaændringerne, og dermed også nytten af klimatilpasningstiltag, er behæftet med betydelige usikkerheder. Det er her en vigtig pointe, at der træffes et bevidst og dokumenteret valg (som også kan være ikke at gøre noget) på baggrund af erkendte usikkerheder.
2. Inddragelse af interessenter er væsentlig - både i forhold til identifikation af problemerne, og når det gælder vurdering af mulige klimatilpasningstiltag. Herved

gives der mulighed for at inddrage al relevant viden samt, ikke mindst, at opnå en høj grad af fælles forståelse for problemernes omfang og karakter.

3. Valg af klimatilpasningstiltag kan have virkninger, der er positive for én sektor, negative for en anden, og måske ukendte for en tredje sektor. Derfor er tværsektorielle vurderinger af afgørende betydning for at sikre samfundsmæssigt fornuftige og holdbare løsninger.
4. Håndtering af de ekstremesituationer, som klimaændringerne medfører, og som vi allerede oplever i dag. Uanset om der sker en effektiv tilpasning til de nye vejrfænomener vil der være situationer, hvor det ikke kan betale sig at "bygge sig til større sikkerhed". Derfor skal fysisk tilpasning af infrastruktur suppleres med "bløde tiltag" i form af forudsigende beredskab, varsling og information til borgerne om skadesreducerende handlinger.

Kernen i det bevidste valg er, at alle relevante effekter af klimaændringer kortlægges (inkl. usikkerhed), og at der foretages et dokumenteret valg af, hvad man vælger at gøre. Et bevidst valg af handling, kan således også være ikke at gøre noget i dag, men at vente på mere viden inden for området.

Klimatilpasning skal integreres i de eksisterende planlægningsprocesser i det danske samfund, og der skal fastsættes en tidsplan for, hvornår dette sker. Det vil sige: Klimatilpasning af samfundet skal være en del af den kontinuerte og rullende planlægning i stat og kommuner. Det er desuden vigtigt, at der sæt-

tes tidsrammer for udviklingen af klimatilpasningsplaner, så der er hånd i hanke med, hvornår hvad skal være gjort.

Der skal opbygges kompetencer indenfor klimatilpasning målrettet til dansk eksport. Det globale behov for klimatilpasning rummer et stort markedspotentiale, som danske virksomheder kan få del i.

Det afgørende er, at vi med hensyn til den danske infrastruktur får truffet bevidste beslutninger om klimatilpasning samt at beslutningerne træffes på et oplyst og dokumenteret grundlag, som regionale og lokale myndigheder og befolkningen har adgang til. Ved at implementere sådanne analyser i fx planloven kan man opnå, at der sker en hensigtsmæssig fremadrettet beskyttelse af nye og eksisterende værdier, ligesom sektorplanerne kan inddrages i planlægningen (herunder eksempelvis bygningsreglementet og spildevandsplanen).

IDAs forslag til en klimatilpasningsstrategi for Danmark tager fat i fem indsatsområder, hvor det primært handler om at bygge og investere på den lange bane. Andre områder, hvor klimaforandringer har betydning, men hvor vi i højere grad tager beslutninger med en kortsigtet konsekvens, fx en landmands valg af afgrøder, er ikke behandlet. Men der vil selvfølgelig være grænseområder, fx skovbrug, og her er emnernes relevans for IDAs klimatilpasningsplan vurderet på en sag til sag basis. Desuden kan en kortsigtet investering være vigtig, hvis den har relation til fx ekstreme hændelser. Det kan være sikring af IT og andet udstyr, hvor oversvømmelser kan få fatale konsekvenser for eksempelvis sygehuse eller andre samfundsvitale funktioner.

De fem indsatsområder er:

- Det åbne land
- Havet og kysterne
- Byerne
- Bygningerne
- Den transportmæssige infrastruktur

DET FREMTIDIGE KLIMA I DANMARK

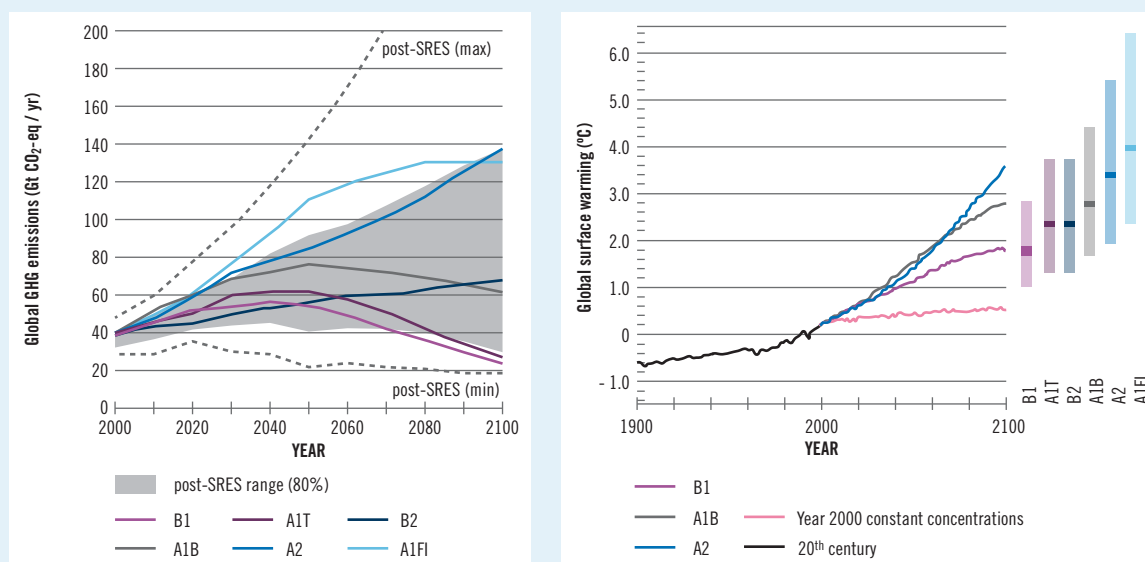
Mange forskellige data fortæller os, at jordens klima altid har varieret. Men der er ingen tvivl om, at klimaet netop nu er i færd med at ændre sig med en hastighed, der ikke er set tidligere. Hvordan ser fremtidens klima så ud? Det afhænger bl.a. af de fremtidige udledninger af drivhusgasser, og her arbejdes der med en række forskellige scenarier for udviklingen af jordens klima.

Figur 1 illustrerer den beregnede fremtidige udvikling af jordens middeltemperatur for seks forskellige scenarier for udledning af drivhusgasser. Beregningerne af jordens klima, under forskellige fremtidsscenarioer, foretages ved hjælp af globale klimamodeller (Global Climate Model – GCM). Forskellige GCM'er giver forskellige klimafremskrivninger, hvilket er illustreret af søjlerne til højre på figur 1, som viser de beregnede usikkerheder af jordens fremtidige middeltemperatur.

Til beregning af klimaændringer over Danmark benyttes først en GCM, som foretager bereg-

ninger med horisontale beregningsceller på 200-300 km. Beregningsnettet, hvor Danmark repræsenteres af ganske få celler, er imidlertid for groft til at sige noget meningsfuldt om andet end middeltemperaturer. Der benyttes derfor som regel regionale klimamodeller (Regional Climate Model – RCM), som benytter randbetingelser fra en GCM til detaljerede simuleringer for en region, typisk med en opløsning på 12 eller 25 km. Et eksempel på en RCM er DMI's HIRHAM model, der til beregninger af det danske klima opstilles, så den dækker det meste af Europa og Nordatlanten.

Figur 1. Seks scenarier (B1, A1T, B2, A1B, A2, A1FI) for udledningen af drivhusgasser (figur til venstre) og tilhørende globale temperaturstigning (figur til højre). Højden af søjlerne yderst til højre er den usikkerhed, der er tilknyttet klimamodellernes beregninger for hvert enkelt udledningsscenario.



Kilde: FN's internationale Klimapanel

1. IPCC (2007) Rapporter fra FN's Internationale Klimapanel.
ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/contents.html

De emissionsscenarier for hvilke, der er foretaget mest detaljerede klimafremskrivninger for Danmark, er A2 og B2² samt A1B^{3,4}. Figur 1 viser, at forskellen mellem den globale middeltemperatur for de tre scenarier er meget lille indtil 2050, hvorefter forskellen gradvist øges frem mod år 2100. Men selv i år 2100 er usikkerheden på de enkelte scenarier væsentligt større end forskellen mellem middelværdierne af scenarierne (søjlerne til højre). Klimafremskrivninger af nedbør er væsentligt mere usikre, end når det gælder temperatur, og usikkerhederne øges generelt, jo finere opløsning der ønskes i tid og sted. Det vil sige, der vil være større usikkerhed på ændringerne i maksimal nedbørsintensitet på timebasis i et punkt, end der er på ændringer i årsnedbøren i hele Danmark.

IPCC arbejder i øjeblikket med den 5. hovedrapport, som forventes at udkomme i 2013/2014. I den forbindelse vil emissionsscenarierne fra den 4. hovedrapport (A1, A2, B1, B2, osv.) blive erstattet af fire såkaldte Representative Concentration Pathways (RCP8.5, RCP6.0, RCP4.5 og RCP2.6), som svarer til ændringer i nettoenergi balancen ved ydersiden af atmosfæren på henholdsvis 8,5, 6,0, 4,5 og 2,6 W/m² sammenlignet med den førindustrielle periode. Beregningerne vil endvidere blive foretaget med nyere versioner af klimamodeller end dem, der hidtil er blevet benyttet.

Forventede klimaændringer i Danmark

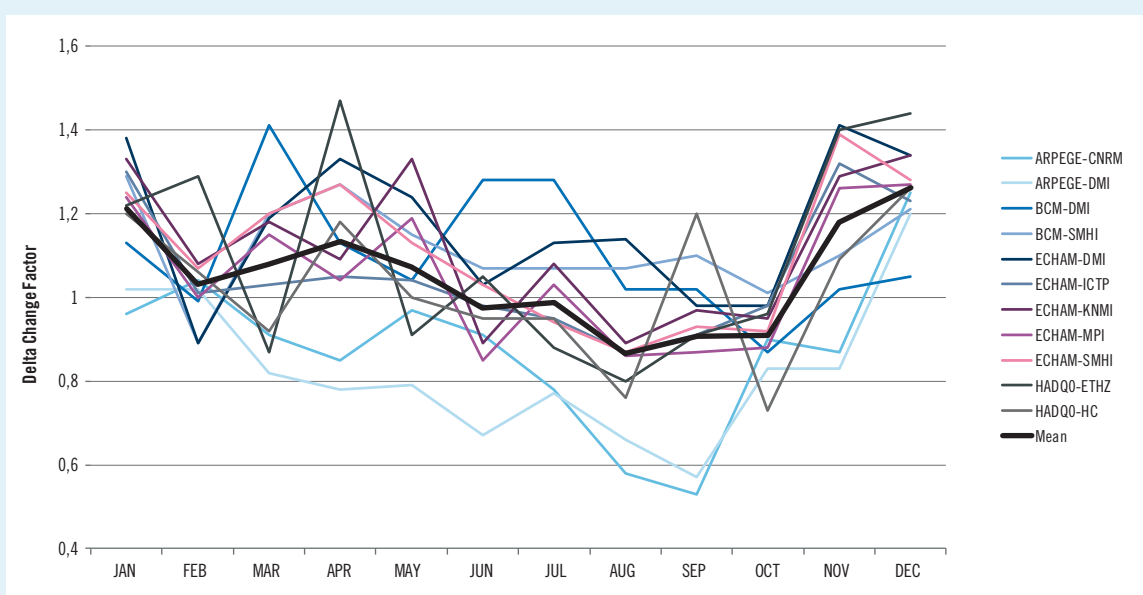
Resultaterne af klimafremskrivningerne for Danmark i det 21. århundrede viser betydelig usikkerhed med store variationer mellem de forskellige klimamodeller. Der er dog en klar fælles tendens med hensyn til udviklingen i temperatur. I slutningen af det 21. århundrede kan vi således forvente en øget middeltemperatur på 2-3 grader med varmere somre og mildere vintre.

Klimaændringernes effekt på nedbør er væsentligt mere usikker, idet nogle klimamodeller viser, at det fremtidige klima bliver mere tørt, mens andre viser et vådere klima. En analyse af resultater fra 11 GCM/RCM-kombinationer fra ENSEMBLES-projektet⁵ viser en meget stor spredning mellem de 11 modeller (Figur 2). For perioden 2071-2100 sammenlignet med 1991-2010 varierer den modelberegnete ændring i årlig nedbør fra -15 pct. for den tørreste klimamodel til +16 pct. for den vådeste model⁶. Hovedparten af modellerne viser dog en årlig øgning af nedbøren i størrelsesorden 5-10 pct., samt at nedbøren øges væsentligt i vinterhalvåret, mens den falder i sommermånederne. Samtidig vil fordampningen stige med ca. 10 pct. om året, så vintermånederne med stor sandsynlighed bliver mere våde, mens sommermånederne bliver mere tørre.

- Christensen JH, Carter TR, Rummukainen M, Amanatidis G (2007) Evaluating the performance and utility of regional climate models: the PRUDENCE project, *Climatic Change*, 81 Supl. 1, 1-6, doi:10.1007/s10584-006-9211-6
- van der Linden P, Mitchell JFB (eds) (2009) ENSEMBLES: climate change and its impacts. Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, Exeter.
- Boberg F (2010) Weighted scenario temperature and precipitation changes for Denmark using probability density functions for ENSEMBLES regional climate models. Danish Climate Centre Report, dmi.dk/dmi/dkc10-03.pdf

- dmi.dk/dmi/index/klima/klimamodeller/ensembles-projektet.htm eller ensembles-eu.org/
- Seaby LP (2011) Foreløbige resultater fra PhD studie finansieret af Det Strategiske Forskningsrådsprojekt HYACINTS (hyacints.dk). Ikke publiceret.

Figur 2. Ændringer i månedsnedbør for perioden 2071-2100 sammenlignet med 1991-2010 for 11 kombinationer af globale og regionale klimamodeller (GCM-RCM navne i boksen til højre) fra ENSEMBLES-projektet for klimascenarium A1B.



Kilde: Lauren P. Seaby, GEUS

Udover de sæsonmæssige ændringer i nedbørsmønstret kan det på grund af det varmere klima forventes, at nedbørsintensiteten for ekstremregn øges. Analyser af nedbør viser, at intensiteten af ekstremnedbør har været stigende gennem de sidste tre årtier⁷. IDAs Spildevandskomité har herudfra beregnet, at afløbssystemers dimensionsgivende nedbørshændelser for gentagelsesperioderne 2 år, 10 år og 100 år bør forhøjes med klimafaktorer på henholdsvis 1,2; 1,3 og 1,4 svarende til

2071-2100⁸. Nye analyser af fremskrivning af ekstremnedbør fra de forskellige GCM/RCM-kombinationer fra ENSEMBLES-projektet viser stor usikkerhed på de beregnede klimafaktorer⁹.

Klimaændringerne vil føre til havniveaustigninger, dels fordi havvandet udvider sig, når det bliver opvarmet, og dels fordi ismasserne over landområder (gletchere på fastland samt

7. IDA Spildevandskomiteen (2006) Regional variation af ekstrem regn i Danmark – ny bearbejdning (1979-2005). Skrift nr. 28.

8. IDA Spildevandskomiteen (2008) Forventede ændringer i ekstremregn som følge af klimaændringer. Skrift 29

9. Sunyer, M.A., Madsen, H., Ang, P.H., 2011, A comparison of different regional climate models and statistical downscaling methods for extreme rainfall estimation under climate change, Atmospheric Research, doi:10.1016/j.atmosres.2011.06.011.

iskapperne på Grønland og i Antarktis) bliver reduceret. I IPCC's seneste rapport fra 2007¹⁰ er havniveaustigningen i år 2100 estimeret til at være mellem 18 og 59 cm. På grund af manglende videnskabelig dokumentation på det tidspunkt var der heri ikke indregnet effekten af afsmeltningen af iskapperne på Grønland og i Antarktis. Nyere videnskabelige undersøgelser har dokumenteret en hurtig afsmeltning på Grønland og i Antarktis. I slutrapporten fra den internationale klimakonference, arrangeret af Københavns Universitet i marts 2009, konkluderes, at med seneste data for afsmeltningen på Grønland og Antarktis vil havniveaustigningen i 2100 nå 1 m (+/- 0,5m)¹¹. I sommeren 2009 opsummerede DMI den eksisterende viden og vurderede, "at den udmelding om fremtidig vandstandsstigning for A2-scenariet ved Vestkysten, som er anført i den danske strategi for klimatilpasning, stadig er et rimeligt bud. På det nuværende videnskabelige grundlag kan DMI imidlertid ikke angive en øvre grænse for vandstandsstigninger langs de danske kyster frem til år 2100, men anbefaler, at muligheden for højere stigninger end anført af IPCC og i tilpasningsstrategien indgår i risikovurderinger"¹². Nyere publicerede forskningsresultater vurderer, at IPCC-rapporten fra 2007 har undervurderet

havniveaustigningerne med ca. en faktor 3¹³, og at der kan forventes havniveaustigninger i år 2100 mellem 75 cm og 190 cm^{14,15}.

Det fremtidige klima vil give kraftigere storme, som ifølge forskellige vurderinger kan forventes at resultere i en øgning af stormflodshøjden på den jyske vestkyst på mellem 30 cm og 50 cm for 50-100 års hændelser¹⁶. I de indre danske farvande vil ændringer i stormflodshøjden være mindre, og nye analyser viser endog en reduktion af ekstreme stormflodshøjder i visse områder^{17,18}.

Derudover vil klimaændringerne resultere i øget surhed i vandet på grund af øget CO₂ indhold i luften.

Andre kilder til usikkerhed

Udover ovennævnte usikkerheder på emissionsscenarioer og klimamodeller, herunder afsmeltningen af iskapperne, er der tre andre usikkerhedskilder, som kan være væsentlige, når der skal laves vurderinger af klimaeffekter.

10. IPCC (2007) Rapporter fra FN's Internationale Klimapanel. ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/contents.html

11. Richardson K, Steffen K, Schnellhuber HJ, Alcamo J, Barker T, Kammen DM, Leemans R, Liverman D, Munasinghe M, Osman-Elasha B, Stern N, Wæver O (2009) Synthesis Report. Climate Change, Global Risks, Challenges and Decisions, Copenhagen 10-12 March 2009.

12. Jørgensen, AMK, Adalgeirsdottir G, Madsen KS, Schmith T (2009) Fremtidige havniveauændringer – et resume af den aktuelle viden i foråret 2009, Danmarks Klimacenter Rapport 09-07, dmi.dk/dmi/dkc09-07.pdf

13. Grinsted A, Moore J, Jefrejeva S (2009) Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 2100AD. *Climate Dynamics*, 34, 461-472

14. Vermeer M, Rahmstorf S (2009) Global sea level linked to global temperature. *Proceedings of the National Academy of Science, USA*, 106, 21527-21532

15. Rahmstorf S (2010) A new view on sea level rise. *Nature Reports Climate Change*, 4, April 2010

16. Jørgensen, AMJ, Adalgeirsdottir G, Madsen KS, Schmith T (2009) Fremtidige havniveauændringer – et resume af den aktuelle viden i foråret 2009, Danmarks Klimacenter Rapport 09-07, dmi.dk/dmi/dkc09-07.pdf

17. Madsen, K.S., 2009, Recent and future climatic changes in temperature, salinity and sea level of the North Sea and the Baltic Sea, PhD thesis, Faculty of Science, University of Copenhagen.

18. Domingo, N.D.F., Sunyer, M.A., Hansen, F., Madsen, H., Mark, O., Paludan, B., 2010, Modelling of sea level rise and subsequent urban flooding due to climate changes, SimHydro 2010: Hydraulic modeling and uncertainty, 2-4 June, 2010, Nice, France.

For det første indeholder klimaet store naturlige variationer, som også afspejles i fremskrivningerne fra klimamodellerne. Det er illustreret i figur 3, hvor modelberegninger fra Storbritannien viser, at den største usikkerhed på nedbøren i de kommende årtier stammer fra den naturlige klimavariation, svarende til, at vi sagtens kan få nogle tørre vintre i en årrække, selvom den langsigtede tendens går i retning af mere våde vintre. Først efter 2050 bliver usikkerheden fra klimamodellerne større. Det ses også, at usikkerheden på emissionen af drivhusgasser (gråt område på figuren) først får betydning efterhånden som vi nærmer os år 2100. Den naturlige klimavariation er grundlæggende uforudsigelig, og noget vi må leve med. Hvis den naturlige klimavariation er stor i forhold til klimaændringen, kan det være vanskeligt at se klimaændringssignalet, fordi de store naturlige klimavariationer vil virke som støj, der slører signalet. Figur 3 viser, at den naturlige klimavariation har større betydning for nedbør end for temperatur, og usikkerheden grundet emissionsscenarioer er vigtig at tage i betragtning fra omkring 2050 for temperatur, men har ikke større betydning for nedbør.

For det andet skal data fra klimamodellerne ofte nedskaleres og bias-korrigeres, dels fordi klimamodellerne ofte har en større rumlig og tidslig opløsning end ønsket, og dels fordi klimamodellerne ikke er i stand til at simulere det nuværende klima korrekt. Der findes mange forskellige nedskalerings-/bias-korrektionsmetoder, som kan give vidt forskellige resultater ved klimafremskrivninger¹⁹. Endelig kan der for det tredje være store usikkerheder knyttet til anvendelsen af de modeller, der benyttes til at omsætte klimaændringerne til ændringer i vores omgivende miljø (hydrologiske,

hydrauliske, oceanografiske, økologiske modeller). De sædvanlige usikkerheder på inputdata, parameterværdier og procesligninger vil her blive forstærket, fordi modellerne skal benyttes til at lave fremskrivninger til situationer, der er forskellige fra den situation, modellerne var kalibrerede for.

Klimatilpasningsstrategien fra marts 2008 – IDAs anbefalinger

I den danske klimatilpasningsstrategi²⁰ anvendes to internationale IPCC-klimascenarier: A2 (middelhøjt) og B2 (middellavt) samt et scenarium baseret på EU's målsætning om, at den globale menneskeskabte opvarmning ikke overstiger 2 grader i forhold til førindustriel tid (EU2C). I strategien er anført tal for de tre scenarier for forventede klimaændringer i Danmark med hensyn til bl.a. temperatur, nedbør, vindhastighed og havvandstand. Disse tal er baseret på beregninger med kun en klimamodel og er, som illustreret i figur 1, derfor behæftet med betydelig usikkerhed. Endvidere er der siden 2008 fremkommet ny viden og nye klimaprojektioner, både med hensyn til nedbør og især havniveauanstigninger²¹.

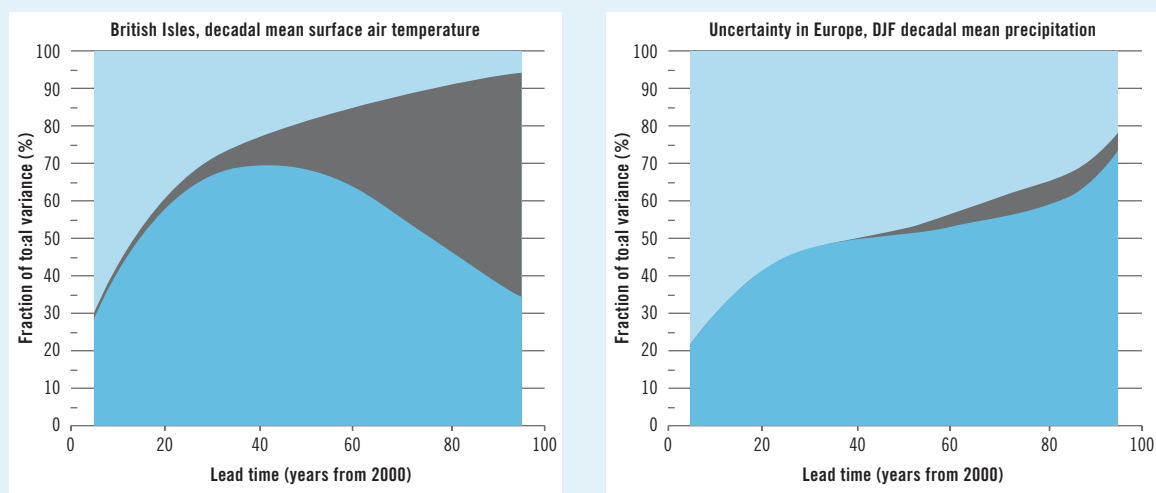
De nuværende anbefalinger på klimatilpasning.dk indeholder tal for forventede klimaændringer, der svarer til tallene i VK-regeringens klimatilpasningsstrategi fra marts 2008. IDA anbefaler, at den danske klimastrategi løbende opdateres med den seneste videnskabelige viden.

20. Regeringen (2008) Strategi for tilpasning af klimaændringer i Danmark. Regeringen, marts 2008. ISBN: 978-87-7844-720-3. ens.dk

21. Se tidligere referencer til van der Linden P, Mitchell JFB (eds) (2009), Grinsted et al. (2009), Vermeer and Rahmstorf (2009) and Rahmstorf (2010)

19. Se tidligere reference til Sunyer et al. (2011)

Figur 3. Den relative betydning af tre usikkerhedskilder: naturlig klimavariation (lys blå); emissionsscenarioer (grå) og klimamodeller (blå) for beregninger af tiårs middelværdier for temperatur for Storbritannien (figur til venstre)²² og vinternedbør (figur til højre) for Europa²³.



De bedste anbefalinger primo 2012 er:

- Benyt klimaprojektioner fra flere klimamodeller, fordi forskellen mellem resultaterne fra klimamodellerne er større end forskellen mellem emissionsscenarioerne. Klimaprojektioner fra ENSEMBLES-projektet repræsenterer i øjeblikket de mest opdaterede beregninger for Danmark med projektioner for mange klimamodeller for A1B scenariet.
- For perioden indtil 2050 kan benyttes ét scenarium. EU2C vurderes som værende urealistisk lavt. I stedet anbefales A1B, som

er et mellemscenarium i forhold til A2 og B2. For perioden mellem 2050 og 2100 anbefales det yderligere at overveje at benytte et stærkere klimascenarium. Indtil der i løbet af de kommende par år kommer resultater fra de nye såkaldte RPC scenarier, kan resultater fra det gamle A2 scenarium benyttes. For nedbør overskygger usikkerheden fra klimamodellerne dog generelt usikkerheden relateret til klimascenarier helt frem til 2100.

- For ekstremregn kan klimafaktorerne fra Spildevandskomiteens Skrift 29 benyttes som centrale skøn.

22. Hawkins E, Sutton R (2009) The potential to narrow uncertainty in regional climate projections (2009) *Bulletin of the American Meteorological Society*, 90. 1095-1107.

23. Hawkins E, Sutton R (2011) The potential to narrow uncertainty in projections of regional precipitation change. *Climate Dynamics*, 37, 407-418. Tak til Springer.

- For havniveaustigninger anbefales at benytte de seneste resultater fra videnskabelige publikationer, dvs. en forventet havspejlsstigning på 1 m (+/- 0,5m). For Vestkysten anbefales

at benytte en stormflodshøjde (ud over stigningen i middelvandspejl) på op til 50 cm for gentagelsesperioder på 50-100 år. For de indre danske farvande viser de nuværende fremskrivninger ingen stigning i stormflodshøjden.

- Det er afgørende vigtigt at være bevidst om, og at vurdere de væsentlige usikkerhedskilder samt overveje, hvorledes der kan identificeres klimatilpasningstiltag, der er robuste over for usikkerhedsintervallerne.

STRATEGI FOR KLIMATILPASNING AF DANMARK

I de kommende årtier kan vi i Danmark forvente en stigende temperatur, mere ekstremregn, flere storme og stigende havvandstand. Det fortæller de senest opdaterede klimascenarier for Danmark. Selv om det skulle lykkes at nedbringe udledningen af CO₂ og andre drivhusgasser markant i de nærmeste år, vil vi først på lang sigt kunne se de gunstige virkninger for klimaet. Ikke mindst af hensyn til de kommende generationer er det derfor nødvendigt, at der nu foretages bevidste valg om en proaktiv tilpasning af samfundet for at kunne minimere de negative konsekvenser af et klima i forandring.

Når der tidligere blev dimensioneret infrastruktur, placeret anlæg, bebyggelse eller nye byområder i Danmark, antog man, at fremtiden blev som fortiden. Der blev målt variable i naturen, og de blev brugt som dimensioneringsgrundlag, der skulle holde mange år ud i fremtiden.

I dag står vi i den situation, at vi ved, at det er utilstrækkeligt at tage beslutninger, der har konsekvenser i lang tid fremover – uden at tage hensyn til de ændringer, som vi allerede ved vil ske i naturen pga. klimaændringer.

IDAs klimatilpasningsstrategi tager derfor udgangspunkt i at beskytte det danske samfund på baggrund af den viden, vi allerede har, og optimere både eksisterende og ny infrastruktur på baggrund af den viden, vi løbende får om bevægelserne i klimaændringerne.

Usikkerheder omkring forudsigtelse af klimaændringer

Der er flere grunde til at forudsigelser af klimaændringer er usikre og særdeles komplekse. Mange forhold afhænger direkte eller indirekte af den økonomiske og demografiske udvikling, teknologiudviklingen, globale markedsforhold osv. Det betyder, at det er vigtigt, at klimaeffektvurderingen inddrager disse usikkerheder, ikke kun i analysen af nu-situationen (typisk 1991-2010), men også i fremskrivningen af fremtids-scenarierne, og i vurderingen af usikkerheden på mulige tilpasningstiltag.

Ved håndteringen af usikkerhederne er det væsentligt at gøre sig klart, at også usikkerheder har forskellig natur. Nogle usikkerheder kan reduceres ved hjælp af ny viden (nye data, bedre modeller); nogle kan reduceres og afklares ved

dialog mellem interessenter (flertydighed grundet forskelle i realitetsopfattelser og værdinormer); og andre skyldes klimavariationer som vi bliver nødt til at leve med (hvordan bliver vejret om to måneder?).

De to mest anvendte strategier til håndtering af usikkerheder er 'system kontrol' og 'system modstandskraft (resilience)'.

System kontrol satser på et stabilt og forudsigeligt system ved kontrol af variable og reduktion af usikkerheder, fx etablering af diger. Svagheden ved denne tilgang er, at den ofte reducerer systemets evne til at fungere i situationer med uforudsete hændelser, fx en kraftigere storm end diget er designet til.

System modstandskraft søger at modvirke konsekvenserne af usikkerheden med henblik på at forhindre systemkollaps, ved at systemet gøres mere tilpasningsdueligt i forhold til såvel forventede ændringer som overraskelser. Altså at forøge systemets fleksibilitet, fx når der forekommer en storm, som er kraftigere, end diget er designet til.

Med de store udfordringer det danske samfund står overfor i forbindelse med klimatilpasning, vil der være behov for, at vi benytter både 'system kontrol' samt en 'system modstandskraft' strategi. System modstandskraft er ofte ikke anvendt i Danmark i dag, men den er nødvendig, fordi den er mere fleksibel i situationer med store usikkerheder og komplekse beslutninger.

Så mens vi på den ene side er overbeviste om, at klimaændringerne vil resultere i gennemgribende ændringer for vandressourcer, økosystemer og infrastrukturer m.m., ved vi på den anden side også, at vurderinger af effekterne

af klimaændringerne, og dermed også nytten af klimatilpasningstiltagene, er behæftet med betydelige usikkerheder. En ignorering af usikkerheder kan resultere i valg af klimatilpasningstiltag, der bliver alt for dyre eller ikke har den ønskede virkning. I den sammenhæng er det vigtigt, at vi benytter de erkendte usikkerheder konstruktivt, dvs. at vi på den ene side ikke bruger dem som undskyldning til ikke at foretage os noget og på den anden side ikke bare vælger løsninger uden at overveje hvilke tiltag, der er mest robuste overfor usikkerhederne.

Involvering af interessenter

Også når det gælder klimatilpasning er det en rigtig god ide at inddrage alle væsentlige interessenter, altså borgere, fagfolk, myndigheder, organisationer m.fl. Herved sikrer man, at al relevant viden inddrages, samt, ikke mindst, at der opnås en højere grad af fælles forståelse for problemernes omfang og karakter, og at flest mulige løsningstyper, der giver værdi for alle interessenter, kan komme i spil. Mange klimatilpasningstiltag forudsætter eksempelvis ændret adfærd hos borgere og ændrede samfundsmæssige rammebetingelser. En sådan proces kræver en høj grad af interessentinvolvering. Jo mere fundamentale ændringer, der er behov for, jo større vil behovet være for dybden af interessentdeltagelse.

Nuværende danske anbefalinger skal udskiftes

Ligesom klimaet ændrer sig, ændres også vores forståelse af ændringernes betydning i takt med, at vi får ny viden. De officielle anbefalinger for klimatilpasning i Danmark ligger pt. på klimatilpasning.dk og bygger bl.a. på VK-regeringens klimatilpasningsstrategi fra marts

2008. Men nyere forskningsresultater betyder, at noget af denne information allerede i dag, på nogle punkter, er forældet. (For seneste information på området, se det forrige kapitel: Det fremtidige klima i Danmark).

Hertil kommer, at de eksisterende officielle danske anbefalinger er utilstrækkelige, da:

1. Der stilles ikke krav om, hvornår der skal foretages analyser af det fremtidige klimas påvirkning af det danske samfund. Det vil sige, der foregår ikke synkroniseret planlægning af klimatilpasningstiltag i Danmark, hvilket komplicerer og bremser klimatilpasningstiltag.
2. Der mangler konsistente metodebeskrivelser og casestudier, som viser vejen for, hvordan klimaanalyser skal gennemføres.
3. Der mangler anbefalinger og anvisning af metoder til håndtering af "usikkerhed".
4. Interessentinddragelse er ikke nævnt.

Risikoen er, at det danske samfund klimatilpasses for sent, og at samfundet påføres skader, som kunne være undgået – eller der foretages unødvendig klimatilpasning, som gør, at der bruges unødvendige ressourcer. Ved mere systematisk klimatilpasning vil det danske samfund få et bedre miljø, færre skader – fx fra oversvømmelser og færre udgifter til klimatilpasning.

I dagens Danmark er der meget stærke forsknings- og udviklingsmiljøer inden for klimatilpasning, som er verdensførende, og som ligger inde med tilstrækkelig viden og teknologier til, at der kan tages kompetente beslutninger nu.

Risikoen er, at det danske samfund klimatilpasses for sent, og at samfundet påføres skader, som kunne være undgået – eller der foretages unødvendig klimatilpasning, som gør, at der bruges unødvendige ressourcer.

Det vil sige, vi har i dag viden, som kan omsættes til at klimatilpasse det danske samfund bedre, end det anbefales fra officiel side.

Hvordan skal Danmark klimatilpasses?

Målet med IDAs klimatilpasningsstrategi 2050 er at få tilpasset det danske samfund, således at:

1. De negative samfundsmæssige konsekvenser af klimaforandringerne (bl.a. økonomiske, tekniske, sociale og andre følgevirkninger) minimeres til et bevidst valgt niveau.
2. Der skabes tryghed hos borgerne om, at konsekvenserne af klimaforandringerne bliver identificeret, at der handles, og at borgernes synspunkter bliver hørt.
3. Klimatilpasning af det danske samfund gøres til en integreret del af planlægningsprocesser i Danmark.
4. Mulighederne for at få positive effekter ud af klimatilpasning, herunder udvikling af erhvervskompetencer med eksportpotentiale, udnyttes bedst muligt.

Disse fire mål skal opnås gennem bevidste og oplyste valg om, hvordan vi håndterer konsekvenserne af klimaændringerne. Dette kræver, at vi få kortlagt såvel de mulige effekter af klimaændringerne som den usikkerhed, vurderingerne er forbundet med. *Det bevidste valg* om klimatilpasning består af følgende ligestillede elementer:

1. Vurderinger af effekterne af klimaændringerne, og dermed også nytten af klimatilpasningstiltag, er behæftet med betydelige usikkerheder. I mange situationer vil usikkerhederne dog ikke have nogen nævneværdig indflydelse på valget af klimatilpasningstiltag. I den sammenhæng er det imidlertid vigtigt at erkendte usikkerheder bruges konstruktivt, dvs. at usikkerheder ikke bruges som undskyldning til ikke at handle. På den anden side må der ikke vælges løsninger, uden at det overvejes, hvilke tiltag, der er mest robuste overfor usikkerhederne. Det er her en vigtig pointe, at der skal træffes et bevidst og dokumenteret valg (som også kan være ikke at gøre noget) på baggrund af erkendte usikkerheder.
2. Inddragelse af interessenter er væsentlig – både i forhold til identifikation af problemerne, og når det gælder vurdering af mulige klimatilpasningstiltag. Herved gives der mulighed for at inddrage al relevant viden, samt, ikke mindst, at opnå en høj grad af fælles forståelse for problemernes omfang og karakter. Mange klimatilpasningstiltag forudsætter ændret adfærd hos borgere og ændrede samfundsmæssige rammebetingelser, hvilket igen kræver interessentinvolvering for at forankre beslutninger og adfærd hos borgerne.
3. Valg af klimatilpasningstiltag kan have virkninger, der er positive for en sektor, negative for en anden, og måske ukendte for en tredje sektor. Tværsektorielle vurderinger er derfor af afgørende betydning for at sikre samfundsmæssigt fornuftige og holdbare løsninger. Tværsektorielle løs-

ninger kræver ofte prioriteringer mellem forskellige sektorinteresser (interessenter), hvilket illustrerer behovet for interessentinddragelse.

4. Håndtering af de ekstremesituationer, som klimaændringerne medfører. Den bevidste håndtering består i en analyse af henholdsvis risiko og skader fra ekstreme vejr-situationer holdt op mod omkostningerne til at håndtere dem. Resultaterne af sådanne analyser giver selvsagt værdifuld viden til den langsigtede samfundsmæssige planlægning, fx når der skal udarbejdes planer for, hvor ny infrastruktur kan bygges, og hvor eksisterende infrastruktur og bygninger skal flyttes fra sårbare områder. Som supplement til sådanne primært økonomiske analyser udføres også generelle etiske og sociale overvejelser om, hvilke risici det danske samfund kan acceptere. Hertil kommer behovet for et beredskab, der kan håndtere ekstreme vejr-situationer, når de opstår – allerede i dag.

Kernen i det bevidste valg er, at alle relevante effekter af klimaændringer kortlægges (inkl. usikkerhed), og at der foretages et dokumenteret valg af, hvad man vælger at gøre. Et bevidst valg af handling, kan således også være ikke at gøre noget i dag, men at vente på mere viden inden for området.

Klimatilpasning (som beskrevet under punkterne 1-4) skal integreres i de eksisterende planlægningsprocesser i det danske samfund. Det vil sige, klimatilpasning af samfundet skal være en del af den kontinuerte og rullende planlægning i stat og kommuner. Planlægningen bør integrere – og sammenholde – de nyeste klima-

prognoser fra IPCC og andre forskere med samfundsmæssige analyser af investeringsbehov. Det er desuden vigtigt, at der skal sættes tidsrammer for udvikling af klimatilpasningsplaner, så der er hånd i hanke med, hvornår hvad skal være gjort. For at sikre, at planerne til enhver tid følger udviklingen i klimaændringerne, bør der endvidere fastlægges tidsintervaller for, hvor ofte klimatilpasningsplanerne opdateres.

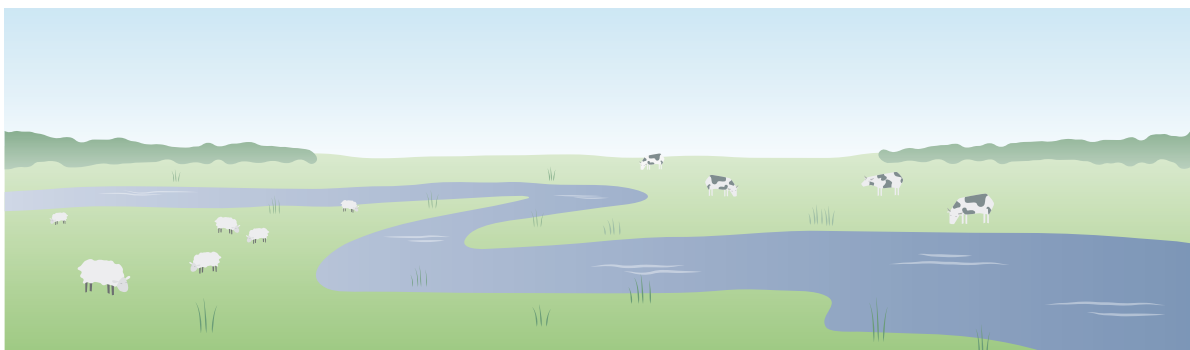
Der skal opbygges kompetencer inden for klimatilpasning målrettet til dansk eksport. Det globale behov for klimatilpasning rummer et stort markedspotentiale, som danske virksomheder kan få del i. Her, som på andre områder, gælder det om at være forrest i udviklingen, hvilket bl.a. skærper behovet for gode rammer til afprøvning og demonstration af de nye teknologier. Eksport af klimatilpasningsteknologi forudsætter et stærkt hjemmemarked, hvor udenlandske kunder kan se teknologierne "in action" og få en vurdering af deres fordele/ulemper og levedygtighed. I den forbindelse er det nærliggende, at det danske samfund understøtter demonstration af nye klimatilpasningsteknologier i fuld skala, eksempelvis i forbindelse med større offentlige anlægsinvesteringer, hvor det offentlige har mulighed for at stille krav til nye løsninger. Udviklingen af teknologier til klimatilpasning kan fx foregå via offentligt-privat samarbejde.

I det omfang, der mangler viden om klimaændringers effekter, herunder økonomiske analyser til estimering af tidspunktet for optimal klimatilpasning, er det naturligvis afgørende, at videngrundlaget tilvejebringes. En sådan tilpasningsstrategi kunne indpasses i planlovens rammer til gavn for

den statslige, regionale og kommunale planlægning. Det afgørende er, at vi med hensyn til den danske infrastruktur får truffet bevidste beslutninger om klimatilpasning, samt at beslutningerne træffes på et oplyst og dokumenteret grundlag, som regionale og lokale myndigheder og befolkningen har adgang til. Ved at implementere sådanne analyser i fx planloven kan man opnå, at der sker en hensigtsmæssig fremadrettet beskyttelse af nye og eksisterende værdier, ligesom sektorplanerne kan inddrages i planlægningen (herunder fx bygningsreglementet og spildevandsplanen).

VAND I DET ÅBNE LAND

Vand i det åbne land omfatter såvel ferskvandets kredsløb og de tilhørende transporter og omsætninger af næringsstoffer som naturligt forekommende og miljøfremmede stoffer i områder uden for de store byer. Klimaændringer (nedbør, temperatur, fordampning, havspejlsstigning) vil på forskellig vis påvirke både landbrug, vandmiljø og vandforsyning.



Klimaeffekter

I Danmark optager landbruget mere end 60 pct. af landarealet. Et varmere klima med mere tørre somre vil give forøget vandingsbehov for landbrugsafgrøder, men også muliggøre ændrede afgrødetyper og driftsformer, fx en yderligere vækstsæson og mere majs²⁴. Samtidig kan højere vintertemperatur give risiko for forøget skadedyrs- og svampeangreb, med deraf forøget pesticidforbrug og risiko for udvaskning²⁵. Varmere og vådere vintre vil give større kvælstofudvaskning fra rodzonen og forøget erosion på marker og i vandløb med forøget tilførsel af kvælstof, fosfor og suspenderet stof/sediment til vandmiljøet samt flere våde marker i starten af foråret med behov for mere effektiv dræning^{26,27}.

24. Olesen JE, Carter TR, Diaz-Ambrona CH, Frontzek S, Heidmann T, Hickler T, Holt T, Minguez MI, Morales P, Paalutikof JP, Quemada M, Ruiz-Ramos M, Rubæk GH, Sau F, Smith B, Sykes MT (2007) Uncertainties in projected impacts of climate change on European agriculture and terrestrial ecosystems based on scenarios from regional climate models. *Climatic Change*, 81, 123-143.

25. Olesen JE, Trnka M, Kersebaum KC, Skjelvåg AO, Seguin B, Peltonen-Saino P, Rossi F, Kozrya J, Micale F (2011) Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *Eur. J. Agron.* 34, 96-112

26. Børgesen CD, Olesen JE (submitted) A probabilistic assessment of climate change impacts on yield and nitrogen leaching from winter wheat in Denmark. *Nat. Haz. Earth Syst. Sci.* Submitted manuscript

27. Jeppesen E, Kronvang B, Meerhoff M, Søndergaard M, Hansen KM, Andersen HE, Lauridsen TL, Liboriussen L, Beklioglu M, Özen A, Olesen JE (2009) Climate Change Effects on Runoff, Catchment Phosphorous Load and Lake Ecological State, and Potential Adaptations. *Journal of Environmental Quality* 38,1930-1941

Vandmiljø

Vandmiljøet vil blive påvirket direkte af højere temperaturer og ændret hydrologisk regime med større variation mellem våde og tørre perioder – og indirekte af større næringsstofbelastning. Højere temperaturer i fx søer kan medføre en højere metabolisme og dermed lavere iltindhold, dårligere vandkvalitet og lavere biodiversitet. Større næringsstofbelastning vil medføre øget eutrofiering og hyppigere forekomst af toksiske alger^{28,29}. Alt i alt vil det resultere i vanskeligere målopfyldelse i forhold til de bindende mål i Vandrammedirektivet og Natura 2000.

Vandforsyning

Det er usikkert, hvorvidt grundvandsforholdene bliver mere eller mindre gunstige for vandforsyningen³⁰. Nogle klimamodeller forudsiger klimaer, der resulterer i større grundvandsdannelse og højere grundvandsstand, mens resultater fra

28. Adrian R, O'reilly CM, Zagarese H, Baines SB, Hessen DO, Keller W, Livingstone DM, Sommaruga R, Straile D, Van Donk E, Weyhenmeyer GA, Winder M(2009) Lakes as sentinels of climate change, *Limnol. Oceanogr.*, 54, 2283-2297

29. Jeppesen E, Meerhoff M, Holmgren K, González-Bergonzoni I, Teixeira-de Mello F, Declerck SAJ, De Meester L, Søndergaard M, Lauridsen TL, Bjerring R, Conde-Porcuna JM, Mazzeo N, Iglesias C, Reizenstein M, Malmquist HJ, Liu ZW, Balayla D., Lazzaro X(2010) Impacts of climate warming on lake fish community structure and potential ecosystem effects- *Hydrobiologia* 646:73-90

30. van Roosmalen L, Christensen BSB, Sonnenborg TO (2007) Regional differences in climate change impacts on groundwater and stream discharge in Denmark. *Vadose Zone Journal*, 6, 554-571

andre klimamodeller medfører det modsatte³¹. Øget havvandstand vil under alle omstændigheder medføre problemer med saltvandsindtrængning i mange kystområder, hvilket reducerer mulighederne for vandindvinding i disse områder. Den igangværende grundvandskortlægning skal resultere i indsatsplaner til beskyttelse af grundvandet mod forurening i oplande til vandværkernes nuværende og kommende kildepladser, men udbredelsen af disse oplande kan meget vel ændre sig i et fremtidigt klima med ændret hydrologi, grundvanddannelse og ændret vandindvinding. Derudover vil tålegrænsen for, hvor stor en del af den fornybare grundvandsresourcer, der kan indvindes uden øget risiko for saltvandsindtrængning, nikkelp problemer eller påvirkning af økologiske miljømål i vandløb, formentlig ændre sig i et fremtidigt klima.

De økonomiske og sociale omkostninger/gevinster af klimaændringerne kan blive meget betydelige. Klimaændringer forventes at resultere i udbyttestigninger i landbrugsafgrøder. Det vil for en række afgrøder være nødvendigt med en ekstra indsats for at kontrollere sygdomme, skadedyr og ukrudt, hvilket vil forøge produktionsomkostningerne. For at opnå opfyldelse af vandmiljømål kan det være nødvendigt med reguleringer af landbrugsproduktionen, som vil have såvel erhvervsøkonomiske som samfundsøkonomiske omkostninger og endelig kan klimaændringer medføre omkostninger, til flytning af vandforsyningsanlæg. Hertil kommer, at det faglige grundlag bag de indsatsplaner, der efter gennemførelsen af den 2,6 mia. kr. store grundvandskortlægning skal implementeres efter 2015, risikerer at blive ændret som følge af klimaændringer.

31. Refsgaard JC, Sonnenborg TO, Henriksen HJ (2009) Klimaændringer i Danmark – hydrologiske effekter og usikkerheder. Vand & Jord, 16(4), 124-127

Klimaændringerne vil slå gradvist igennem. De vil forekomme relativt langsomt i de første par årtier og accelerere kraftigt i anden halvdel af dette århundrede. Klimaændringerne vil slå direkte igennem i forhold til landbruget, mens der vil være en væsentlig forsinkelse i, hvornår ændringer vil kunne ses i grundvandet. Nogle steder vil ændringer i grundvandstanden i det dybe grundvand først slå fuldt igennem efter flere årtier, mens ændringer for terrænnært grundvand og vandløbsafstrømning vil slå igennem med få års forsinkelse. Økologiske forhold i søer og fjorde kan i systemer med lange opholdstider slå igennem med en væsentlig forsinkelse (årtier).

Identifikation og vurdering af problemer i det åbne land med hensyn til forøget sårbarhed vil kræve input i form af kvantitative vurderinger af klimaændringer og usikkerheder heraf, specielt for nedbør. Dernæst skal denne information om klimaændringer omsættes til vurderinger af effekter, inklusive usikkerheder, på vandkredsløb (vandbalanceforhold, vandløbsafstrømning, grundvandstand, vand i landskabet mv.) landbrugsforhold (udvaskninger af næringsstoffer og pesticider, landbrugsproduktion, vandings- og dræningsbehov mv.) og ferskvandsøkologi (opfyldelse af miljømål for naturområder, vandløb, søer, fjordområder). Det vil kræve hydrologisk, agronomisk og økologisk modellering på forskellige skalaer (punkt, mark, opland, sø/fjord, national). Det stiller en række nye krav både til måden at bruge modeller på og til modeller, der er bedre til at beskrive de komplekse processer og udvekslingen mellem grundvand og overfladevand. Derudover kræves der en omhyggelig vurdering af, hvordan de fremtidige forhold kan se ud, fx dræning, arealanvendelse, driftsformer, infrastruktur,

vandforsyning osv., altså en mere bevidst scenarieudvikling, usikkerhedsvurdering og interessentinvolvering i tilvejebringelsen af beslutningsgrundlaget for, hvad der er særligt sårbart.

Mulige klimatilpasningstiltag

Når klimaeffekterne på vandkredsløbet er vurderet, herunder direkte og indirekte påvirkninger som følge af ændringer i landbrug, infrastruktur, vandforsyning og vandmiljø, skal der vælges relevante klimatilpasningstiltag. De mulige klimatilpasningstiltag skal vurderes i forhold til en række kriterier, såsom deres effektivitet, herunder robusthed over for usikkerheder, eventuelle bivirkninger og økonomisk effektivitet samt hvilke barrierer/særlig motivering og synergieffekt, der kunne være i forhold til implementering af tiltagene i de konkrete situationer. Den tekniske del af beslutningsgrundlaget vil typisk blive fremskaffet af offentlige myndigheder. Det bemærkes også, at nogle tiltag er rettet mod at ændre infrastrukturen, mens andre baserer sig på ikke-strukturelle tiltag såsom reeltidsvarsling af oversvømmelser og sæsonprognoser for tørke og minimumsvandføring, rådgivere og forskningsinstitutioner. Endelig vil der være behov for aktivt at inddrage interessenter i innovation, vurderinger og prioriteringer. Ved vurderingen af de enkelte tiltag er det vigtigt at være opmærksom på, om den nødvendige adaptive kapacitet er til stede i den konkrete situation og kontekst.

I tabel 1 er givet eksempler på tilpasningstiltag i forhold til klimaeffekter på vand i det åbne land. Som det ses, har mange af tiltagene bivirkninger på andre sektorer end dem, de primært er rettet imod, specielt er virkningerne på land-

brug og vandmiljø tæt forbundne. Det bemærkes også, at nogle tiltag er rettet mod at ændre infrastrukturen, mens andre baserer sig på ikke-strukturelle tiltag såsom reeltidsvarsling af oversvømmelser og sæsonprognoser for tørke og minimumsvandføring.

Interessentinddragelse

Danmark har flere årtiers god tradition for involvering af interessenter i vandforvaltningen. I forbindelse med de senere års arbejde med vandplaner, som jf. EU's Vandrammedirektiv skal til offentlig høring inden de vedtages, har inddragelsen af interessenterne i planlægningsprocessen dog været reduceret til det, juridisk set, absolutte minimum (nemlig en enkelt runde med information og høring). I arbejdet med vandplanerne har staten endvidere besluttet, at klimaeffekterne ikke skal inddrages, selv om de på nogle områder vil have en betydelig indflydelse på mål opfyldelsen. I næste planlægningscyklus af vandplaner (der forventes klar i 2015) vil der formentlig være krav fra EU om, at klimaeffekterne skal inddrages. Fremover vil det derfor være oplagt at knytte interessent-involveringen med klimatilpasning til Vandrammedirektivets planlægningsproces (vandplaner udarbejdet af staten) og efterfølgende implementering (handlingsplaner gennemført af kommuner).

De mulige klimatilpasningstiltag er forskellige med hensyn til, hvor store ændringer de forudsætter for borgeres adfærd og for den forvaltningsmæssige praksis. "Klimasikring af kildepladser og boringer mod oversvømmelse" er eksempelvis tiltag, der kan foregå inden for de nuværende forvaltningsmæssige rammer og uden, at det giver anledning til store konflikter

mellem interessenter (lav grad af samfundsmæssig læring). Derimod vil "ændret vedligeholdelsesstand i vandløb" kræve ændrede holdninger hos landbrug og naturinteressenter samt en ændret forvaltningspraksis, men kan i stort omfang godt foregå uden at skulle ændre lovgivning (høj grad af samfundsmæssig læring). Endelig kan tiltag som "braklægning af vandlidende arealer og accept af oversvømmelser i ådale" betyde en fundamental forskydning i balancen mellem areal til landbrug, og areal til natur, og vil derfor kræve både holdningsændringer hos interessenter og et ændret lovgivningsgrundlag.

Tværsæktorielle vurderinger

Som det fremgår af tabel 1, vil mange af de mulige klimatilpasningstiltag have virkninger, der er positive for én sektor, negative for en anden sektor, og måske have ukendte virkninger for en tredje sektor. Eksempelvis vil mange af de tiltag, der modvirker forringelser af vandmiljøet (fx "reetablering af vådområder og bufferzoner" samt "reguleringer af landbrugsdriften for at nedbringe næringsstofudvaskningen") i sig selv være problematiske for landbruget, mens tiltag, der modvirker problemer for landbruget (fx mere "effektiv dræning"), vil have negative miljøkonsekvenser. Tilsvarende gør sig gældende mellem vandindvindings- og landbrugsinteresser (fx pesticider).

Omvendt kan der også være positive synergieffekter mellem sektorer. For eksempel vil (re)etablering af vådområder kunne reducere næringsstofudledning til søer og fjorde, give bedre naturværdier med stor biodiversitet, og give mulighed for landbrugsmæssig produktion af bioenergi afgrøder, som kan medvirke til reduktion af samfundets udledning af drivhusgasser. Tværsæktorielle vur-

deringer er derfor af afgørende betydning for at sikre samfundsmæssigt fornuftige og holdbare (integrerede) løsninger.

Usikkerheder

Usikkerhederne på klimaeffekterne er store. Selvom alle klimamodelprojektioner for Danmark er enige om, at det bliver varmere, og at ekstremnedbøren bliver kraftigere, er der usikkerhed om, hvorvidt den samlede nettonedbør (nedbør minus fordampning) stiger eller falder. Nogle klimamodeller forudsiger således et generelt vådere klima med betydelig mere nedbør om vinteren og uændret nedbør om sommeren, mens andre klimamodeller forudsiger små ændringer om vinteren og betydelig mere tørre somre. De hydrologiske og økologiske modeller, som i dag anvendes til at forudsige effekter af klimaændringer, er typisk kalibrerede mod historiske data. En modelkalibrering kan som regel sikre, at en model kan simulere historiske data rimeligt godt, men simuleringen af kalibreringsperioden kan meget vel vise de rigtige resultater af forkerte grunde, hvilket erfaringsmæssigt vil give problemer i form af stor prædiktionsusikkerhed, når modellen ekstrapoleres til at forudsige effekterne under et ændret klima.

Så mens vi på den ene side er overbeviste om at klimaændringer vil resultere i gennemgribende ændringer for ferskvandsressourcer, økosystemer og infrastrukturer i det åbne land, ved vi på den anden side samtidigt, at vurderinger af effekterne af klimaændringerne, og dermed også nytten af klimatilpasningstiltagene, er behæftet med betydelige usikkerheder. I mange situationer vil usikkerhederne dog ikke have nogen nævneværdig indflydelse på valget af

Såfremt klimaændringer ikke inddrages i planlægningen allerede nu, risikerer samfundet at lave forfejlede investeringer i multi-milliard klassen.

klimatilpasningstiltag. Analyser viser fx, at selvom der er betydelig usikkerhed om, hvor hurtigt det vil ske, vil nitratudvaskningen i et fremtidigt klima under alle omstændigheder stige, så det vil blive nødvendigt at gennemføre tiltag, der begrænser udvaskningen³². Specielt ved tiltag, der indebærer store investeringer i infrastruktur, som fx grundvandsbeskyttelse, er det væsentligt at benytte information om usikkerhederne til at vælge de løsninger, der er robuste over for usikkerhederne.

Overvågning/monitering

Evaluerings af sårbarheden i forhold til klimaændringer og overvågning af effekter af implementerede tiltag er helt central. Det vil kræve, at den nuværende overvågning af vandmiljøet, NOVANA programmet, der gennemføres for bl.a. at opfylde kravene i Vandrammedirektivet, udvides til også at identificere og fremskaffe viden om klimaændringer og -effekter samt vurdere virkningen af gennemførte klimatilpasningstiltag.

Det er vigtigt, at overvågningen er integreret med en kvantitativ modellering, og at monitering af tilpasningstiltag opsamles og evalueres løbende, så der kan ske en justering og helhedsorientering af indsatsen.

Anbefalinger til rammebetingelser

Tilpasning af landbrug, vandforsyning og vandmiljø til klimaændringer er af vital betydning for den fremtidige miljømæssige bæredygtighed af vandmiljø og vandforsyning. Danmark

står over for bindende miljømål i forhold til Vandrammedirektivet og Natura 2000. Såvel opfyldelsen af miljømål for grundvand og overfladevand (god økologisk tilstand) som den igangværende grundvandskortlægning, vil kunne blive påvirket af ændrede grundvandsstande og strømningsforhold. De tiltag, der planlægges i forhold til disse miljøproblemer, har en investeringshorisont på flere årtier, dvs. langt ind i et ændret klima. Løsningen af disse problemstillinger bliver væsentligt mere komplekse på grund af klimaændringerne.

Såfremt klimaændringer ikke inddrages i planlægningen allerede nu, risikerer samfundet at lave forfejlede investeringer i multi-milliard klassen. Mange af klimaudfordringerne kan i princippet godt klares med eksisterende løsninger, men det vil blive unødvendigt dyrt. Der er brug for innovative løsninger, som kræver helhedsorienteret planlægning, løbende inddragelse af nye ideer og løsninger til effektive klimatilpasningstiltag, men også for identifikation af nødvendige reformer i lovgivningen. Der vil være behov for en adaptiv vandforvaltning, der sigter på brede løsninger på tværs af kommunegrænser og sektorer og på tværs af forskellige forvaltningsskalaer (lokal, national, global).

Generelle forudsætninger, for at det kan lykkes, er, at:

- staten sørger for, at alle relevante data er nemt tilgængelige for alle myndigheder, interessenter og borgere
- stat/region/kommuner efterspørger vidensbaserede data og løsninger
- staten sikrer ressourcer til udvikling af

32. Børgesen CD, Olesen JE (submitted) A probabilistic assessment of climate change impacts on yield and nitrogen leaching from winter wheat in Denmark. Nat. Haz. Earth Syst. Sci. Submitted manuscript

innovative løsninger, dvs. forskning, udvikling og demonstrationsprojekter

- forvaltningspraksis gøres åben med fokus på en aktiv involvering af interessenter
- forvaltningspraksis baseres på adaptive principper, hvor der sikres balance mellem statens rolle i planlægningen og en (tvær) kommunal rolle i implementeringen.

Konkret vil der være behov for, at staten inddrager klimaeffekter og -tilpasningstiltag i forvaltningen af Vandramme- og Natura 2000-direktiverne samt får udarbejdet konkrete vejledninger til, hvordan det skal gøres.

Tabel 1. Eksempler på klimatilpasningstiltag og deres virkninger med hensyn til vand i det åbne land

KLIMAEFFEKT – TRUSSEL	KLIMATILPASNINGSTILTAG	VIRKNING AF TILTAG	KOMMENTAR
Ændret grundvandsstand/ oversvømmelser/ vandlidende arealer	Forøget magasinering og tilbageholdelse af vand i oplandet	Udjævning af afstrømningshydrograf; stoftilbageholdelse; øget biodiversitet; øget grundvandsdannelse	
	Etablering/effektivisering af dræn- eller pumpesystemer til dræning af højt grundvandspejl	Bedre muligheder for effektiv landbrugsdrift	Forøgede maksimum afstrømninger af vand og stof til overfladevand; færre vådområder; reduceret biodiversitet; reduceret grundvandsdannelse
	Ændret vedligeholdelsestilstand i vandløb	Forbedrer økologiske forhold, hæver vandspejl, forøger stofomsætning	Dårligere muligheder for effektiv landbrugsdrift i ådale
	Realtidsvarsling af oversvømmelser	Mulighed for at iværksætte målrettede beredskabsplaner	
Tørke og vandknaphed	Indsats over for vandforbrug (restriktioner, afgifter, effektivisering, tab)	Reduceret vandforbrug	Vandforbrug allerede relativt lavt
	Ændring af afgrødevalg i landbrug	Påvirker vandingsbehov samt udvaskning af pesticider og næringsstoffer.	Styres af fødevarerpriser på verdensmarkedet og energiforbrugetrends
	Effektivisering af kunstvanding, bl.a. ved sæsonprognoser for minimumsvandføringer	Forbedret vandmiljø ved reduceret vanding eller bedre landbrugsproduktion ved uændrede vandingsmængder	Stort potentiale
	Styring af grundvandsdannelse (kunstig infiltration, styret vandstand i dræn mv.)	Øget grundvandsdannelse	Demonstrationsprojekter mangler. Vandkvalitet usikker
	Flytning af kildepladser og/eller kompensationsudpumpning til vandløb	Muligheder for indvinding af rent grundvand med acceptabel miljøpåvirkning	Kræver, at grundvandsbeskyttelsen flytter med. Kan give oversvømmelser af bygninger lokalt
Forringet grundvandsvandkvalitet/ trussel mod vandforsyning	Forbud mod anvendelse af pesticider, der har stor risiko for forøget udvaskning ved klimaændringer	Fremtidssikring af grundvandsressourcer	Del af national godkendelsesordning. Kræver analyser af mange stoffer og jordtypeforhold, stor usikkerhed
	Revurdering af indvindingsoplande og grundvandsdannende oplande	Fremtidssikring af grundvandsressourcer	Udvidelse af beskyttelseszoner. Store usikkerheder på indvindingsoplande
	Skovrejsning/ændring af nåleskov til løvskov (i visse tilfælde fjernes landbrugsdræn)	Renere grundvand (skovrejsning)	Nåleskov giver mindre grundvandsdannelse end landbrugsarealer. Kræver kompensationsbetaling og visse institutionelle rammebetingelser (udpeget skovrejsningsområde)
	Klimasikring af kildepladser og borer mod oversvømmelse	Del af løbende renovering af kildepladser	
	Barrierer mod saltvandsindtrængning og øget punktkildeforurening i kystzonen	Sikring af grundvandsressourcer	Effekt vanskelig at kvantificere
	Forringet vandmiljø	Etablering af bufferzoner og reetablering af vådområder langs vandløb	Forøget biodiversitet; forøget stoftilbageholdelse
Nye generelle reguleringer af landbrugsdrift (reduceret gødsning mv.)		Reduceret næringsstofudvaskning, øget biodiversitet	Reduceret hektarudbytte
Ny differentieret regulering af landbrugsdrift afhængig af lokale hydrogeologiske forhold		Mindre næringsstofudvaskning, øget biodiversitet	Braklægning af landbrugsområder, som giver stor udvaskning, og almindelig landbrugsdrift på resten. Mindre areal til landbrug og mere til natur
Bedre spildevandsrensning fra spredt bebyggelse		Mindre forurening, øget biodiversitet	

HAVET OG KYSTEN

Danmark består af halvøer og øer omgivet af havet, dels de åbne farvande Skagerrak og Nordsøen med Vadehavet og de vestjyske fjorde, og dels de indre danske farvande i form af Kattegat, sund, bælt, Smålandsfarvandet, Det sydfynske Øhav, bugter, fjorde, vige og nor samt Østersøen. Danmark har en samlet kystlinje på ca. 7.000 km



Der findes forskellige kysttyper, fordi kysterne er udsat for forskellige påvirkninger fra tidevand, stormflod og bølgepåvirkninger, og fordi landskabet er af varierende geologisk oprindelse. Vadehavet er således domineret af tidevand og stormflod. Vestkysten er domineret af de voldsomme bølgepåvirkninger i kombination med stormflod. De vestjyske fjorde er påvirket af afstrømning fra de store åer, tidevandsudvekslingen og stormflod. De indre åbne kyster er påvirket af varierende bølgeforhold og stormflod, mens fjorde og nor er påvirket af tidevand og stormflod og kun i ringe omfang af bølger. De marine vandmiljømæssige forhold er påvirket af dybde-, bund- og temperaturforhold samt vandudvekslingen og næringsstofindholdet i vandet.

Klimaændringer i det åbne hav og i de kystnære farvande

Klimaændringer i havet omkring Danmark vil således påvirke forholdene i farvande og langs de forskellige typer af kyster på forskellig måde og med varierende intensitet. Klimaændringer vil medføre følgende ændringer:

1. Stigende vandtemperatur
2. Havniveaustigning (stigning i middelvandstanden)

3. Ændrede bølgeforhold både mht. intensitet og retningsfordeling grundet ændrede vindforhold
4. Ændrede stormflodsforhold grundet ændrede vindforhold og havniveaustigning
5. Øget vinternedbør, hvilket vil øge afstrømningen til havet
6. Øget surhed i vandet grundet øget CO₂ i luften

Klimaeffekter

KYSTBYER OG HAVNE

De forventede stigninger i stormflodsvandstanden medfører en øget risiko for oversvømmelse af ikke sikrede lavtliggende områder samt en risiko for oversvømmelse af allerede sikrede områder, idet eksisterende højvandssikringer vil blive udsat for større påvirkninger i fremtiden. Specielt vil brud på eksisterende højvandsbeskyttelse kunne medføre oversvømmelse af store lavtliggende byområder, som tidligere ansås for sikret. Stigninger i middelvandstanden og øgede ekstremvandstande har ligeledes betydning for stabiliteten af dækværker for havnene, for drift af havnene og for øget risiko for oversvømmelse af havnearealerne.

ÅBNE KYSTER

Klimaeffekterne på de åbne kyster forårsages hovedsagelig af havniveaustigningerne og den stigende stormflodsvandstand, men de ændrede vind- og bølgeforhold vil også have en effekt på kysterne. Der er hovedsagelig følgende seks effekter af klimaændringerne langs de åbne kyster:

1. Havniveaustigningerne og den stigende stormflodsvandstand vil medføre gradvis stranderosion såvel som kysterosion, dvs. tilbagerykning af henholdsvis strandlinje og kystlinje. Ændringerne vil til dels komme gradvist, efterhånden som vandstanden stiger, men også i små ryk i forbindelse med stormsituationer. Der er derfor to hovedaspekter i relation til den stigende vandstands påvirkning på kysterne:
 - Stranderosion
Eksisterende sandstrande, især når disse forekommer i forbindelse med skræntfodsbeskyttelse, vil blive smallere eller helt forsvinde, hvilket har betydning for strandens rekreative værdi og for mulighederne for at færdes langs stranden.
 - Kysterosion
Tilbagerykning af kystlinjen vil påvirke ejendomme og infrastruktur (huse, veje etc.), som er beliggende tæt på kystlinjen.
2. Stigende stormflodsvandstand vil medføre øget risiko for oversvømmelse af ubeskyttede lavtliggende områder, og øget risiko for overløb af/brud på eksisterende højvandsbeskyttelse.
3. Havniveaustigninger og stigende stormflodsvandstand, kombineret med stigende

nedbør, vil have en negativ virkning på afstrømningen fra land via vandløb og regnvandssystemer, som derfor vil oversvømme opstrøms områder. For sluseregulerede fjorde med tilstrømning fra åer vil stigende vandstande påvirke slusedriften, vandstands- og saltforholdene samt de biologiske forhold i de regulerede områder.

4. Havniveaustigninger vil reducere eksisterende vådområder, men nye vådområder vil også blive skabt, såfremt eksisterende arealanvendelse og reguleringer tillader dette.
5. Havniveaustigninger kan medføre saltindtrængning i grundvandet i lavtliggende områder.
6. De ændrede vind- og bølgeforhold medfører ændringer i transport- og kyststabilitetsforholdene. Disse ændringer kan føre til såvel erosion som kystfremrykning.

FARVANDE

De fysiske forhold, såsom kraftigere storme, vandstandsstigninger og stigende havtemperatur, vil få betydning for de konstruktioner, som bygges langs kysterne og på havet (havvindmølleparker, offshoreplatforme og rørledninger på havbunden):

1. De kraftigere storme vil føre til højere ekstrembølger på havet, hvilket både vil få betydning for alle eksisterende konstruktioner og dimensionering af kommende konstruktioner langs kysterne og på havet (flydende såvel som konstruktioner, der står på bunden).

2. De højere vindhastigheder skal tages i betragtning ved vurdering af eksisterende konstruktioner og dimensionering af kommende konstruktioner.
 3. Havniveaustigningen vil på tilsvarende vis som bølger og vind påvirke dimensionering af konstruktioner, der bygges langs kysterne og på havet.
 4. Belastningen fra is er for mange konstruktioner til havs og på kysten af væsentlig betydning, når de dimensioneres og bygges. En stigning i havtemperaturen vil føre til mindre forekomst af is, hvilket på langt sigt vil kunne føre til en mindre belastning på konstruktionerne.
 5. En øget havtemperatur vil føre til større begroning på konstruktioner ved og på havet, hvilket skal tages i betragtning i forbindelse med dimensionering og vedligehold.
- Forskellige organismer/planter/dyr reagerer forskelligt på temperaturændringer. Fx vil det heterotrofe samfund (bakterier og dyreplankton) reagere stærkere over for temperaturændringer end de autotrofe samfund (primære producenter). Således kan temperaturændringer potentielt ændre økosystemerne fra bentiske (bund) dominerede samfund til pelagiske (vandfase) dominerede samfund.
 - Stigende temperaturer vil påvirke udbredelsen af nogle bakterier og organismer, som normalt ikke er problematiske i de danske farvande. Et eksempel herpå er havbakterien *Vibrio vulnificus* og cyanobakterier (blågrønner). Disse bakterier findes naturligt, men udbredes i dag specielt i stille, varme somre.
2. Temperaturstigninger øger risikoen for iltsvind:
 - Iltsvind har stor betydning for det bentiske dyre- og plantesamfund, og øget iltsvind efterlader store døde arealer på bunden af danske fjorde og indre farvande.
 - Ændres de marine økosystemer mod mere pelagiske samfund, reducerer dette muligvis problemerne med iltsvind.
 3. Ændret salinitet kan påvirke biodiversiteten i de danske farvande:
 - Nogle arter lever i dag tæt på tolerancegrænsen for deres overlevelse, og derfor vil ændringer kunne påvirke disses

DET MARINE VANDMILJØ

De biologiske forhold i farvandene påvirkes af stigende vandtemperatur, ændrede afstrømningsforhold og forsurening af havmiljøet.

1. Stigende havtemperaturer vil påvirke forholdet mellem primære producenter (alger, makroalger, havgræsser m.m.) og heterotrofe organismer (bakterier, dyreplankton, fisk etc.). De fleste biologiske og kemiske processer er knyttet til temperatur, og stigende temperaturer vil i de fleste tilfælde medføre, at processer foregår hurtigere:
 - Ændres de marine økosystemer mod mere pelagiske samfund, reducerer dette muligvis problemerne med iltsvind.
3. Ændret salinitet kan påvirke biodiversiteten i de danske farvande:
 - Nogle arter lever i dag tæt på tolerancegrænsen for deres overlevelse, og derfor vil ændringer kunne påvirke disses

Fortsat forsurening af havmiljøet må forventes at true livsbetingelserne for disse organismer, hvorfor hele fødekæder kan bryde sammen med uforudsigelige konsekvenser for de marine økosystemer.

udbredelse. Eksempelvis vil den toksiske blå-grønalg med øget ferskvandsafstrømning til Østersøen spredes længere ind i de danske farvande, og reduceret salinitet vil påvirke Østersøtorskens gydeområder.

- Biodiversiteten vil potentielt påvirkes af reduceret salinitet, hvilket illustreres af den tiltagende reducerede biodiversitet, som i dag ses fra Kattegat til Østersøen.
4. Ændret vinternedbør vil påvirke afstrømningen og dermed øge udvaskningen af næringssalte fra landbrugsarealer til de kystnære områder og de hermed forbundne problemer med eutrofiering især i de danske inderfjorde. Denne problematik omtales i kapitlet: Vand i det åbne land.
 5. Kraftigere sommernedbør vil bevirke hyppigere overløb fra kloaksystemet. Dette påvirker den hygiejniske vandkvalitet og dermed badevandskvaliteten i nogle områder.
 6. Øget CO₂ i atmosfæren medfører forsurening af havvandet. Adskillige organismer i havet er afhængige af at kunne danne kalkholdige strukturer, eksempelvis muslinger, snegle og krebsdyr. Fortsat forsurening af havmiljøet må forventes at true livsbetingelserne for disse organismer, hvorfor hele fødekæder kan bryde sammen med uforudsigelige konsekvenser for de marine økosystemer. De præcise konsekvenser er i dag ikke belyst til bunds.

Nogle økosystemer vil dog sandsynligvis besidde en vis træghed overfor ændringer i fx

temperatur og næringssaltsbelastninger, mens stressede økosystemer vil kunne reagere stærkt og irreversibelt. Effekterne af klimaændringerne på de biologiske forhold i og omkring de danske farvande er kun delvist belyst, og kompleksiteten i samspillet mellem de enkelte arter betyder, at de fulde konsekvenser af klimaændringerne endnu langt fra er afdækket.

Mulige klimatilpasningstiltag

Ved vurdering af klimaændringer, deres effekter samt mulige klimatilpasningstiltag, er det vigtigt at holde tidshorizonten for ændringerne op imod:

- Levetiden eller planlægningshorizonten for klimatilpasningstiltag.
- Den acceptable risiko for, at de klimaopdaterede dimensionsgivende hændelser overskrides
- Gentagelsesperioden for disse hændelser (dvs. middeltiden imellem at de overskrides)

KYSTBYER, HAVNE OG ÅBNE KYSTER

Kystbyer og havne er oftest karakteriseret ved at overgangen mellem land og hav er befæstet enten med kystsikring eller i form af kajanlæg med lodrette sider. Sikringen af kysten i byer er derfor typisk relateret til sikring mod oversvømmelse (højvandssikring) af lavtliggende områder. I det åbne land er der derimod to virkninger af klima-effekterne, dels øget erosion, som kommer gradvist, efterhånden som vandstanden stiger, og dels risiko for oversvømmelse, som kommer pludseligt under ekstreme storme med øget risiko i takt med, at havvandstanden stiger.

Klimatilpasningstiltag for kystbyer og havne relaterer sig derfor til højvandssikringen, medens tilpasningstiltag for den åbne kyst relaterer sig til såvel kystsikring som til højvandssikring. Eksempler på problemer, klimatilpasning, virkninger og kommentarer for klimatilpasning i kystbyer, på havne og langs de åbne kyster er præsenteret i tabel 2.

Farvande, fysiske forhold og det marine vandmiljø

Klimaeffekterne i farvandene er af såvel fysisk såvel som biologisk art. Eksempler på klima-effekter, klimatilpasningstiltag og virkningerne af disse er præsenteret i tabel 3.

En af de problemstillinger vi står overfor i forhold til det marine vandmiljø, er, at ikke alle de integrerede effekter af et ændret klima er tilstrækkeligt belyst. Vi har blandt andet miljøindikatorer, som ikke er vurderet i forhold til et ændret klima, og der vil muligvis være dyre- og plantearter, som ikke kan beskyttes fordi deres temperaturtolerance ikke tillader det. Der vil potentielt også kunne forekomme ændringer i pH-værdi, som i yderste konsekvens betyder, at levevilkår for en række skaldyr ikke kan oprettholdes. Det kræver derfor en risikokortlægning af disse truede arter samt en prioriteret stillingstagen til effekter og muligheder i et fremtidigt klima at sikre, at vi ikke spilder de investeringer, vi foretager i dag.

Interessentinddragelse

I forbindelse med kystbeskyttelse mod oversvømmelse og erosion er der en naturlig inddragelse af interessenter langs kysten, idet det er lodsejers eget ansvar at sikre sig mod havets påvirkninger. Derfor er der ingen love eller

regulativer, der fastlægger, om der skal udføres højvands- eller kystbeskyttelse, og i givet fald i hvilket omfang lodsejeren skal beskytte sin ejendom. Imidlertid er det uhensigtsmæssigt, at de enkelte grundejere isoleret sikrer deres egne parceller. Denne problemstilling aktualiseres yderligere af, at klimaændringerne øger risikoen for kysterosion og oversvømmelse og hermed for behovet for at opføre ny kystbeskyttelse.

Når der udføres beskyttelse mod kysterosion, bevirker kystprocesserne, at et indgreb på et sted påvirker kysten på de tilstødende strækninger. Derfor tilsigter Kystdirektoratet gennem deres administration af tilladelser til opførelse af kystbeskyttelse, at der foretages samlede løsninger for længere strækninger, eksempelvis administreret af kystsikringslag. Kommunerne går ofte ind og styrer sådanne projekter og indkalder til offentlige høringer, så der er rimelig stor inddragelse af interessenter i kystbeskyttelsessager.

Ansvar for højvandsbeskyttelse af lavtliggende områder mod oversvømmelse påhviler ligeledes de berørte lodsejere, hvorfor diger oftest bygges og administreres af digelaug, som repræsenterer de berørte parter.

Der vil ligeledes være mange og stærke interessenter og myndigheder involveret i forbindelse med sikring af vandmiljøet. Ud over Naturstyrelsen findes der en række NGO'er, som Danmarks Naturfredningsforening, Dansk Ornitologiske Forening med flere, samt en række erhverv, som fx fiskeri og landbrug. De forskellige interessenter bruger eller påvirker vandmiljøet forskelligt og har til tider modsatrettede interesser, men alle bør og skal inddrages for at sikre klimatilpasningernes effektivitet.

Tværsætorielle vurderinger

Mange klimatilpasningstiltag vil have positive virkninger for én sektor (beskyttelse af infrastruktur og andre materielle værdier på kysten) men negative virkninger for en anden sektor (indgreb i det naturlige kystlandskab). Problemet for kystbeskyttelse er, at det påhviler grundejerne at betale for beskyttelse af deres ejendom, mens de myndigheder, som er ansvarlig for, at der tages bredere tværsætorielle hensyn i en kystbeskyttelsessag, ikke er forpligtet til at medfinansiere en mere helhedsorienteret kystbeskyttelse. Øvrige hensyn, som ifølge Kystbeskyttelsesloven skal varetages, er: kystlandskabets bevarelse, naturens frie udfoldelse, og rekreativ udnyttelse af kysten og sikring af den eksisterende adgang til kysten.

Ønsker en interesseorganisation eller en grundejerforening at foretage naturgenopretning af en kyststrækning for at reetablere en forsvunden sandstrand, og derved skabe passage langs stranden, er det oftest umuligt, fordi kystgrundejerne sætter sig imod. Kystgrundejere er oftest også imod at kystsikringsprojekter indeholder reetablering af tidligere sandstrande, fordi de kun har interesse i at sikre deres ejendomme, men ikke i reetablering af offentlige sandstrande og passage langs kysten. Der er derfor brug for at Kystdirektoratet, kommunerne og relevante ministerier samt interesseorganisationer bidrager aktivt til oplysning om betydningen af, at kystsikringsprojekter udføres under behørigt hensyn til helhedsbetragtninger samt natur- og miljøhensyn. Sådanne tanker ligger til grund for den nye Kystbeskyttelsesstrategi, 2011³³. De "bløde" hensyn i loven bør opgra-

deres til delformål for kystbeskyttelsen på lige linje med behovet for den egentlige kystbeskyttelse. I den forbindelse er det oplagt at etablere en Kystbeskyttelsesfond, som kunne bidrage til finansieringen af ovennævnte hensyn.

Det forhold, at virkningerne af de forventede vandstandsstigninger er relativt større i de indre farvande end langs Jyllands vestkyst, taler for, at staten, regionerne og/eller kommunerne bør bidrage til finansiering af kystsikring i de indre farvande i lighed med den ordning, som er etableret langs Jyllands vestkyst, hvor udgifter til højvandsbeskyttelse og kystsikring finansieres af staten og kommunerne.

Usikkerhedsvurderinger

Klimaændringer og usikkerhedsvurderinger hænger uløseligt sammen, men det er vigtigt at usikkerhederne ikke benyttes som et argument for ikke at foretage sig noget. Det er derfor vigtigt, at myndighederne snarest muligt udmelder et centralt skøn for havniveaustigningerne i år 2050 og i år 2100 med angivelse af usikkerhedsintervaller. Disse centrale skøn kan herefter benyttes i planlægning og i udarbejdelse af klimatilpasningsplaner. De udmeldinger, der foreligger pt. er:

"Tilpasning til fremtidens klima i Danmark, 2008" (VK-regeringen), hvor der imødeses en generel havniveaustigning i år 2100 på 0,15-0,75 m

- klimatilpasning.dk³⁴, hvor der forventes en generel havniveaustigning i havet omkring Danmark i år 2100 på 0,3-1,0 m

33. Kystbeskyttelsesstrategi – en strategisk indsats for smukkere kyster, Kystdirektoratet, august 2011, borgere.kyst.dk/kystbeskyttelsesstrategi.html

34. klimatilpasning.dk/da-DK/service/Klima/KlimaændringeriDanmark/vandstandihavet/Sider/Forside.aspx

- Den internationale klimakonference arrangeret af Københavns Universitet i marts 2009, som konkluderer, at med seneste data for afsmeltningen på Grønland og Antarktis vil havniveaustigningen i 2100 nå 1 m +/- 0,5m

Jævnfør afsnittet om fremtidens klima. Desuden er det nævnt, at disse vandstande sandsynligvis kan blive højere.

Sådanne udmeldinger, uden et centralt anbefalet skøn på havniveaustigningerne, gør det vanskeligt for kommunerne at udføre en konsistent planlægning. Kystdirektoratet har udmeldt fire scenarier for screening for fremtidige vandstande, hvilket heller ikke hjælper kommunerne og andre interessenter særligt, fordi spredningen er stor. Man skal selvfølgelig i sin planlægning lave sensitivitetsanalyser for forskellige scenarier, men det ville være meget praktisk, hvis centrale myndigheder (regeringen) ville påtage sig ansvaret for at melde mere specifikt ud, således at planlægningsgrundlaget for kommuner og andre interessenter bliver konsistent.

Det foreslås, at relevante myndigheder udarbejder højvandstandskort for Danmark med angivelse af passende usikkerheder, som dækker henholdsvis normalt forekommende, sjældne og ekstreme hændelser for nutidige forhold (2012) såvel som for fremtidige forhold (2050 og 2100), hvor klimaændringernes indvirkning på stormflodsvandstande er taget i betragtning, jævnfør kravet i bekendtgørelse for oversvømmelse³⁵. Dette kunne ske ved udarbejdelse af højvandskort for årene 2010, 2050 og 2100 med gentagelsesperioder på 30 år, 100 år og 1000

35. Bekendtgørelse nr. 121 af 2. februar 2010 om vurdering og risikostyring af oversvømmelser fra havet, fjorde eller andre dele af søterritoriet

år. Disse højvandskort vil kunne benyttes som grundlag for udvælgelse af risikoområder for oversvømmelse på et ensartet grundlag for hele landet (fx som en del af implementeringen af Oversvømmelsesdirektivet), og kortene kan benyttes af centrale myndigheder og kommuner til at udarbejde risikoområder af national og lokal karakter. I udpegningen af risikoområder bør der desuden gives tillæg i vandstanden, som reflekterer usikkerhederne i ansættelsen af de ekstreme vandstande, og som inkluderer en vis sikkerhedsmargin. Med sådanne kort vil centrale og lokale myndigheder have et stærkt, konsistent og transparent værktøj til generel planlægning og til planlægning af fremtidige klimatilpasningstiltag i kystnære områder. Disse kort skal naturligvis løbende opdateres, når der kommer nye forskningsresultater og/eller nye IPCC prognoser.

Effekterne på vandmiljøet er beskrevet i det følgende. Her er der naturligvis også en række usikkerheder relateret til klimaændringerne, som fx temperaturstigninger, forsurening og udvaskning af næringsstoffer. Men de største usikkerheder er manglende kvantificering af summen af effekterne på vandmiljøet og de indbyrdes relationer. Der eksisterer en del viden om hvordan de enkelte klimaændringer forventes at påvirke delkomponenter i vandmiljøet, men de samlede effekter er stadigvæk ikke kvantificeret, og derfor kendes det fulde forventede omfang af klimaændringerne på vandmiljøet ikke.

Overvågning/monitoring

Monitoring er igennem mange år blevet foretaget af Danmarks Meteorologiske Institut, Kystdirektoratet og andre, idet de løbende har indsamlet og analyseret meteorologiske og

hydrografiske data så som temperatur, nedbør, vind og vandstand etc. Diger, især større diger, bør løbende og systematisk kontrolleres for højde og generel tilstand, fx hvert femte år. Herunder skal dimensioneringsforudsætningerne kontrolleres bl.a. mht. arealanvendelse og med opdaterede højvandsstande.

Miljøministeriet varetager den nationale overvågning af vandmiljø i de danske fjorde og åbne farvande. Denne overvågning er vigtig, og bør udvides med en klimakomponent, især for Natura 2000 områder, samt dyr og planter, der er følsomme overfor klimaændringerne.

Anbefalinger for rammebetingelser

I fremtiden er der behov for helhedsorienterede løsninger til at håndtere problemer med kysterosion- og oversvømmelse langs de danske kyster, jævnfør den nye Kystbeskyttelsesstrategi fra august 2011³⁶. Disse behov forstærkes pga. klimaændringer. Kommunerne har en vigtig rolle i udformningen af disse projekter i relation til at sikre integration af natur- og miljøhensyn i projekterne. Det ville styrke kommunernes indflydelse på disse projekter, såfremt de er i stand til at bidrage økonomisk til projekterne, som under den nuværende lovgivning udelukkende finansieres af lodsejerne³⁷. Kommunernes Landsforening har derfor opfordret staten til

- at medvirke til at udpege særlige risikoområder, hvor det offentlige tager et medansvar for kystsikringen

- at sikre finansieringsgrundlaget for denne supplerende kystsikring³⁸.

IDA støtter op om offentlig medfinansiering af kystsikringsprojekter med henblik på at sikre helhedsorienterede løsninger.

Klimaeffekterne i de danske fjorde og åbne farvande vil påvirke vandmiljøet på forskellige vis, og arbejde i samme retning eller i modsat retning i forhold til målsætningerne i de respektive EU-direktiver. Dette vil influere på de investeringer der afsættes til at opfylde de respektive direktiver, og det anbefales derfor at klimaeffekterne inkluderes som en del af arbejdet med disse.

36. Kystbeskyttelsesstrategi – en strategisk indsats for smukkere kyster.

Kystdirektoratet, august 2011

37. Kystbeskyttelsesloven – Bekendtgørelse nr. 267 af 11.03.2009 af lov om kystbeskyttelse

38. Inspirationsguide for proaktiv klimatilpasning i vandsektoren, DANVA og KL, oktober 2009

Tabel 2. Eksempler på klimaeffekter, klimatilpasningstiltag samt disses virkninger for kystbyer, havne og åbne kyster

KLIMAEFFEKTER	KLIMATILPASNINGSTILTAG	VIRKNING	BEMÆRKNINGER
Kystbyer			
Øget risiko for oversvømmelse fra havet af ikke beskyttede lavtliggende områder	Diger langs by, bebyggelse, kyster eller dæmninger med sluser over lokale bugter	Eliminering/reduktion af oversvømmelsesrisiko	Store planlægningsmæssige udfordringer i traditionel bystruktur. Afprøv forskellige scenarier, definer planlægningshorisont og acceptabel risiko
Øget risiko for overskyl/brud på eksisterende højvandsbeskyttelse	Forstærkning og udvidelse af eksisterende højvandsbeskyttelse	Eliminering/reduktion af oversvømmelsesrisiko	Foretag risikovurdering for ændret arealudnyttelse siden eksisterende beskyttelse blev etableret
Øget omfang af skader ved oversvømmelse af områder, som for nylig er udlagt til helårsbebyggelse	Gennemfør risikovurdering i forbindelse med opgradering fra landzone/ sommerhusstatus til helårsbebyggelse og introducer beskyttelse hvis nødvendigt	Eliminering/reduktion af oversvømmelsesrisiko	Oversvømmelse medfører større tab i helårsbebyggelse end i landzone/sommerhusområde
Havne			
Havniveaustigning medfører reduktion af kajkote	Hæve kajkote	Optimale operationelle forhold	Besværliggør transport til bagareal
Risiko for oversvømmelse af kajer, broer og arealer under stormflod	Hævning af åbne havnearealer ved opfyldning og sikring af bygninger	Eliminering/reduktion af oversvømmelsesrisiko	Besværliggør benyttelse af arealerne og kommunikation mellem arealer og bygninger
Øget bølgepåvirkning	Styrkelse og forhøjelse af dækværker	Retablering af sikkerhed mod skader på dækværker	Influencer ikke på operationelle forhold
Den åbne kyst, tiltag imod erosion			
Øget erosion af sandstrande	Strandfodring eller bygning af nye strande foretages løbende	Kompenserer for øget stranderosion	Anvendes allerede i dag i stort omfang langs Vestkysten til bekæmpelse af nuværende erosion.
Total borterosion af sandstrand på kyststrækning beskyttet med skråningsbeskyttelse	Rehabilitering af strand ved indpumpning af sand, samt stabilisering med kystkonstruktioner	Man får sandstranden tilbage	
Øget erosion af kysten med fare for skade på huse mv.	Styrkelse af eksisterende kystbeskyttelse eller etablering af ny beskyttelse, fx strandfodring	Sikring af kysten og faciliteter på kysten	Som man ville beskytte kysten ved "normal" kysterosion
Den åbne kyst, tiltag mod oversvømmelse			
Øget risiko for oversvømmelse fra havet af sikrede områder	Forstærkning af diger	Reduktion af risiko for oversvømmelse	Tjek ændret arealanvendelse og juster acceptabel risiko
Øget risiko for oversvømmelse fra havet af ikke sikrede områder	Højvandsbeskyttelse eller restriktioner imod bebyggelse af lavtliggende områder.	Reduktion af risiko for oversvømmelse	Højdekrav vil afhænge af valg af scenarie, acceptabel risiko, levetid for projektet, arealets størrelse og anvendelse. Skaber ensartet planlægningsgrundlag for kommunerne
Øget risiko for oversvømmelse i vandløb grundet stigende vandstand og øget nedbør	Etablering af aflastningsområder, regulering af vandløb og af diger	Reduktion af risiko for oversvømmelse	Der skal tages miljømæssige hensyn
Øget risiko for oversvømmelse i sluserereguleret fjord pga. stigende vandstand og øget nedbør	Ændret slusedrift eller bygning/forhøjelse af fjorddiger	Reduktion af risiko for oversvømmelse og opretholdelse af god miljøtilstand i fjord	Opgivelse af landbrug på lavtliggende arealer kan overvejes

Tabel 3. Eksempler på klimaeffekter, klimatilpasningstiltag samt disses virkninger for fysiske forhold i havet og for det marine vandmiljø

KLIMAEFFEKTER	KLIMATILPASNINGSTILTAGSTILTAG	VIRKNING	BEMÆRKNINGER
Fysiske forhold			
Øgede påvirkninger fra bølger, vind og havvandstandsstigning på alle eksisterende konstruktioner på havet og ud for kysten	Forstærkninger af eksisterende konstruktioner	Øget sikkerhed mod nedbrud og overbelastning	Kan kræve ny certificering
Øgede påvirkninger fra bølger, vind og havvandstandsstigning på alle kommende konstruktioner på havet og ud for kysten	Nye konstruktioner skal dimensioneres for større påvirkninger	Øget sikkerhed mod nedbrud og overbelastning	Certificeringsselskaberne (som DNV og Germanischer Lloyd) skal inkludere klimaforandringer i deres "recommended practice"
Øget næringssaltstryk på de danske farvande	Klimatilpasning af kommende vandplaner under Vandrammedirektivet	Reduceret næringssaltudvaskning	Se kapitel: Vand i det åbne land
Øget tryk på kloaksystem	Udbygning af kloaksystemet eller anden tilpasning til hyppigere ekstrem sommerregn	Minimere effekterne af klimændringerne på den hygiejniske vandkvalitet og badevandskvaliteten	Se kapitel: Vand i byer
Øget påvirkninger af de marine økosystemer	Beskyttelse af truede organismer/arter	Reducering af at klimastressende faktorer som fx øget næringssaltsbelastning, fiskeri etc.	Vil kunne indvirke på dele af den danske industri (fiskeri & landbrug) og evt. på anvendelsen af naturen i nogle områder.
Ændrede levebetingelser for dyr og planter	Indførsel af arter som er tilpasset nye temperatur- og salinitetsforhold kan overvejes, eller nedprioritering af arter som ikke kan overleve et ændret klima	Sikring af biodiversiteten	Dette er i dag ikke tilladt under den nuværende lovgivning og bør under alle omstændigheder undersøges nøje
Biologiske forhold			
Øget næringssaltstryk på de danske fjorde og kystnære farvande	Reducering af kvælstof udvaskning fra Danmark	Modvirkning af eutrofiering	Se kapitel om vand i det åbne land for klimatilpasningsdetaljer
Øget næringssaltstryk på de åbne indre danske farvande	Reducering af kvælstof udvaskning fra Danmark og de andre Østersølande	Modvirkning af eutrofiering	Kræver internationalt samarbejde og lovgivning
Foringelse af den hygiejniske vandkvalitet	Reducere tilledningen af urensset spildevand/overløbsvand til vandløb og kyster	Øget sikkerhed ifm. regnvandshåndtering	Se kapitel om Vand i Byer for klimatilpasningsdetaljer
Øget temperatur stress påvirkning af de marine økosystemer	Reducering af andre stress faktorer som fx øget næringssaltsbelastning, fiskeri etc.	Beskyttelse af truede organismer/arter	Vil kunne indvirke på dele af den danske industri (fiskeri & landbrug) og evt. på anvendelsen af naturen i nogle områder
Ændrede levebetingelser for dyr og planter	Ingen direkte virkemidler	Påvirkning af biodiversiteten	Indførsel af arter som er tilpasset nye temperatur- og salinitetsforhold kan overvejes. Dette er i dag ikke tilladt under den nuværende lovgivning og bør under alle omstændigheder undersøges nøje. Alternativt kan arter som ikke kan overleve et ændret klima nedprioriteres.

VAND I BYER

Klimaændringer (nedbør, temperatur, havspejlsstigning) vil på forskellig vis påvirke vandets kredsløb i de danske byer. Derfor er det vigtigt at se på afløbssystemerne, renseanlæg, overløb fra afløbssystemerne til åer, søer, fjorde mv. samt transport af vand på byens overflader, herunder veje og stier. Den ændrede påvirkning vil stille nye krav til byplanlægningen.



De klimascenarier, som eksisterer i dag, viser at nedbørsforholdene over Danmark forventes at ændre sig betydeligt. Det forventes, at den årlige nedbør ændres, så den stiger om vinteren, og at den akkumulerede regnmængde om sommeren reduceres, men at sommerens tordenbyger bliver kraftigere.

Alt i alt vil renseanlæggene om vinteren modtage mere vand fra fælleskloakerede afløbssystemer³⁹. Den øgede regnmængde om vinteren kan give flere overløb fra kloakker med forurenede vand til recipienter (fx søer og åer). De kraftigere tordenbyger om sommeren vil derudover give anledning til flere oversvømmelser med skader i byerne, mere vand skal transporteres på vejene, og der vil ske flere overløb fra afløbssystem til recipienter. Hertil kommer, at byer med kystlinie kan forvente, at en øget havniveaustigning vil øge risikoen for oversvømmelser fra hav samt kombinerede oversvømmelser fra både hav og nedbør. Derudover kan strømningsforholdene i bymæssige vandløb ændres, så mulighederne for afledning af byvand reduceres og oversvømmelsesrisikoen i byen forøges.

I Danmark er der ca. 57.000 km kloakledning. Værdien af kloakker og renseanlæg vurderes til at være mere end 100 mia. kr. Årlige udgifter til drift, vedligehold og udbygning er 7 mia. kr.

39. Kloaksystemer hvor regnvand og spildevand løber samlet.

Hertil kommer et efterslæb på renovering; 16 pct. af kloaksystemet vurderes af FRI til at være saneringsmodent⁴⁰.

De økonomiske omkostninger ved ikke at tilpasse byernes afvandingssystemer til et ændret klima er ganske store. Et simpelt casestudie⁴¹ baseret på Roskilde by indikerer, at omkostningerne til oversvømmelse vil stige med omtrent 900 pct. i løbet af 100 år under antagelse af uændret by og afvandingssystem. Tilpasning i form af større afstrømningskapacitet reducerer omkostningerne markant; i den nævnte undersøgelse var tilbagebetalingstiden ganske få år. En teknisk simpel og oplagt mulighed er at øge kloaksystemets kapacitet via større rør, øget udnyttelse mv., når de eksisterende systemer alligevel skulle udskiftes, hvilket var løsningen i undersøgelsen i Roskilde. Der forventes dog at være et endnu større potentiale i at samtænke afstrømningskapacitet med øvrige byelementer, så byens robusthed øges. Intelligent byplanlægning skal sikre, at der ikke placeres børnehaver, alderdomshjem, el-skabe m.m. i byområder, hvor analyser viser, at der sker oversvømmelser i fremtiden.

40. Foreningen af Rådgivende Ingeniører, 2008

41. Arnbjerg-Nielsen, K., og Fleischer, H. S. (2009): Feasible adaptation strategies for increased risk of flooding in cities due to climate change. *Water Science and Technology*, 60, 2, 273-281

Det er derfor vigtigt, at den bymæssige infrastruktur analyseres i tide og forberedes til at kunne håndtere de forventede øgede nedbørsmængder. Så der kan ske en forsvarlig og sikker håndtering af regn- og spildevand i henhold til love og regler, samtidig med at økonomien i investeringerne optimeres.

Klimaeffekter

OVERSVØMMELSER FRA AFLØBSSYSTEMER

Danske afløbssystemer dimensioneres i dag til at være fyldte hvert 5. eller 10. år afhængigt af, om afløbssystemet kun indeholder regnvand, eller regnvand blandet med spildevand. Kloaksystemer er altså designet til at kunne håndtere regnvand op til en vis mængde, og det betyder, at udsatte områder i danske byer gennemsnitligt oversvømmes med en sandsynlighed på 10pct. om året eller højere.

Man kan i dag med stor sikkerhed udpege de udsatte byområder. Dette gælder både for dagens og for fremtidens klima. I fremtiden vil flere og større byområder end i dag blive oversvømmet, hvis regnintensiteten øges, uden at afløbssystemet klimatilpasses. Flere undersøgelser⁴² peger på, at de økonomiske konsekvenser af at undlade at ændre på byens udformning er meget store, og at det er samfundsøkonomisk fordelagtigt at øge byens robusthed overfor store nedbørshændelser.

42. Samfundsøkonomisk screening af klimatilpasning. Energistyrelsen juni 2010 og Klimatilpasning af afløbssystemer og metodeafprøvning. Økonomisk analyse. Miljøprojekt nr. 1187. Miljøstyrelsen 2007

OVERLØB TIL RECIPIENTER

Danske afløbssystemer blev tidligere designet til at måtte aflaste (sende regnvand blandet med spildevand) til recipienter (fx søer, åer og fjorde), såfremt vandføringen i afløbssystemet var seks gange tørvejrsvandføringen. Denne designpraksis er ændret over årene, og nu anvendes målsætninger, som er fastsat på baggrund af den enkelte recipients sårbarhed overfor spildevand.

ÆNDEDE TILLØB TIL RENSEANLÆG

Årsnedbøren i Danmark vil øges, således at der falder mere regn om vinteren og mindre (akkumuleret) om sommeren. Renseanlæg vil derfor blive belastet med større mængder koldt vand om vinteren. Det vil skade de biologiske processer på renseanlægget og dermed renseanlæggets funktion. Omvendt vil generelt højere temperaturer om vinteren og mindre anvendelse af glatførebekæmpelsesmidler være til fordel for renseanlæggene. Der er udført enkelte studier i udlandet, men den kombinerede effekt af fordele og ulemper er ikke godt belyst.

ÆNDRET GRUNDVANDSSTAND

Hvis grundvandsstanden ændres, kan det få indflydelse på mængden af grundvand, der trænger ind i afløbssystemet. Derudover er vandstanden i den sekundære grundvandszone afgørende for, hvor meget vand der løber til regnvands-, fællessystem og vandløb. Denne effekt har haft særlig stor betydning de sidste fem år, hvor der i 2007, 2009 og 2010 var flere tilfælde af ekstremregn med korte mellemrum, som fik grundvandsstanden i de øvre lag til at stige. Når det sker, kan vandet ikke trænge ned i jorden og dermed forøges overfladeafstrømninger til afstrømningssystemerne. Den forven-

tede stigning i ekstremregn kan have betydning for lokale grundvandsforhold. Specielt i områder med grove, sandede jordlag kan der under meget intense regnskyl forekomme en hurtig stigning i grundvandsstand, der kan trænge ind i kloakker, kældre og andre dybtliggende konstruktioner. Samtidig kan der forekomme forstyrrelser i grundvandssænkingsanlæg, hvor der pumpes fra øvre grundvandsmagasiner.

POTENTIELLE PROBLEMER

Mange steder i Danmark kan der opstå et sammenfald mellem ekstremregn og høj vandstand i de omgivne vådområder som søer, vandløb og fjorde. Hvis der er fx højvande reduceres muligheden for afledning af regnvand, og dette forøger risikoen for oversvømmelser i byen. Denne type af sammenfald er pt. dårligt belyst, men det anses dog for givet, at problemet vil være størst om efteråret for søer og vandløb, mens fjorde og hav vil give problemer i vinterhalvåret.

Danmark udgav som det første land i verden en konkret anvisning til, hvordan klimatilpasning til øget risiko for oversvømmelser af byer skulle håndteres. Denne anvisning er stadig gældende og har vundet anerkendelse internationalt. Der er dog ingen tvivl om, at der er behov for mere nuancerede retningslinjer fremadrettet, hvor samspillet i hele byens kredsløb analyseres samlet som grundlag for beslutninger om hvilke tiltag, der skal i værksættes. Her er der et stort behov for analyser og bedre anbefalinger, end dem som er udgivet hidtil.

Mulige klimatilpasningstiltag

Kloaksektoren er kendetegnet ved store anlæg med en lang levetid (op til 100 år). Der sker en

løbende planlægning og tilpasning i sektoren, og der er allerede indført nye dimensioneringspraksisser, som sikrer, at dimensioneringen af nye kloakker er tilpasset klimaændringerne. Danmarks Klimatilpasningsstrategi fra 2008 angiver, at tilpasning af kloaknettet vil give marginalt øgede udgifter, hvis tilpasningen sker i forbindelse med kloakreovering. Ingeniørforeningens spildevandskomité anbefaler, at kloakkerne fremtidigt dimensioneres i forhold til en 30 pct. større regnintensitet⁴³. En undersøgelse for By- og Landskabsstyrelsen⁴⁴ tyder på, at det er samfundsøkonomisk fordelagtigt at gøre kloakkerne større, sammenlignet med de følgeskader, der ellers vil kunne ske ved oversvømmelser i byområder. Hertil kommer, at der er mange andre klimatilpasningstiltag, som kosteffektivt kan reducere oversvømmelserne i danske byer.

BEVIDST HÅNDBLIVNING AF EKSTREMREGN

Arbejdet med at reducere klimaeffekters negative virkninger på afløbssystemer har til formål at reducere skader på samfundsværdier – enten ved at reducere oversvømmelsernes omfang eller ved at reducere skaden gennem klog forvaltning af potentielle oversvømmelser. Det er her et vigtigt punkt, at vandet på terræn ikke nødvendigvis forårsager uforholdsmæssigt store skader. Der bør dog altid tilstræbes, 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.

43. Ref. Skrift 29

44. Miljøstyrelsen, 2007

Der er et klart behov for, at alle kommuner udarbejder beredskabsplaner, som beskriver hvad henholdsvis kommune og borgere skal foretage sig, og hvordan borgerne skal forholde sig.

Belastningen fra skader fra oversvømmelser kan reduceres ved at reducere skadens hyppighed eller omfang. Reduktionen af skader kan eksempelvis bestå i:

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

REDUKTION AF EFFEKTERNE FRA FORØGET REGN

De forventede større nedbørsmængder i byerne skal enten bortledes eller opmagasineres på en måde, som er miljømæssigt 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 afstrømning af regnvand fra opstrøms områder fx i form af faskiner.
- Midlertidig, kontrolleret opmagasinering af regnvand, fx ved brug af vådområder.
- Forøgelse af transportkapaciteten væk fra sårbare områder, bl.a. i form af afløbssystemer (større rør, bassiner m.m.), men også ved anvendelse af overflader, der er robuste overfor transport af vand såsom veje.

Den aktuelle diskussion i Danmark er ofte knyttet til et valg mellem "større rør" eller "faskiner". Flere undersøgelser peger på, at det er samfundsøkonomisk optimalt at vælge "større rør" frem for "faskiner"⁴⁵, men dels kan inddragelse af andre kriterier medføre, at "faskiner" foretrækkes, og dels er der – som det fremgår af ovenstående – mange andre muligheder at vælge imellem. Den optimale tilpasning vil være afhængig af de lokale forhold og kan i mange tilfælde bestå i et mix af de tre typer af tiltag.

Helt centralt for valget af tiltag er mulighederne for et aktivt samarbejde med andre aktører, herunder især de kommunale byplanlæggere.

BEREDSKABSPLANER

Uanset om der sker en effektiv tilpasning til de nye vejrfænomener, vil der være situationer, hvor det ikke kan betale sig at "bygge sig til større sikkerhed", fordi omkostningerne til sikring mod skader klart overstiger omkostningen ved, at der sker skader. Derfor skal fysisk tilpasning af infrastruktur suppleres med "bløde tiltag", i form af varsling og information til borgerne om skadesreducerende handlinger, som borgeren selv kan foretage før og under ekstreme hændelser.

Der skal i god tid udarbejdes de nødvendige planer under inddragelse (eller i det mindste orientering) af borgere, så der er en vis grad af enighed omkring tiltag og ansvar, inden den ekstreme hændelse indtræffer. Umiddelbart før og under ekstremvejr-situationer vil der hos

45. Fx Zhou et al, 2012. Framework for economic pluvial flood risk assessment considering climate change effects and adaptation benefits. Journal of Hydrology, 414-415, 539-549. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.11.031

myndigheder og hos borgere være en række nødvendige tiltag, som, afhængig af graden af det ekstreme vejr, vil skulle foretages. Der er et klart behov for, at alle kommuner udarbejder beredskabsplaner, som beskriver hvad henholdsvis kommune og borgere skal foretage sig, og hvordan borgerne skal forholde sig. Den bevidste håndtering af ekstreme situationer består af:

- kortlægning af risiko og skader
- en udarbejdelse og implementering af varsling
- beredskabsplaner

Alle kommuner skal – som del af det generelle civile beredskab – lave en beredskabsplan. Der er ingen krav om, at der skal laves en specifik beredskabsplan for kloakker og renseanlæg. En del kommuner har dog lavet sådanne planer. En beredskabsplan for kloakker og renseanlæg vil normalt tage højde for en række forhold, der er kritisk for funktionen af kloakanlæg, fx nedbrud af elforsyning, stormflodsskader ved udsatte lokaliteter, personale/entreprenørberedskab til nødsituationer. I forbindelse med en risikovurdering vil det være hensigtsmæssigt at have:

- Egentlige fysiske foranstaltninger til at reducere effekterne af en oversvømmelsessituation
- Beredskab til akut ad hoc indsats på baggrund af udarbejdede lister over sårbare områder, herunder en prioritering af indsatsen
- Information/varslinger både internt i kommunens drift og eksternt

Interessentinddragelse, usikkerhedsvurderinger og tværsektorielle vurderinger

Borgere rammes vidt forskelligt af oversvømmelser fra afløbssystemer afhængigt af, om de er tilknyttet fælleskloakerede afløbssystemer, regnvandsystemer, og afhængigt af, hvor de bor i byen. Det faktiske serviceniveau er derfor ikke det samme i hele byen. Når danske byers afløbssystemer skal klimatilpasses, er det rimeligt, at borgerne høres om, hvad fremtidens serviceniveau skal være, fx i form af sikring mod oversvømmelser. Det vil sige, serviceniveauet i dag skal dokumenteres for alle borgere, og det fremtidige serviceniveau skal besluttes i samråd med borgerne. Hertil kommer, at der skal foretages en identifikation af fremtidens potentielle problemer, som borgerne skal gøres bekendte med. På baggrund af dagens serviceniveau, sammenholdt med fremtidens potentielle problemer – designes en åben, dokumenteret og offentlig proces, som kan dække beslutningsgrundlaget for en klimatilpasningsplan.

USIKKERHEDSVURDERINGER

Usikkerheden på beregninger af oversvømmelser fra afløbssystemer kan ikke ignoreres. En simpel, men væsentlig, usikkerhed, er at hændelserne er sjældne. Der skal måles i mange år for at kunne bestemme, hvor kraftig nedbør der falder hvert 10. år. I mellemtiden er der sikkert ændret på byens udseende, så selv med en antagelse om uændret nedbør vil sandsynligheden for oversvømmelse ikke være konstant. Dertil varierer nedbørshændelser i tid og sted, sådan at hvad der er en sjælden og skadevoldende hændelse i den ene ende af byen, kan være en harmløs sommerbyge i en anden bydel. Endelig er der stor usikkerhed om, hvad en given hændelse forvolder af skade i praksis, og hvad der opfattes som acceptable skader for borgerne og kommunen.

Nedenfor er kort beskrevet de væsentligste usikkerheder i forbindelse med at lave konkrete beregninger, der kan dimensionere afstrømning fra byer givet målinger af nedbør og et valgt niveau for hyppighed af skader.

For de fleste områder i Danmark findes regnserier for nedbøren gennem de sidste ca. 30 år. I mange tilfælde benyttes ved beregninger på afløbssystemer alle regnhændelser i en sådan regnserie, og der laves så en statistisk bearbejdning af resultaterne. Herved fås konsekvenser af alle regn svarende til forskellige gentagelsesperioder. En anden metode består i at foretage en beregning på en forenklet model af det betragtede opland og derudfra udpege de regn, der bedst repræsenterer de gentagelsesperioder, som ønskes analyseret nærmere og så med disse regn udføre de ønskede detaljerede analyser af systemets funktion. Endelig kan man ud fra de lokale regnserier, eller den regionale model, opstille CDSregn (generere kunstige dimensioneringsregn) svarende til de ønskede gentagelsesperioder. Anvendelsen af CDS-regn er i øvrigt eneste mulighed, hvis regn med lange gentagelsesperioder ønskes anvendt. På grund af regnseriernes begrænsede længde er der for den enkelte serie stor usikkerhed på regn med gentagelsesperioder på 10 år og længere, og det anbefales derfor at benytte CDS-regn, når sådanne gentagelsesperioder skal betragtes.

Som beskrevet tidligere kan man i beregninger let indføre en valgt faktor, "klimafaktor", på CDS-regnene og på den måde belaste afløbssystemerne svarende til den forventede forøgelse af nedbøren. Det vil sige, at det anbefales, at man ud fra kendskab til hidtidig regn det givne sted i landet laver en fremskrivning af alle regn, og indtil bedre viden foreligger, gør dette ved

at benytte en klimafaktor for ekstremregn⁴⁶. I løbet af få år vil det formodentlig blive teknisk muligt at generere hele lokale regnserier svarende til en valgt klimaprognose. Herved vil det blive muligt – også for de fremtidige forhold – at beregne fx aflastninger til recipienter og andre forhold, som kræver inddragelse af alle regn.

SAMMENHÆNG I BYENS PLANLÆGNING

Vand i byen kan ikke vurderes isoleret. Det skal ses i sammenhæng med mange andre discipliner. For at opnå en økonomisk optimal implementering af klimatilpasning er det især vigtigt at etablere en samlet analyseramme omkring afvanding og byplanlægning, men ved en bredere vurdering af bæredygtighed bliver også vandressourceforvaltning meget vigtigt. Endvidere skal alle aspekter af bygninger og infrastruktur, der er sårbare overfor oversvømmelser naturligvis inddrages.

En klimatilpasningsplan for "Vand i byer" bør sikre en sammenhæng mellem en del sektorer og planer, fx spildevandsplanen, kloakfornyelsesplanen, beredskabsplanen samt kommuneplan, lokalplaner, planer for vandkvalitet mv. i det følgende er disse planer kort beskrevet:

I henhold til miljøbeskyttelsesloven skal alle kommuner udarbejde en spildevandsplan. I spildevandsplanen beskrives status og plan for spildevandshåndteringen i kommunen. Afløbssystemets karakter, tilsluttede industrier mv. skal være beskrevet. I spildevandsplanen skal kommunen forholde sig til den øvrige relevante planlægning, vandområdemålsætninger, kommuneplan og lokalplaner.

46. jf. Skrift 29

I lokalplanlægningen er et vigtigt tiltag igangværende lovgivning, som giver kommunerne hjemmel til at varetage klimatilpasnings- og forureningshensyn ved klimalokalplaner. Det kan blive et nyt tværgående planlægningsredskab. I tilknytning til spildevandsplanen er kommunen pligtig til at udarbejde en kloakfornyelsesplan (også kaldet kloakreoveringsplan, vedligeholdelsesplan eller kloaksaneringsplan). Kloakfornyelsesplanen skal indeholde en vurdering af kloakkernes tilstand, en målfastsættelse, en opgørelse af fornyelsesbehov og endelig en plan for fornyelsen.

Det er vigtigt at indtænke effekter af klimaændringer og ekstremregn i arbejdet med spildevandsplaner. I forbindelse med udarbejdelsen af spildevandsplanen er kommunerne pligtige til at forholde sig til den øvrige planlægning og sikre overensstemmelse. Således vil kommuneplaner og lokalplaner kunne være styrende for spildevandsafledning, særligt med hensyn til tilladelige befæstelsesgrader og til fx fastsættelse af mindst tilladte sokkelkoter. Ligeledes bør kommunen forholde sig til hvilke konsekvenser mere ekstremregn vil få for vandkvaliteten i recipienter.

Alle kommuner skal – som del af det generelle civile beredskab – lave en beredskabsplan. Der er ingen krav om, at der skal laves en specifik beredskabsplan for kloakker og renseanlæg.

Klimaeffekter kan også få indflydelse på den øvrige planlægning, særligt kommuneplan, lokalplaner, planer for vandkvalitet, vandplaner mv. Kommuneplanen er kommunens plan for arealanvendelse og er derfor det rette sted at allokere plads til opmagasinering af vand, så som bassiner, våde enge osv. Her kan beskrives

retningslinjer for forebyggelsen af oversvømmelser, fx at der kan gives tilladelse til høje sokler på husene i lokalplanen. Det skal her bemærkes, at tidshorisonterne i klimascenarierne på 50-100 år ligger langt ud over tidsplaner i både spildevandsplaner og de kommende vandplaner efter Vandrammedirektivet, som opererer med tidshorisonter på 15 til 30 år.

Ved kommende kommunale planstrategier og kommuneplanrevisioner kan der tages stilling til klimatilpasning ved fremtidige arealudlæg og ved stillingtagen til beliggenheder af allerede udlagte arealer i forhold til effekter af fremtidige klimatiske forhold.

OVERVÅGNING/MONITERING

Når der opstår et konkret behov for klimatilpasning, bør det inkluderes i den daglige drift og vedligeholdelse og på den måde reducere investeringsbehovet. Klimatilpasningen af det danske samfund er en dynamisk proces, der fremover vil skulle revurderes løbende, i takt med at de mest sandsynlige klimascenarier bliver justeret, så nutidens vejr indgår som historisk information, og klimamodellerne opdateres. Der er derfor behov for at indbygge en rullende planlægningsstrategi i klimatilpasningen.

For at kunne korrigere de langsigtede investeringer i samfundet skal myndighederne foretage en opdatering og en eventuel nødvendig justering af planerne for klimatilpasningsaktiviteterne. Der skal derfor tilvejebringes viden om forskellige typer af infrastruktur for at finde ud af, hvornår det er økonomisk optimalt at klimatilpasse. Dette resulterer i at klimatilpasningsplaner løbende skal opdateres og investeringsbehovet op- eller nedjusteres. Det

anbefales, at byens planer opdateres på baggrund af seneste autoritative viden om klimaændringer i Danmark.

Anbefalinger til rammebetingelser

I forbindelse med udarbejdelsen af klimatilpasningsplaner er det nødvendigt at skabe et overblik over sårbarheden af byen og behovet for klimatilpasning af eksisterende infrastruktur med lange levetider (dvs. mere end 25 år). Det skal undersøges og offentliggøres, til hvilket niveau infrastruktur og borgere i dag er beskyttet mod oversvømmelser. Fremtidige niveauer for beskyttelse af infrastruktur og borgere bør ikke mindst vælges på baggrund af en risikoanalyse.

Beslutningsgrundlaget for, hvilket niveau der vælges, skal indeholde økonomiske analyser af, hvad det koster at skabe en bedre beskyttelse, contra omkostningen, såfremt der sker en (evt. sjælden) skade. Hvad koster det fx at ændre årligt tilbagevendende oversvømmelser i et område til, at oversvømmelsesrisikoen svarer til hvert tiende år? Sådanne metoder til struktureret vurdering er udarbejdet, men er endnu kun anvendt i forskningsmæssig sammenhæng.

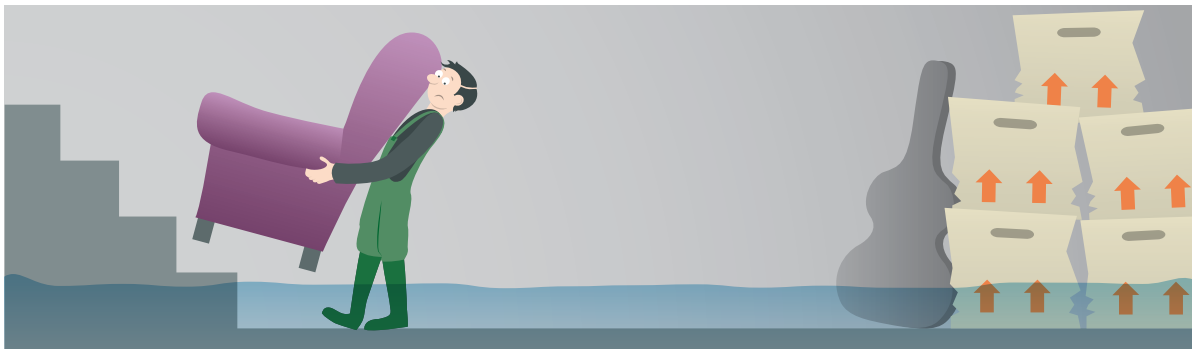
Når behovet for klimatilpasning er fastlagt, skal vedligeholdelses- og økonomiplaner opdateres til at reflektere det nye behov for investeringer.

Tabel 4. Eksempler på klimatilpasningstiltag og deres virkninger med hensyn til vand i byer

KLIMAEFFEKT – TRUSSEL	KLIMATILPASNINGSTILTAG	VIRKNING AF TILTAG	KOMMENTAR
Flere skadesvoldende oversvømmelser	Lokal tilbageholdelse/forsinkelse af regnafstrømning, mindskelse af hårde overflader	Reduktion/udjævning af afstrømningshydrograf; øget grundvandsdannelse	Effekten af de elementer som anvendes i dag til lokal tilbageholdelse af regn varierer en del. Fx har brug af regnvandstønder så godt som ingen effekt på reduktion af oversvømmelser, mens afkobling af tagarealer til faskiner, kan være effektivt hvis faskinen er relativt stor. Det anbefales at analysere disse forhold før de anvendes.
	Udvidelse af kapaciteten af afløbssystemet; herunder større rør og større bassinvolument	Større tilløb til renselanlæg; tyndere spildevand i fælleskloaker under kraftig regn	Dette er en traditionelle tilgang til reduktion af oversvømmelser, som ikke er specielt grøn, men som kan være meget effektiv.
	Byplanlægning og bevidst brug af overflader til opmagasinering og transport af regnvand	Bevidst viden om af hvilke områder som oversvømmes, fx ved "kontrollerede" oversvømmelser	Dette bruges kun i begrænset omfang i dag – da lovgivning og traditioner ikke tilskynder det.
	Reduktion af interaktion med oversvømmelsen	Færre skader, fx i form af ødelagte biler; syge mennesker	Der foretages ikke en reduktion af selve oversvømmelsens omfang – mennesker handler blot mere intelligent.
	Realtids varsling af oversvømmelser	Mulighed for at iværksætte målrettede beredskabsplaner tidligere. Information til borgere om hensigtsmæssig adfærd før oversvømmelse indtræffer	Det kræver at der er handlemuligheder for at gøre noget ved oversvømmelsen. Dvs. tilgængelig og tilstrækkelig ekstra pumpekapacitet. Dette tiltag reducere ikke selve oversvømmelsen, og der er meget lille erfaring i Danmark med, hvor meget skader kan reduceres ad denne vej.
	Beredskab til håndtering af oversvømmelser	Reduktion af interaktion og bevidst valg af sårbarhed ud fra "risk aversion" tankegang.	Dette kræver planlægning, som typisk ikke gennemføres i dag i Danmark.
Større overløbsmængder til recipienter	Opstrøms/lokal tilbageholdelse/forsinkelse af regnafstrømning	Reduktion/udjævning af afstrømningshydrograf; øget grundvandsdannelse	Kan medføre at grundvandet stiger, så det trænger ind i kældre, m.m.
	Udvidelse af kapaciteten af afløbssystemet; herunder større rør og større bassinvolument	Mere vand til renselanlæg og dermed; tyndere spildevand i fælleskloaker under kraftig regn	Kan medføre et effektiviteten af renselanlæg reduceres
Forøget tilstrømning til renselanlæg om vinteren	Opstrøms/lokal tilbageholdelse/forsinkelse af regnafstrømning	Reduktion/udjævning af afstrømningshydrograf; øget grundvandsdannelse	I det omfang af ekstra nedbør (ikke ekstrem regn) kan nedsives, så det ikke belaster afløbssystemet, så fjernes påvirkningen af renselanlægget.
	Udvidelse af kapaciteten af afløbssystemet; herunder større rør og større bassinvolument	Større tilløb til renselanlæg; tyndere spildevand i fælleskloaker under kraftig regn. Større mængder koldere spildevand kan nedsætte proceshastigheden på renselanlægget – og forringe rensel-effekten.	Kan medføre et effektiviteten af renselanlæg reduceres
Ændret (højere) grundvandsstand	Etablering af dræn	Forøget belastning på afløbssystem og renselanlæg; fortynding af spildevand i fælleskloakerede systemer.	Det er ikke alle steder i Danmark, at det forventes at klimaændringerne giver anledning til et højere grundvandspejl.

KLIMATILPASNING AF BYGGERIET

Værdien af det samlede byggeri i Danmark er meget stor. Bygningssektoren er kendetegnet ved store anlægsomkostninger og lange levetider – ofte mere end 100 år. Det samlede skadesbeløb, og den følgende samfundsøkonomiske påvirkning, kan derfor blive meget høj i tilfælde af ekstreme vejsituationer. Forebyggende klimatilpasninger af byggeriet må forventes at være billigere end nødværgeforanstaltninger. Det er derfor afgørende at sikre, at byggeriet tilpasses fremtidens klimaforandringer.



Der er forskel på klimatilpasning af fremtidigt byggeri og tilpasning af eksisterende byggeri. Det gældende bygningsreglement regulerer primært nybyggeri og større renoveringer af eksisterende bygninger. På begge områder bør de fremtidige klimaændringer udløse strengere normkrav end i dag.

Mindre renoveringer, vedligehold og ombygninger af eksisterende byggeri er næsten ikke reguleret i dag. Af hensyn til bygningernes funktionalitet, drift, vedligeholdelsesbehov, risiko for skader mv., vil de kommende klimaændringer også medføre behov for tilpasning af eksisterende byggeri.

Klimaeffektens betydning for det byggede miljø

Klimaændringer vil påvirke bygninger og byggeri i form af øget middelvind samt hyppigere og kraftigere stormhændelser. Dertil kommer øget nedbør og hyppigere ekstremnedbør, højere grundvandsspejl, et generelt varmere klima med varmere og fugtigere vintre med mere vinternedbør samt varmere og tørrere somre.

Og endelig vil der opstå flere varmeø-effekter, der består i, at udetemperaturerne i byområder stiger ekstraordinært som følge af en kombination af solopvarmning af overfladerne om dagen, oplagring af den indstrålede varme i bygninger, belægninger mv. og manglende afkøling via vind og fordampning. Effekten er især markant under hedeølger og kan variere meget afhængigt af fx

lokale vindforhold, valg af materialer, forekomsten af vandoverflader og grønne planter.

På kort sigt vil ændringerne i nedbør, herunder øget forekomst af meget kraftige regnskyl og storme antageligt være de mest betydningsfulde ændringer for byggeriet.

De forventede klimaeffekter vil umiddelbart øge risikoen for forskellige typer af bygningsskader, der ofte vil være fulgt af betydelige følgeskader og andre afledte problemer for brugerne af de ramte bygninger. Konsekvenserne af skaderne strækker sig således fra øgede udgifter til akut vedligehold til alvorlige skader på de værdier og tekniske systemer bygningerne rummer, samt indeklimateffekter og – i værste fald tab af menneskeliv. Følgeskaderne kan i nogle tilfælde have langt større betydning end de umiddelbare skader på de ramte bygninger.

Alt i alt vil klimaændringerne medføre vigtige ændringer i forudsætningerne for opførelse af velfungerende byggeri i Danmark. Disse ændringer vil både skabe behov for udvikling af klimatilpasset arkitektur samt afføde nye koncepter og krav til håndtering af regnvand, ventilation, køling mv. ligesom det vil påvirke dimensioneringen af bygningers bærende konstruktioner. Ændrede klimavilkår for bygninger og byrum kan også udfordre til nye arkitektoniske og energivenlige løsninger.

Følgeskaderne kan i nogle tilfælde have langt større betydning end de umiddelbare skader på de ramte bygninger.

Mulige klimatilpasningstiltag

Der vil naturligvis være forskel på muligheder for klimatilpasning af nybyggeri og i eksisterende bygninger. Mulighederne kan dog også begrænses af beliggenheden. Orienteringen af en ny bygning i eksisterende bymidte vil som regel være givet, hvorimod placering i en ny udstykning, i udkanten af en by eller i det åbne land vil give større mulighed for en optimeret orientering af nybyggeri. De beskrevne klimatilpasningstiltag bør afspejles i fremtidige forskrifter for byggeri i byggelov og bygningsreglementer.

ØGET TEMPERATUR – BETYDNING FOR BYGGERIET

Det varmere klima betyder en ændring i energiforbruget over året i bygninger. Energibehovet for rumopvarmning i de kolde perioder vil blive reduceret og dermed give en økonomisk gevinst. Desuden bliver betingelserne for at opretholde et godt termisk indeklima i bygninger ændret. Som følge heraf vil energibehovet til rumopvarmning i de kolde perioder generelt blive reduceret.

Mildere vintre vil resultere i øget luftfugtighed i udeluften, og da der er mindre behov for opvarmning af udeluften til ventilation, vil luftfugtigheden stige i bygningerne. Optræder der kuldebroer i klimaskærmen vil der være risiko for kondens og efterfølgende forekomst af skimmelsvamp.

Tilsvarende vil behovet for ventilation, køling og solafskærmning i de varme perioder blive forøget, hvilket kan føre til voksende elforbrug om sommeren. Derudover øges risikoen for indeklimaproblemer.

I nogle byområder kan længere og varmere hedebløgger, i kombination med den såkaldte

varmeø-effekt, desuden føre til perioder med ekstraordinært høje udetemperaturer. Det kan både medføre behov for ekstra køling og gener i forhold til indeklimaet, der i værste fald kan indebære en sundhedsmæssig risiko. Det er dog usikkert, hvor alvorlige problemer, der kan forventes i Danmark.

Bygningers placering, orientering og udformning har betydning for, hvordan solindfald og temperaturer påvirker energiforbrug og behov for køling. Der er således gode muligheder for at minimere uønskede sol- og temperaturpåvirkninger og behovet for "afhjælpende løsninger" i forbindelse med disse valg.

SOLAFSKÆRMNING REDUCERER KØLEBEHOVET

Solafskærmning er en energieffektiv måde at reducere kølebehovet i bygninger. Dette omfatter både aktive og passive tekniske løsninger på og ved bygninger, samt "grønne" løsninger baseret på fx espalier, træer mv. på udearealerne. Den mest effektive solafskærmning er ved en udvendig placering og automatisk styret. Investering og driftsudgifter følger i et vist omfang effektiviteten, men man skal være opmærksom på levetid og driftsudgifter i forbindelse med aktive tekniske systemer og grønne løsninger.

Kravene til energiforbruget i ventilationsanlæg kan forventes strammet i takt med at temperaturen stiger og stramninger vedrørende bygningers energiforbrug. Dette kan opnås ved at effektiviteten af motorer og ventilatorer forøges, og modstanden i ventilationskanalerne kan reduceres. I fremtiden skal der anvendes større kanaldimensioner end i dag, og hvilket stiller større pladskrav til kanaler fx under loft og i installationsskakter. Dette er en særlig udfordring i eksisterende bygninger.

NYE BETINGELSER FOR VENTILATION OG KØLING

Brugen af alternative energikilder til erstatning for fossile brændsler vil betyde øget brug af lavtemperatur opvarmning (fx gulvvarme) og højtemperatur køling (via grundvandskøling og/eller sæsonlagring). Opvarmning eller afkøling af ventilationsluften bliver mindre effektiv pga. mindre temperaturdifferens. Dette kræver umiddelbart større varmevekslere til ventilationsaggregaterne og større pladskrav i teknikrum.

Anvendelsen af naturlig eller hybrid ventilation om natten eller forøget ventilation med udeluft kan køle en bygning ned uden brug af køleanlæg i en stor del af de varme perioder. Med de varmere somre mindskes de perioder, hvor natkøling er mulig. Natkøling om sommeren kan dog forårsage en relativ høj luftfugtighed i bygninger, som kan forøge problemer med vækst af skimmel og husstøvmider, med forøgede allergiproblemer til følge.

Bygningers tunge konstruktioner (termiske masse) bør være eksponeret mest muligt for rumluften, så der opnås en temperaturudjævning over døgnet og forøget effekt af natkøling. I eksisterende byggeri, hvor konstruktionerne ikke kan ændres, eller i nybyggeri, hvor den termiske masse ønskes forøget, kan brugen af fase-skiftende materialer være en relevant løsning.

Energibehovet til opvarmning, varmt brugsvand, ventilation, teknik og belysning i nybyggeri er i dag normreguleret, men dette gælder ikke for apparater. Disses energiforbrug er en del af varmebelastningen og påvirker dermed indeklimaet. Det er derfor vigtigt, at der anvendes de mest energieffektive apparater, såsom it-hardware, hårde hvidevarer og elektriske hæve-sænke borde for at minimere kølebehovet i bygningen.

VURDERING AF INDEKLIMA PÅ LANGT SIGT

Ved nybyggeri eller større ombygninger vil det være vigtigt for bygherren at få en vurdering af de fremtidige indeklimateforhold om sommeren i 2050 og evt. 2100. Herved kan det bedømmes om bygningen har en fornuftig ydeevne i relation til fremtidens klima. Der findes i dag simuleringprogrammer, der kan give realistiske data til brug ved denne vurdering.

Vurderingen af indeklimateforholdene om sommeren, midt i eller i slutningen af dette århundrede, vil være begrænset af de byggematerialer og -komponenter, som findes på markedet i dag. Det kan fx tænkes, at der vil komme dynamiske ruder på markedet i en bedre kvalitet og et større omfang end i dag. Sol- og dagslysegen-skaberne af dynamiske ruder kan styres og integreres med bygningsautomatikken. Da ruder er den del af klimaskærmen, som er nemmest at udskifte, vil dynamiske ruder med gode egenskaber hurtigt kunne anvendes i eksisterende bygninger, og derved forbedre deres ydeevne.

De fremtidige højere temperaturer i bygninger vil især påvirke mindre børn, ældre og sygdomsramte personer. Der kan derfor forventes et behov for særlig opmærksomhed på forbedring af indeklimaet, herunder anvendelse af køling, i daginstitutioner, plejehjem, hospitaler og ældreboliger.

MANGE MULIGHEDER I GRØNNE TAGE

Grønne tage og facader kan virke kølende på indeklimaet i bygninger og på deres omgivelser. Den kølende effekt fra grønne tage skyldes fordampning (evapotranspiration), som påvirker omgivelserne. Størrelsen af denne effekt er ikke præcist dokumenteret for grønne tage på

det danske marked og under danske forhold. Den direkte effekt i forhold til bygningerne begrænses af tagenes isolering. Til gengæld kan der både være en gavnlig effekt i forhold til ventilation og i forhold til lokal overophedning i nærområdet, især i tætte byområder (varmeø-effekten). Afkølingen kan også medvirke til at øge effektiviteten af solcelleanlæg. Endelig kan grønne tage bidrage til øget biodiversitet og være et positivt æstetisk/arkitektonisk bidrag.

Grønne tage er, som regel, lettest at etablere i nye bygninger. Det kan være meget vanskeligt at indpasse i eksisterende byggeri, som har en ringe isoleret tagkonstruktion (fx 100 mm mineraluld) med begrænset bæreevne, som skal rettes op, inden der eventuelt etableres grønt tag. Endvidere kan grønne tage kun benyttes op til en hvis hældning.

Ud over grønne tage, findes der "kølige tage", som er kendetegnet ved, at der benyttes lyse tagdækningsmaterialer (fx tegl eller tagpap), som reflekterer en stor del af solindstrålingen så tagets overfladetemperatur mindskes. En positiv konsekvens af det varmere klima, er de forbedrede muligheder for udendørsaktiviteter og -ophold. Derfor bør mulighederne overvejes for ophold uden for bygningerne i form af gårdhaver, altaner, tagterrasser overdækninger, markiser, sejldug o. lign. i forbindelse med nybyggeri og ved renovering af eksisterende byggeri. Løv-fældende træer og buske om byggeriet vil have en højere fordampning end fx græs og dermed en større, lokal kølevirkning.

MATERIALEVALG I ET NYT PERSPEKTIV

Det forøgede antal solskinstimer i fremtiden vil give en større UV-belastning og dermed øget

vedligeholdelse, idet en del byggematerialer, såsom træ, plast og maling, vil nedbrydes hurtigere. De udvendige byggematerialer bør derfor overvejes nøjere end i dag.

Et mildere klima vil resultere i flere angreb af råd og husbukke, og dermed stille større krav til byggematerialer og vedligeholdelse. I særlige tilfælde kan det være nødvendigt at etablere konstruktiv beskyttelse, affugtning o. lign

Med et generelt varmere klima vil gennemsnitstemperaturen hæves i de øvre jordlag, og sammenholdt med mindre nedbør om sommeren vil behovet for vanding af udendørs beplantning og vegetation øges. En mulighed er at se på hvilke planter, der anvendes sydpå i Europa i dag, og som fx er mere tørkeresistente.

Forøgede gennemsnitstemperaturer i de øvre jordlag kan betyde mere lugt fra kloakker. Det vil lugte typisk fra skel- og rensebrønde samt fra afløb, hvis vandlåsene ikke er fyldt tilstrækkeligt pga. fordampning.

TAGKONSTRUKTIONER UDFORDRES

På grund af det fugtigere vejr og øget nedbør om vinteren kan der falde mere tøsne, og hvis der efterfølgende kommer regn, kan belastningen på tagene blive meget stor. Ved snestorme kan tøsneen samle sig i tunge driver og udsætte bygninger og specielt tagkonstruktionerne for øget asymmetrisk belastning. Det vil derfor være relevant at overveje, om tagfladens udformning, lokale forhold etc. øger risikoen for store ophobninger af tøsne, og dermed behovet for stærkere konstruktioner, både i eksisterende byggeri og nybyggeri. Endvidere bør der tages højde for risikoen for sneskred fra tage.

Rotter, lus, mider og andre skadedyr vil have større chancer for at overleve vinteren på grund af det mildere klima.

Der kan forventes flere perioder med skift mellem frost og tø i løbet af vinteren, og derved tilfælde af, at smeltevand fryser igen. Hvis smeltevandet er trængt ind i klimaskærmen inden genfrysning, vil det bevirke yderligere skader, dvs. frostsprængning. Det er af stor betydning, at smeltevandet kan ledes væk fra bygningen, selv hvis jorden skulle være frossen. Der er derfor brug for god terrænregulering og effektive afløbssystemer.

SKADEDYR I ET VARMERE KLIMA

Derudover vil der forekomme ændringer forårsaget af det varmere klima, såsom fugtigere vintre, tørrere somre, øget skydække (specielt om vinteren), højere grundvandsstand, oftere udtørring af øvre jordlag om sommeren, øget risiko for kloakoversvømmelse, nye arter af skadedyr og -organismer, osv.

Rotter, lus, mider og andre skadedyr vil have større chancer for at overleve vinteren på grund af det mildere klima. Dermed bliver der øget behov for bekæmpelse af og forebyggelse mod disse skadedyr. For eksempel kan det overvejes at installere systemer, som forhindrer rotter i at trænge ind i bygninger via kloakker.

KRAFTIGERE VINDE OG SVAGE KONSTRUKTIONER

Der forventes ikke generelt markant ændring i middelvinden frem til næste århundredeskifte. Det er i forhold til de kraftige vinde eller storme, at de største ændringer forventes. Prognoserne viser, at det vil være om vinteren, at de kraftigste storme vil forekomme, og deres styrke vil måske blive forøget med op til 10 pct. i år 2100 i forhold til i dag, men endnu er der stor usikkerhed omkring, hvor meget kraftigere fremtidens storme bliver.

Omkring eksisterende byggeri kan det ofte være relevant med forstærkning af svage konstruktioner eller konstruktioner med udsat beliggenhed. For eksempel er lette tage med lav hældning fra perioden 1950-60 udpeget som et område, hvor der mange steder allerede i dag er brug for bedre forankring. Generelt vil de problemer der allerede ses i dag omkring tage og gavle forværres under fremtidens klima. Sammenlignet med nybyggeri vil det som regel være en del dyrere at skulle forstærke eksisterende konstruktioner.

FUNDAMENTER OG DESIGN SKAL HOLDE REGNVAND UDE AF BYGNINGERNE

En af de mest betydende klimaændringer vil være ændringerne i nedbørsmønstret i Danmark. Kapaciteten i det offentlige kloaksystem har stor betydning for afløbsmulighederne for den enkelte bygning eller matrikel, særligt ved ekstremregn, og størrelsen af kapaciteten vil være udenfor bygningsejeres og -brugeres direkte indflydelse. I tilfælde af ekstremregn vil der være øget afstrømning på plæner og jordoverflader, og derved kan der strømme en del vand ind på grunden fra højereliggende naboarealer. Grunden omkring bygningen skal udformes på en sådan måde, at regnvand kan ledes bort på en effektiv og kontrolleret måde.

Den forventede årlige nedbørsmængde vil over tid øge grundvandsstanden i de øvre magasiner. Derfor kan der forventes øget vandtryk på kældervægge, øget opdrift på fundamenter og kældre samt øget risiko for opstigende grundfugt. Desuden vil en større variation i nedbøren over året betyde større variationer i vandindholdet i de øvre jordlag end i dag. Heraf følger, at der kan forventes flere problemer med vandindtrængning i eksisterende kældre og risiko for skimmelangreb.

Grønne tage vil øge mulighederne for biologisk mangfoldighed i byområder, og mulighederne for støvbinding er en del større end ved normale tage.

I nybyggeri skal der tages højde for denne på længere sigt øgede grundvandsstand. Nye fundamenter bør derfor overvejes forstærket. Eksisterende fundamenter bør observeres for problemer og om nødvendigt forstærkes.

Der er desuden gode muligheder for at forebygge vandindtrængen via udformningen af indgangspartier, udvendige trapper til kældre og andre lavtliggende lokaler, lyskasser, kældervinduer mv. Selv om det er lettest at forebygge ved nybyggeri, vil det i mange tilfælde også være muligt at opnå forbedringer af eksisterende bygninger.

Ved niveaufri adgang i nybyggeri kan der forventes betydelige udfordringer i at lede vandet effektivt fra bygningen. Her kan der benyttes riste med afløbsmuligheder ved indgangsdørene. Etablering af omfangsdræn er som regel meget billigere ved nybyggeri end ved eksisterende byggeri. Det vil være en måde at forebygge problemer med indtrængende vand fra øget grundvandsstand og fra længerevarende kraftig regn. Omfangsdrænet kan kombineres med en pumpebrønd, hvis forholdene taler for det. Sammen med omfangsdræn vil anvendelsen af udvendig fugtisolering som regel være et nødvendigt tiltag til at sikre tørre kældervægge og dermed en mere anvendelig kælder.

Ved ekstreme nedbørhændelser kan det forekomme, at kloaksystemet bliver overbelastet, så der sker opstuvning. Det kan resultere i, at spildevandet oversvømmer kældre. Dette kan afværges ved installation af højvandsslukke på bygningens afløb. Se mere om klimatilpasning af afløbssystemer i afsnittet: "Vand i byer".

GRØNNE TAGE KAN TILBAGEHOLDE REGNVAND

En del af regnvandet vil blive tilbageholdt i vegetationen og dets underlag på taget. Der findes desuden koncepter med grønne facader med tilsvarende effekt. Til vegetation kan benyttes sedum, græsser, mosser og større planter.

Grønne tage er en ekstra belastning på tagkonstruktionen, og inden anlæg skal dette tages i betragtning. Haveanlæg og græs på taget kræver en vis tykkelse af jordlaget. Nogle sedumtyper er meget lette, og der behøves derfor en forankring til tagfladen. Generelt vil anlæg af grønne tage være billigere ved nybyggeri end på eksisterende bygninger, hvor det kan være for dyrt at forstærke tagkonstruktionen. Brandteknisk kan det være en udfordring at have fx. et visnet græstag, pga. den relativ store, brændbare masse. I modsætning hertil vil den brændbare masse være meget begrænset ved et visnet sedum- eller mostag.

Grønne tage kan reducere den årlige afstrømning fra tagarealer og derved reducere basisbelastningen fra den enkelte bygning på afløbssystem og renseanlæg. Under ekstrem regn vurderes det pt., at effekten af de grønne tage er en del mindre da de typisk kan tilbageholde 10-15 mm regn. Nogle af de "tunge" løsninger kan dog have væsentlig større effekt. Det skal ses i lyset af de seneste års "monsterregn", hvor der bl.a. i 2011 blev målt 135 mm i forbindelse med hændelsen den 2. juli. Effekten af grønne tage under danske forhold er endnu dårligt dokumenteret, hvorfor grundlaget for dimensionering af regnvandssystemer med grønne tage er dårligt.

Grønne tage vil øge mulighederne for biologisk mangfoldighed i byområder, og mulighederne for støvbinding er en del større end ved normale tage.

REGNVAND FRA TAGFLADER TIL NEDSIVNING

Regnvand fra tagflader kan ledes fra nedløb ad permanente render til bygningens græsarealer således, at vandet bliver ledt effektivt væk fra bygningens fundament. Den del af græsplænen, som modtager regnvand, vil blive vådere og blødere, mens det regner og umiddelbart efter, og dermed mindre anvendelig til færdsel. En meget udbredt måde at nedsive regnvand på er ved faskiner, som er et volumen i jorden, hvorfra regnvandet kan sive ud i jorden og ned til grundvandet. Førhen var faskiner lavet med sten, mens det nu typisk er opbygget af plastkassetter. Faskiner optager ikke plads på jordoverfladen og begrænser således ikke brugen af grunden. Faskiner kan også være infiltrationsbrønde, som er nedgravede brønde med perforerede sider og bunde.

Lokale forhold afgør i vid udstrækning, hvorvidt nedsivning af regnvand på bygningens grund kan lade sig gøre. Jordbundsforhold kan umuliggøre nedsivning fx meget fed lerjord. Gammel forurening kan ligge i de øvre jordlag og være forsejlet øverst. I tilfælde af nedsivning af regnvand vil nogle forurenings typer muligvis blive transporteret ned i grundvandsmagasinerne. Nedsivning vil forøge grundvandsstanden i de øvre magasiner, og det skal derfor sikres, at nedsivningen ikke vil forårsage fugtproblemer i byggeriet. Der er en række måder at foretage nedsivning af regnvand på. Det vil være muligt – og der er måske brug for – at kombinere disse tiltag og således opnå tilstrækkelig nedsivningskapacitet.

En simpel tilgang vil være at have permeabel arealer på bygningens grund. En permeabel belægning er kendetegnet ved, at regnvandet kan sive igennem belægningen (åben porestruktur) eller imellem de enkelte elementer (porøse fuger).

Endnu en mulighed er et regnbed, der skal graves ned i terrænet, så det har en passende kapacitet. Planterne i bedet kan tåle såvel den korte tid, hvor der er regnvand, som de mere tørre perioder. I regnbedet kan vandet fordampe, nedsive og blive ledt videre til fx en faskine til forsinkelse og nedsivning. Endvidere kan regnbede have en rekreativ værdi og forbedre mulighederne for biologisk mangfoldighed.

OPSAMLING OG GENBRUG AF REGNVAND

Opsamling og genbrug af regnvand i bygninger er i Danmark kun tilladt fra tagflader⁴⁷. Først og fremmest kan regnvandet anvendes til vanding, men det kan også anvendes til toiletskyl og tøjvask. Det kræver selvstændige installationer at genbruge regnvand til toiletskyl og tøjvask, og indtil nu er der lovmæssige begrænsninger i forhold til offentlige bygninger. Der er færdige systemer på markedet til dette, dvs. med lagertank, filtre, pumper og styring. Systemet placeres i jorden ved byggeriet eller i et kælderrum. Herved kommer der mindst muligt lys til vandet, og temperaturen er lav, så der sker mindst mulig vækst af bakterier og andet.

I nogle kommuner gives der i dag økonomisk kompensation, når regnvand ikke sendes i den offentlige kloak, da det forøger grundvandsressourcerne og reducerer afledningen af regnvand til kloakkerne. Med en kompensation for genbrug af regnvand kan den simple økonomiske tilbagebetalingstid bringes ned til omkring 30 år.

47. TI-vejledningen

FOREBYG NEDBRUD AF IT-SYSTEMER

Mange af de afledte problemer ved oversvømmelser i/af bygninger vil kunne forebygges via mere bevidst placering eller bedre beskyttelse af følsomme tekniske installationer, inventar og andre værdier. Selv om det medfører udgifter til omlægning af installationer, etablering af nye lagerfaciliteter mv. vil det ofte være en god investering, set i forhold til de udgifter og andre gener nedbrudte it-systemer mv. kan have.

Endelig kan bedre lokalt beredskab til håndtering af de oversvømmelser, som vil komme, have meget stor effekt i forhold til at begrænse skaderne og sikre effektiv og korrekt udbedring. Det kan både omfatte simple tiltag, som pumper, sandsække mv. (valgt på baggrund af lokale erfaringer og risikovurdering) og planer og metoder for udbedring, der minimerer risiko for senere følgevirkninger som skimmelsvamp, sætninger mv. Omkostninger ved disse afledte virkninger kan være meget større end den umiddelbare skade. På dette område er der både behov for nye løsninger og kompetenceudvikling.

BYGGERI I KYSTOMRÅDER

På grund af klimaforandringerne forventes der en generel havniveaustigning ved de danske kyster på 1 m (+/- 0,5m) i løbet af indeværende århundrede. Ud over øget erosion af kysterne vil der også kunne forventes større risiko for oversvømmelser af kystnære arealer, permanent og i forbindelse med stormflod.

Ved nybyggeri i kystnære områder skal der ske en vurdering af oversvømmelsesrisikoen. Myndighederne bør således være mere restriktive med at give byggetilladelse i lavtliggende kystområder. Lokalt kan det overvejes at øge sokkel-

højden på byggeriet, og specielt anvendelse af kældre skal overvejes nøje.

Ved eksisterende byggeri i kystnære områder kan et digitalt værktøj ligeledes anvendes til vurdering af fremtidig oversvømmelsesrisiko. Her er det vigtigt, at centrale myndigheder udmelder hvilke centrale scenarier de lokale myndigheder skal benytte i deres vurderinger af oversvømmelsesrisici. Det kan overvejes, om der er mulighed for at etablere midlertidige afspærringer af kælder og indgangsdøre ved stor oversvømmelsesrisiko. Det kan være en mulighed at sløjfe kælderetagen, da det vil blive for kostbart at holde den tør.

Øget havvandstand vil resultere i en højere grundvandsstand i kystnære områder med deraf følgende udfordringer for både nybyggeri og eksisterende byggeri. Der vil derfor kunne forekomme øget vandtryk på kældervægge, øget opdrift på fundamenter og kældre, opstigende fugt m.m. Foranstaltningerne i denne forbindelse kan være dræning, konstruktiv beskyttelse og pumpebrønde. Med øget grundvandsstand som følge af øget havvandstand i kystnære områder vil risikoen for saltindhold i grundvandet være til stede i disse områder. I tilfælde af at privat vandforsyning rammes af et for højt saltindhold, er der ikke anden mulighed end at skifte til offentlig vandforsyning.

Øget havvandstand og øget stormstyrke vil forstærke erosionen af kyster, og afhængigt af byggeriets beliggenhed, kan det blive nødvendigt at etablere eller udvide erosionsbeskyttelse. Herudover kan mange af de tiltag, som beskytter bygninger og deres indhold ved oversvømmelser som følge af regn, også have effekt ved oversvømmelser af havvand.

Interessentinddragelse

I forbindelse med klimatilpasning af byggeri vil det ofte være hensigtsmæssigt, eller direkte nødvendigt at inddrage mange forhold og interesser, som rækker ud over den enkelte bygning. Det skyldes både at problemerne, fx. i forbindelse med oversvømmelser, ofte er skabt andre steder end i den ramte bygning, og at den samfundsmæssigt optimale løsning kun kan findes via systemtilgang og helhedssyn, der også inddrager de infrastrukturer og omgivelser, bygningen indgår i.

INDDRAGELSESPERSPEKTIVER VED KLIMATILPASNING AF BYGNINGER

1. Bygningens lokalisering, opdatering af risikoområder mht. kysterosion og oversvømmelse grundet øget nedbør eller stigende havniveau
2. Samspil med infrastrukturer, nærområdets byggede miljø og natur
3. Bygningens placering og udformning
4. Valg af løsninger
5. Drift, vedligehold og anvendelse af bygninger

Tilsvarende vil man med fordel kunne benytte en trinvis tilgang, når de optimale løsninger skal findes.

TRIN VED VALG AF LØSNING

1. Forebygge påvirkninger
2. Reducere/afhjælpe konsekvenser
3. Beredskab

Endelig er der behov for processer og offentlig regulering, der sikrer samarbejde og dialog mellem de mange forskellige private og offentlige parter, der har (forskellige) interesser på området.

Helhedssyn og systemtænkning

Systemisk helhedstænkning, hvor alle niveauer af forhold i forbindelse med klimatilpasning er i spil, forudsætter overblik og involverer mange aktører, som ikke nødvendigvis har samme umiddelbare interesser, indsigt og muligheder. Man kan derfor heller ikke forvente, at den enkelte bygningsejer vil og kan vælge de optimale løsninger. Bygningsejeren kan fx stå overfor valget mellem etablering af grønne tage, lokal afledning af regnvand eller forsinkelsesbassiner til håndtering af regnvand. Det kræver både overblik over og indsigt i lokalplanlægningen i bygningens nærområde at kunne tage denne beslutning på et oplyst grundlag.

Derfor har de offentlige myndigheder, i samarbejde med forsyningsselskaberne en vigtig opgave i forbindelse med at informere, skabe incitament og rammer i form af lokalplaner, spildevandsplaner, tilskudsordninger og takststrukturer mv., der sikrer optimale løsninger.

På de fleste områder findes redskaberne allerede, men de anvendes endnu ikke som led i en samlet strategi for klimatilpasning. Der er dog langt flere muligheder for at påvirke løsningen

gerne ved nybyggeri end ved at igangsætte initiativer i eksisterende bygninger og byområder. Her er der antageligt behov for nye virkemidler.

Usikkerhedsvurderinger

Der vil være store lokale variationer i forhold til, hvordan de enkelte bygninger og bebyggelser vil blive berørt af fremtidens klimaændringer. Disse variationer gælder både effekten af hede-bølger (varmeø-effekten), kraftige regnskyl og vindstød.

Tilsvarende variationer findes i forhold til viden om muligheder og effekt ved anvendelse af forskellige løsninger fx i forbindelse med grønne tage, lokal afledning af regnvand og begrønning.

Der er således behov for bedre datagrundlag og beregningsredskaber på disse områder, som kan danne grundlag for planlægning og beslutninger på by- og projektniveau. Man kan blandt andet nævne danske tilpassede normer for beregning af effekten af grønne tage. Usikkerheden knyttet til fremtidens temperaturforhold repræsenterer også et stort samlet problemfelt.

Tværasektorielle vurderinger

På bygningsområdet er det vigtigt at samtænke udfordringerne og strategierne for klimatilpasning og nedbringelse af CO₂-udledning fra energiforbruget. Denne samtænkning er nødvendig for at forebygge dårlige løsninger og fejlinvesteringer, men rummer også muligheder for synergi og bedre økonomi i bygningsprojekter.

Denne samtænkning skal både ske ved nybyggeri og renovering, og i mange tilfælde vil der være gode muligheder for synergi og samlet

billiggørelse ved integration af klimatilpasninger ved løsning af andre renoveringsbehov. Det gælder både renovering af udearealer, kloakker, tag, vinduer, varme- og ventilationssystemer, og samtænkning med energirenovering. Øget fokus på klimaforebyggelse ved forebyggende vedligeholdelse af udsatte bygningsdele (tag, nedløb, kloakker mv.) vil have tilsvarende effekt.

Endelig er der behov for tværgående tænkning/koordinering af krav til byggeri (nybyggeri og renovering), planer for forsyning (energi, kloak, vand, it).

KLIMATILPASNING OG LAVENERGIBYGGERI

Nogle af de vigtigste problemstillinger er knyttet til fremtidens energikrav til byggeri og til samspillet mellem energibesparelser, lavenergi-byggeri og indeklimate.

Klimaændringerne forventes at medføre generelt højere temperaturer og kraftigere hede-bølger inden for levetiden af det meste nybyggeri og for mange eksisterende bygninger. Alligevel tager de fleste overvejelser om fremtidens energikrav til bygninger udgangspunkt i de nuværende klimatiske forhold.

I den forbindelse er der især behov for øget fokus på samspillet mellem energibesparelser og sikring af et godt indeklimate. Styringsteknologier, tætning af bygninger og udnyttelse af energitilskud fra solindfald og aktiviteter i bygningerne er vigtige elementer i bestræbelserne for at mindske energiforbruget til opvarmning. Ændringer i temperaturer og mønstre for hede-bølger kan imidlertid medføre væsentlige ændringer i forhold til de anvendte forudsætninger ved beregninger og valg af løsninger.

Klimaændringerne forventes at medføre generelt højere temperaturer og kraftigere hedebølger inden for levetiden af det meste nybyggeri og for mange eksisterende bygninger.

Derfor er der stor risiko for, at dagens projekter ikke sikrer et godt indeklima i fremtiden.

Disse forhold aktualiserer også diskussionen af, hvor langt man bør gå i forhold til energibesparelser på især opvarmningsområdet. Disse overvejelser bør især ses i sammenhæng med behovet for at reducere elforbruget, hvor ventilation og køling af "overophedede" bygninger kan blive et voksende problem. Desuden bør overvejelserne ses i sammenhæng med de lokale muligheder for CO₂-neutral opvarmning og køling, så der ikke kun fokuseres på den enkelte bygning.

Endelig kan man pege på samspillet mellem den enkelte bygning og de tiltag, man kan gennemføre for at forebygge/mindske risikoen for lokalt forhøjede temperaturer i byområder (varmeø-effekter). Det omfatter fx begrønning og håndtering af vand i byen.

Det anbefales at disse problemstillinger håndteres i forbindelse med de kommende ændringer af bygningsreglementet, planer for energiforsyning, kommuneplaner og kommunernes klimaplaner. De bør også udløse en bredere diskussion af arkitektur og systemvalg der på en gang sikrer, at dagens projekter både er fremtidssikret i forhold til klimaændringer og CO₂-reduktion.

Samtænkningen skal også ske i forbindelse med de enkelte projekter, men det sker kun hvis den offentlige regulering skaber incitament og mulighed for dette. Information, kompetenceudvikling hos byggeriets aktører, og i nogle tilfælde nye løsninger, er også nødvendigt.

Table 5. Eksempler på klimatilpasningstiltag og deres virkning med hensyn til bygninger

KLIMAEFFEKT – TRUSSEL	KLIMATILPASNINGSTILTAG	VIRKNING AF TILTAG	KOMMENTAR
Varmere somre – Højere temperaturer	Udnyt passive tiltag videst muligt: · optimal placering og orientering af byggeri · optimal størrelse og orientering af vinduesarealer · fjernkøling og natkøling · naturlig ventilation · termisk masse m.v.	Køling og bedre termisk komfort indendørs på varme dage	Mange positive konsekvenser fx bedre muligheder for udendørsaktiviteter
	Effektiv, automatisk solafskærmning		Mulighed for effektiv dagslysudnyttelse
	Minimering af interne varmelaster		Bedre indeklima
	Forbered forhold for øget udeliv		Mere fokus på bygning og dens nære omgivelser
	Isolering af vandstikledning eller dybere placering		Kræver flere undersøgelser – før det i værksættes
	Bygninger for særligt udsatte befolkningsgrupper skal forberedes til køling, evt. yderligere køling		Nedsætter helbredsrisici under hedebløjer for de grupper
Øget UV-belastning og flere angreb af råd samt husbukke	Brug af mere holdbare/robuste alternativer til udvendige bygematerialer og -komponenter Opdatering af bygningsreglement, normer og standarder	Mindre udvendig vedligehold	Nogle traditionelle materialer og komponenter skal sikkert helt opgives
Oversvømmelse af bygninger	Byplanlægning, herunder planer for byernes vand og grønne områder koordineret med myndighedskrav til byggeri	Viden om byens sårbarhed og reduceret omfang af oversvømmelseskader	Der skal bruges oversvømmelseskort som en aktiv del af byplanlægningen.
	Overvågning/dataindsamling, varsling og beredskab	Reduceret omfang af skader fra oversvømmelser.	Oversvømmelseskort skal indgå i planlægning af beredskab og indsats
Højere luftfugtighed	Minimér kuldebroerne i klimaskærmen	undgår kondens og skimmel	Forbedrer det termiske indeklima i fyringssæsonen
Mere tøsne	Konstruer tage til forøgede asymmetriske belastninger på tagkonstruktioner.	Færre tag- og bygningskollaps	Kan give arkitektoniske begrænsninger og muligheder ved nybyggeri
Oftere skift mellem tøj og frost	Led smeltevand effektivt væk fra byggeriet	Reducerer fugt- og frostskeer udvendigt på bygninger	Det bør sikres at smeltevandet ikke forvolder skader det ny sted, som det ledes hen.
Flere skadedyr	Mere forebyggelse og bekæmpelse af skadedyr	Færre skadedyr	Der kan komme nye arter af skadedyr til Danmark, som der pt. ikke er programmer til bekæmpelse af.

fortsættes på næste side

fortsat

KLIMAEFFEKT – TRUSSEL	KLIMATILPASNINGSTILTAG	VIRKNING AF TILTAG	KOMMENTAR	
Hyppigere og kraftigere storme	Ved udsatte beliggenheder skal der være øgede krav til nybyggeri	Færre stormskader på nybyggeri		
	Screening og forstærkning af tage og gavle på eksisterende byggeri	Identificering af udsatte tagkonstruktioner og mere robuste bygninger		
	Mere kvalitetssikring ved udførelse	Den forudsatte styrke af konstruktionerne opnås	Giver færre fejl og mangler i byggeriet	
	Analysér af risiko ved træer, kræner, inddækninger, stilladser o. lign. i nærheden af bygninger	Reducerer antallet af stormskader		
	Øget overvågning/dataindsamling, varsling og beredskab	Reducerer antallet af stormskader	Beredskabet skal også have muligheder at handle aktivt	
Øget variation af vandindhold i øvre jordlag	Forstærkning af fundamenter – både ved nybyggeri og eksisterende byggeri	Undgå sætningsskader på fundamenter		
Øget grundvandsstand i øvre magasiner	Fugtisolerering og omfangsdræn	Forebygger opstigende grundfugt, indregn øget opdrift på konstruktioner og fundamenter samt højere vandtryk bl.a. ved		
Hyppigere ekstremregn	Effektiv og kontrolleret bortledning af regnvand fra bygninger	Undgå fugtskader på bygninger, inventar og andre værdier samt skader på tekniske infrastrukturer i bygninger med følgeskader som skimmelsvamp og afledte problemer ved nedbrud af vitale IT-systemer	Vil påvirke bygningers nære omgivelser i et vist omfang. Der er mulighed for udnytte LAR-elementer til positive bidrag i omkring bygningerne.	
	Forebyg vandindtrængen via indgangspartier, trapper, vinduer, lyskasser, dræn mv. Særlig indsats rettet mod bygninger med særlig funktion, værdier og følsomme tekniske systemer.			
	Forebyg oversvømmelse af kældre med højvandslukke el. lign.			
	"Lokal Afledning af Regnvand " og/eller forsinkelse: <ul style="list-style-type: none"> · genbrug af regnvand til toiletskyl, havevandning, · grønne tage og facader, der optager regnvand · faskiner og tilsvarende nedsvivning · permeable belægning og/eller græs · infiltrationsbrønde · render og grøfter, regnbæde, våde og tørre bassiner, søer · sandfang og øvrige bassiner med renseseffekt, hvis nødvendigt 			
	Bedre placering/beskyttelse af tekniske systemer, inventar og andre værdier i bygninger. Særlig indsats rettet mod bygninger med særlig funktion, værdier og følsomme tekniske systemer.			
	Systematisk eftersyn og vedligehold af tage, tagrender, nedløb, kloakker mv.			Bør være en del af normal vedligeholdelse.
	Beredskab med varsling, procedurer, pumper, sandsække mv.	Minimere skader fra oversvømmelser		
	Spildevandsplaner, som bl.a. involverer separering, krav til dimensionering, LAR, håndtering af ekstremregn, og er koordineret med byplanlægning og myndighedskrav til bygninger.			
Planer for beskyttelse af særlige værdier, sårbare funktioner og installationer				
Ændrede afregningssystemer, tilskud og andre incitamenter til at borgerne selv håndterer sit regnvand				
Overvågning/dataindsamling, varsling og beredskab				

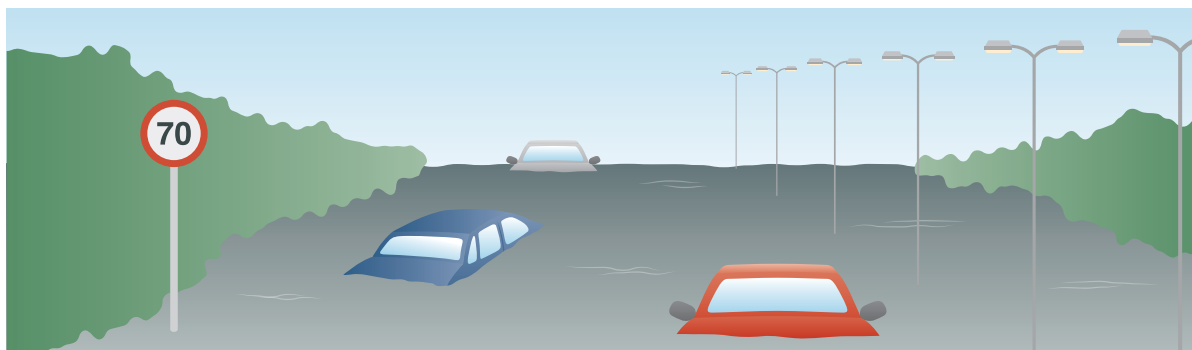
fortsættes på næste side

fortsat

KLIMAEFFEKT – TRUSSEL	KLIMATILPASNINGSTILTAG	VIRKNING AF TILTAG	KOMMENTAR
Kraftigere stormfloder	Vurdering af oversvømmelsesrisikoen ved nybyggeri i kystnæreområder herunder revurdering af lavtliggende områder som er udlagt til byggeri. Vurderingerne medfører krav til anvendelse af områderne.	Forebygger skader fra oversvømmelser i kommende bebyggede områder	
	Vurdering af behovet for permanente foranstaltninger, fx digebeskyttelse.	Reducerede skader fra oversvømmelser	
Højere grundvandsstand i kystnære områder	Fugtisolering og omfangsdræn	Forebygger opstigende grundfugt, indregnet øget opdrift på konstruktioner og fundamenter samt højere vandtryk bl.a. ved	

TRANSPORTSEKTORENS KLIMATILPASNING

Transportsektorens klimatilpasning har primært fokus på bane og vej. Lufttransport er ikke inddraget i kapitlet, da det ikke vurderes, at klimaforandringerne vil få effekter for lufttransport, der har væsentlig betydning for planlægning og fremtidige investeringer. Heller ikke skibsfart behandles her, da de væsentligste problemstillinger om havne er behandlet i kapitlet Havet og kysten.



For bane og vej gælder det, at øget nedbør og øget temperatur er de største udfordringer i Danmark. Screeningen af klimavariablerne i relation til banestrækninger viser, at der kan forekomme væsentlige ændrede påvirkninger af baneanlægget som følge af de fremtidige ændrede nedbørmønstre, temperatur og vindforhold. Vejene vil især være sårbare over for øget nedbør og mere ekstremt vejr.

Klimaeffekter

REGN

Med klimaændringerne følger øget årlig nedbør og hyppigere forekomster af kraftig sommernedbør, hvilket de eksisterende afvandingssystemer omkring baner og veje ikke er dimensioneret til at håndtere.

For baneanlæg er det vurderet, at der er behov for at kortlægge effekten af klimapåvirkningerne på afvandingen af jernbanen i form af rør og grøfter, samt vandløbsunderføringerne, hvor vandløb krydser under banen. På denne baggrund skal dimensionering af rør, grøfter og dæmninger tilpasses, og der skal afklares et muligt behov for at reducere en forøget vandføring i underløb fx ved etablering af regnvandsbassiner. Undlades det at klimatilpasse baneanlæggets afvandingssystemer, er der stor risiko for vand i jernbanens bærelag, hvilket kan medføre erosion og skred i banedæmnin-

gen, og der vil opstå behov for at bygge nye banedæmninger.

På eksisterende veje er risikoen for kraftigere regn den største udfordring. Vandet skal kunne ledes væk for at sikre vejenes holdbarhed og for at undgå akvaplaning og nedsat fremkommelighed for trafikanterne. Hertil kommer risiko for flere oversvømmelser og erosion – en udfordring for afløbssystemer og erosionsbeskyttelse, og for udformning og vedligeholdelse af sten- og jorddiger samt broer.

Forurening/miljøspørgsmål

Mere regn og mere intense regnepisoder kan øge risikoen for ukontrolleret spredning af forurening. Kilderne kan være afstrømning af vejvand, forurening ophobet i sne som vaskes væk af kraftig regn, erosion og partikel transport fra omkringliggende områder, ukontrolleret erosion af sedimenter fra bassiner. Afstrømning af vand fra veje kan forårsage miljøproblemer i byområder og recipienter, hvis vandet udledes direkte til recipienter, eller afledes til kommunale kloakker med utilstrækkelig kapacitet.

GRUNDVANDSSTAND

Vandspejlets beliggenhed i de lokale og regionale grundvandsmagasiner har betydning for de geotekniske forhold og anlægsscenarierne for banestrækningerne. Hertil skal læg-

Mere regn og mere intense regnepisoder kan øge risikoen for ukontrolleret spredning af forurening.

ges effekten ved ekstremregn, og effekten af årstidsvariationer, som for sekundære grundvandsmagasiner kan være op til 1 meter på årsbasis, skal analyseres. Kombinationen af høj vandstand i grundvandsmagasinerne og ekstreme nedbørshændelser sammenfaldende med tilbagestuvning i magasinerne, vil være et worst case scenarium.

En højere grundvandsstand kan også give anledning til jordskred, som vil forekomme hyppigere, på nye steder og med en højere andel af "våde" jordskredstyper såsom: "slush laviner" og "debris flow". Højere grundvandstand kan forårsage utilstrækkelig dræning, som igen forringer veje og fortove som giver reduceret levetid.

VANDFØRING I VANDLØB

Forøget vandføring i vandløb kan resultere i utilstrækkelige afvandingsforhold og medføre hydrauliske flaskehalse i de krydsende vandløb, som dels kan give oversvømmelser i opstrøms barrieren, men som i yderste konsekvens ligeledes kan føre til underminering af jernbanen til fare for de togrejsendes sikkerhed.

HAVNIVEAUSTIGNINGER

På grund af klimaforandringerne forventes der en generel havniveaustigning ved de danske kyster på 1 m (+/- 0,5m) i løbet af indeværende århundrede. Dette vil ikke få væsentlig direkte betydning for størstedelen af banestrækningerne. Havstigningerne vil dog have en betydning for grundvandsstanden i kystnære områder. Udover den direkte påvirkning af de kystnære magasiner, vil der komme en indirekte påvirkning som følge af, at udløbskoten

for vandløbene til havet bliver hævet. Dermed reduceres vandløbenes dræningsevne, og der kan ske en tilbagestuvning af vandet i vandløbssystemerne. Denne tilbagestuvning kan medføre lækage af vand fra vandløb til grundvandsmagasinerne og en fornyet ligevægt med forhøjet grundvandsstand i grundvandsmagasinerne. Det samme gør sig gældende for afvandingskanaler, som har afløb til havet.

For vej kan virkningerne af stigende vandstand i havene påvirke kyst-stabilitet og kræve forhøjelse af veje, kajer og broer samt niveauet af tunneler under havniveau.

STIGENDE TEMPERATUR

En direkte konsekvens af de forventede højere temperaturer som følge af klimaændringerne, er øget risiko for driftsforstyrrelser som følge af solkurver. En solkurve opstår på jernbaneskinner, når skinnerne på grund af sol og varme udvider sig så meget, at sveller og skærver ikke længere kan holde skinnerne på plads, som derfor slår et slag ud til siden. Derved opstår en utilsigtet kurve i sporet, som i værste tilfælde kan medføre afsporing af tog. Det er især i forbindelse med såkaldte duoblok-sveller, som ruster, og hvor der er manglende ballast, denne risiko opstår. Ved høje skinnetemperaturer på strækninger, hvor der mangler ballast eller ligger duoblok-sveller, sætter togene derfor hastigheden ned. Solkurver er omfattet af den tekniske drifts løbende overvågning. Da nye banestrækninger og fornyelsesprojekter sker med monoblok-sveller og tilstrækkelig ballast, vurderes det, at de stigende temperaturer ikke udgør nogen stor risiko for banestrækningen, hvorfor yderligere afværgeforanstaltninger ikke anses for nødvendige.

Nye veje skal bygges og vedligeholdes i forhold til fremtidens klima.

De stigende temperaturer udgør også en forøget risiko for overophedning af banens sikringsanlæg om sommeren. Dette har Banedanmark allerede taget højde for, idet der i sikringsanlæggene er etableret køleanlæg for at beskytte mod temperaturstigninger. Der er derfor ikke umiddelbar grund til yderligere klimatilpasningstiltag. Det skal dog bemærkes, at der foreligger andre energiforsyningsmuligheder, udover eldrevne køleanlæg, til køling af sikringsanlæggene, fx solceller.

Klimaændringer vil give fordele for vejbestyrere, da mindre frost og mindre sne er forventet. Det vil sige, at det forventes, at udgifter til snefykning og saltning reduceres. Samtidig forventes flere passager af temperaturen gennem frysepunktet, hvilket giver øgede vejskader pga. frostsprængning af belægningen. Yderligere kommer der nye udfordringer, som skal adresseres, fx: usædvanlige kombinationer af vejrforhold, såsom oversvømmelser på frossen jord. Endelig kan tørke og høje sommertemperaturer give problemer for asfaltbelægning (pga. blødgøring af asfalt), men også for afstrømningen på grund af lavere permeabilitet af vejbelægningen i varmen.

ØGET VIND

Øget vind, med deraf følgende kraftigere storme, vil for elektrificerede jernbanestrækninger påvirke køreledninger, og føre til, at træer vælter og blokerer jernbanen. Banedanmark beskærer i øjeblikket træer for at mindske risikoen for stormfald, der kan skade jernbaneanlægget og medføre driftsforstyrrelser. Derfor vurderes det i denne screening, at der er fokus på og taget højde for den udfordring, som klimaændringernes øgede vindstyrke udgør.

Der er derfor ikke grund til yderligere klimatilpasningstiltag overfor de ændrede vindforhold. Imidlertid vil det være hensigtsmæssigt ved nyplantning af læhegn langs banen at gøre brug af et udvalg af lave buske tættest på banen og de højere buske og træer længere væk fra banen. Derved minimeres risikoen for at store træer vælter indover banen, samtidig med at hegnet kan opfylde funktionen som sne- og læhegn.

Mulige klimatilpasningstiltag

På nationalt plan, bør der ske strategiske tiltag og aktioner inden for vedligeholdelse og drift af veje og baner. Desuden bør der gennemføres tiltag, der tjener som klimatilpasning, men ikke desto mindre er gavnlige, uanset niveauet af de kommende klimaændringer. Der gennemføres allerede i dag en række tiltag, som del af det løbende vedligehold, så en del af behovet for klimatilpasning klares på denne måde. Klimatilpasning som en naturlig del af rutinemæssigt vedligehold er derfor ikke behandlet i dette afsnit.

Nye veje skal bygges og vedligeholdes i forhold til fremtidens klima. Der er derfor igangsat undersøgelser af, hvordan man kan opdatere de nuværende vejledninger for planlægning, anlæg og drift af veje⁴⁸.

KØRELEDNINGERNE DIMENSIONERES FOR VINDPÅVIRKNING

Træer bør ikke stå for tæt ved banelegemet eller køreledningerne, alternativt skal de være under løbende overvågning og beskæring for at mindske risikoen for, at træerne vælter ind over banelegemet. Ydermere bør det sikres, at

48. Transportministeriets Klimatilpasningsstrategi 2010

køreledninger dimensioneres for den vindpåvirkning, der statistisk set kan forekomme inden for konstruktionens levetid. Såfremt der er meldt forhøjede vindstyrker, der kan skabe driftsforstyrrelser på køreledningsanlæggene, har Banedanmark en procedure for hastighedsnedsættelser på specifikke steder. Ved langsom kørsel begrænses risikoen for ulykker.

VEJE SKAL KUNNE AFLEDE MERE REGNVAND

Der er i dag lavet nye krav til, hvorledes afvandningssystemerne langs vejene skal udformes, så de bliver bedre i stand til at lede vand væk fra vejbanen. Disse krav er implementeret i vejreglerne for afvandningssystemer for veje i Danmark. På statsvejnettet, dvs. motorveje og øvrige hovedlandeveje, skal der gennemføres en kortlægning af, hvor på vejnettet, der kan forventes at være særlig risiko for oversvømmelse. En sådan kortlægning bidrager til at forbedre prioriteringen af ressourcerne til klimatilpasning på det overordnede vejnet.

TRAFIKMELDINGER VED EKSTREME VEJSITUATIONER

Ved ekstreme vejsituationer, som voldsomme regnskyl med risiko for aquaplaning eller oversvømmelse, storme osv., spiller trafikmeldinger en central rolle i forhold til trafikanterne. De skal løbende kunne modtage helt aktuelle informationer om situationen på vejene fx via radio, mobiltelefonen eller GPS samt trafikledelsessystemer.

AFSTRØMNING OG NØDVENDIG DRÆNINGSKAPACITET

Øget nedbørsintensitet øger afstrømningen fra veje og dermed risikoen for oversvømmelser som overstiger kapaciteten af dræn i infrastrukturer,

der betjener vejsystemet. Afløbssystemerne skal derfor også integreres i planlægningen. Desuden kan usædvanlige kombinationer af vejr forekomme hyppigere i fremtiden, som regn på frosen jord. En anden udfordring ved øget nedbør er, at der vil være øget risiko for akvaplaning. Dette er et vigtigt sikkerhedsmæssigt aspekt, der bør overvejes, når der diskuteres kapaciteten af afløbssystemer for veje.

VEDLIGEHOLDELSESPROCEDURER OG PLANLÆGNING

Den effektive kapacitet i drænstrukturer, såsom grøfter og faskiner, afhænger bl.a. af vedligeholdelsesprocedurer. Med kraftigere nedbør og større maksimale afstrømninger og øget erosion og sedimenttransport, vil hyppigheden for nedbrud af eksisterende strukturer forventes at øges, hvis vedligeholdelsesprocedurer på dette område forbliver uændret. Dette er især vigtigt for økonomisk tunge aktiver som broer. De hyppigere og større oversvømmelser øger erosionen og udgør en større efterspørgsel på inspektion og vedligeholdelse af de sårbare strukturer. Korrekte metoder er nødvendige for at identificere sårbare aktiver med hensyn til forskellige typer af fundament og erosionsbeskyttelse.

Mange problemer som følge af oversvømmelse eller overdreven afstrømning kan undgås ved en bedre tilpasning af vejene. Lodret justering går ud på at ophøje vejen til et niveau med lille eller ingen risiko for oversvømmelser. Vandret justering handler om at placere vejen på en sådan måde, at den ikke udgør en barriere for vandveje, især ved sedimenttransport i oversvømmelsessituationer. Desuden bør områder med stor risiko for kysterosion undgås.

FORURENING/MILJØSPØRGSMÅL

Kraftigere regnhændelser kan øge risikoen for ukontrolleret spredning af forurening. Tilbageholdelsesbassiner og sedimentationbassiner er en god beskyttende foranstaltning – hvis den er tilstrækkeligt dimensioneret og placeret på en funktionel måde. Der er behov for en holistisk tilgang til design af dræning, hvor alle sider af vandforvaltning er inkluderet så **tidligt i planlægningsprocessen** som muligt.

Interessentinddragelse

Hvor ofte kan vi tillade, at man ikke kan køre på en vej pga. oversvømmelse?

Klimaændringerne kan medføre varige skader på anlægget, såfremt de ikke imødegås. Konsekvenserne ved at fravælge tilpasning kan være, at man i perioder må lukke veje og broer, indstille togdriften og flytrafikken – ting som allerede accepteres fx på de store broforbindelser, hvor broerne lukkes ved stærk storm. Det samme gælder for færgetrafik og luftfart. Men konsekvenserne af manglende tilpasning kan også være deciderede skader på infrastrukturanlæggene, som fx underminering af veje eller jernbaner ved kraftige regnskyl. Som det fremgår, er mange af udfordringerne håndteret i det nuværende arbejde med klimatilpasning. Midlertidig lukning af infrastruktur er ikke et nyt fænomen i Danmark, men interessenterne på området bør indgå i en dialog for at definere hvilke driftsforstyrrelser, som kan accepteres.

Tværasektorielle vurderinger

Mange tiltag, der reducerer mængden af vand på veje vil påvirke vandmiljø, afløbssystem og renselanlæg, hvis ikke der tages højde for både vandmiljø og transportforhold. Vejanlæg lig-

ger ofte i områder, hvor de indgår i et samlet bybillede, hvori der skal ske fælles tilpasning af infrastruktur veje, bane, afløbssystemer, bygninger osv. Klimatilpasning af bane og vej i byområder skal derfor ske i fællesskab.

Usikkerheders vurderinger

Ved nyanlæg er det muligt i planlægningsfasen at se på de enkelte delkomponenters karakteristika og levetid, samt de fremtidige påvirkninger på vej og bane. Den samfundsøkonomiske analyse (som indkluderer usikkerhedsanalyse på klimascenarierne) vil vise, hvornår det bedst vil kunne betale sig at lægge udgifterne til klimatilpasning. Ved at planlægge en række tilpasningsindsatser allerede i anlægsfasen kan det give en større sikkerhed for vejens og banens robusthed over for fremtidige klimaændringer. Det kan fx betyde ændringer i linjeføring, så veje og bane løber gennem områder, der kan absorbere det regnvand, der afledes fra det omgivende område, eller at infrastrukturen etableres i en højde, hvor stigende grundvand og risiko for oversvømmelse reduceres. Det kan også dreje sig om at tage stilling til størrelsen, og dermed kapaciteten, af de afvandingsystemer, der skal ligge langs den færdige vej. Når fx afvandingsystemerne først er anlagt, vil det være meget omkostningsfyldt at udskifte dem, hvis de viser sig at have for lille kapacitet.

For eksisterende anlæg forholder det sig anderledes. Her kan klimatilpasningsindsatsen blive mere bekostelig, fordi det typisk er relativt dyrere at bygge et eksisterende anlæg om. Der kan derfor, hvis det er muligt, være behov for at finde andre mindre supplerende løsninger, end at ændre det eksisterende anlæg markant. For yderligere at minimere både de økonomiske og trafikale

omkostninger vil det ofte være hensigtsmæssigt at gennemføre klimatilpasning af eksisterende anlæg, når man alligevel er i gang med at vedligeholde et givent anlæg. På den måde undgår man at skulle lave arbejder på infrastrukturanlægget flere gange end højst nødvendigt. Dette vil ikke blot kunne være en økonomisk gevinst, men også en gevinst for mobiliteten i samfundet.

Levetidsbetragtninger skal suppleres med usikkerhedsanalyser, samt yderligere to faktorer for at undgå over- eller undertilpasning til klimaændringerne ud fra en samfundsøkonomisk tilgang. For det første skal man sammenholde omkostningerne til klimatilpasning med behovet for at undgå midlertidige afbrydelser af et anlæg. Samtidig skal der foretages en vurdering af sandsynligheden for og de økonomiske konsekvenser ved klimaændringer, sammenholdt med en vurdering af, hvor vigtigt det er at bevare adgangen til det enkelte infrastrukturanlæg.

Overvågning/monitoring

Evaluering af sårbarheden på veje og jernbaner i forhold til klimaændringer, samt overvågning af effekter af implementerede tiltag er helt central. Man skal så vidt muligt forsøge at begrænse sin klimatilpasning for de situationer, som ligger langt ud i fremtiden (50-100 år), hvor det er svært med en løbende tilpasning. Det betyder, at man kun planlægger at tilpasse 10-100 år ud i fremtiden, hvis analyserne har vist, at der ikke er mulighed for at have en løbende tilpasning. Denne tilgang, baseret på et anlægs levetid og anlæggets karakteristika, betyder, at man nemt kan finde både det rette tilpasningsniveau og det rette tilpasningstidspunkt. Dermed vil man have et bedre udgangspunkt for at lave klimatilpasning, der er samfundsøkonomisk rentabelt.

Det er således nødvendigt at være opmærksom på omkostningerne til klimatilpasning sammenholdt med gevinsten af at beskytte et givent anlæg og omgivelserne. Strategien for veje og baner indebærer, at den bedste fremgangsmåde vil være, at man ikke aktivt tilpasser anlægget til forventede klimaændringer på nuværende tidspunkt. Hvis man løbende kan tilpasse et anlæg til klimaændringer, kan det være fornuftigt at vente med tilpasningen, indtil vedligeholdsbehovet opstår. På den måde vil man kunne investere i klimatilpasning ud fra mere præcise informationer om fremtidige klimaændringer. Derved reducerer man risikoen for at over- eller underinvestere i klimatilpasning.

Anbefalinger for rammebetingelser

Infrastrukturanlæg består ofte af komponenter med meget forskellig levetid. Den store variation i vej og baneanlæg må derfor nødvendigvis afspejle sig i klimatilpasningsindsatsen.

Ved anlæg med lang levetid, hvor det ikke er muligt at indbygge fleksibilitet, må man derfor i anlægsfasen basere sin tilpasning på de lange tidshorisonter (50-100 år) for klimaændringer, selvom den mindre præcision gør det sværere at ramme det rette tilpasningsniveau. For anlæg eller komponenter med en lang levetid, kan der også være god mening i at undersøge, om man kan forberede anlægget til fremtidig klimatilpasning, så den kan gennemføres, når det måtte blive nødvendigt. Eksempelvis kan det være rationelt i et nyanlæg at afsætte arealer til regnvandsbassiner, der har en kapacitet, som klimaændringer på lang sigt nødvendiggør. I første omgang anlægger man kun et bassin svarende til det nuværende behov, for derefter at udvide det i takt med, at behovet måtte opstå.

I klimatilpasningssammenhæng er en af de helt store fordele ved nyanlæg, sammenlignet med eksisterende anlæg, at man alt efter anlæggets levetid og karakteristika kan overveje, hvornår det bedst kan svare sig at klimatilpasse. I nogle tilfælde vil der være mulighed for at forberede anlægget til en løbende tilpasning, mens der i andre tilfælde kun er mulighed for at lave en forebyggende tilpasning. Overordnet betyder muligheden for at planlægge klimatilpasningen fra levetidens start, at udgifterne til klimatilpasning kun vil udgøre en mindre del af de samlede omkostninger til anlægsarbejdet.

Tabel 6. Eksempler på klimatilpasningstiltag og deres virkninger med hensyn til transportsektoren

KLIMAEFFEKT – TRUSSEL	KLIMATILPASNINGSTILTAG	VIRKNING AF TILTAG	KOMMENTAR
Mere ekstremregn giver oversvømmede veje	Større drænsystemer/drænasfalt	Der udføres kantopsamling og øget antal brønde, samt der er mulighed for at anvende drænasfalt	Disse tiltag er indarbejdet i de nye vejregler for afvanding og belægning
	Ophøjning af veje	Alle nyanlagte veje får indarbejdet en sikkerhed i deres højdekurver, som sikrer mod øget grundvand og havvandsstigninger	Øget forbrug af råstoffer til opbygning af vejanlægget
	Varsling af trafikanter	Der gennemføres en øget overvågning af det eksisterende vejanlæg, så evt. mulige oversvømmelser og akvaplaning kan varsels i tide	Dette system arbejdes der med i forhold til det eksisterende vintertrafik-varslingssystem igennem Trafik informationscenteret, TIC.
Øget vind fører til lukning af vindfølsomme broer	Læskærme	Der designes nye broer, læskærme og det vurderes, om der på eksisterende broer vil kunne ske opbygning af læskærme	
	Varsling af trafikanterne	Der vil kunne ske varsling af trafikanter, hvis der skulle komme lukning af broerne, når der kommer vind	Dette sker aktivt på Storebælt og Øresund, men vil også kunne indføres på de andre store broer, der er vindfølsomme
Vand i jernbaners bærelag, som kan medføre skred og erosion af bandedæmning	Bygning af bassiner opstrøms i oplandet	Tilbageholdelse af vand opstrøms i oplandet	
Ændret grundvandsstand	Ændre afvandningssystemerne, så der ikke sker tilbageløb i systemerne	De nyanlagte veje med øget kote i forhold til sikring af anlæggenes drænsystem, så der ikke sker tilbageløb i systemerne	Der er igangsat arbejde med udvikling af overvågning og varsling af grundvandssystemerne på veje
Havniveaustigninger, som giver øget kysterrosion	Bygning af diger og kystsikring	Vand forhindres i at oversvømme veje og baner.	Se flere detaljer i ”Havet og kysten”
Højere temperatur om sommeren kan medføre solkurver og overophedning af sikringsanlæg	Løbende opgradering og udskiftning af ikke klimasikrede banelementer	Banelegmer ligger fast, og solkurver kan ikke opstå	Sker som del af løbende vedligehold
	Køling af sikringsanlæg	Koldere rum, gør at elektronikken ikke brænder sammen	Sker som del af løbende vedligehold
Hypigere og kraftigere storme	Oprettelse af en zone langs banen, hvor der ikke plantes træer mm. Fx træfældning af træer for tæt på banen – og beplantning af nye i sikker afstand til banen	Træer vælter stadig i kraftige storme, men falder ikke ned over banelegmet	Sker allerede som del af løbende vedligehold
Mere ekstremregn giver øget transport af forurening og sediment fra vej til by og vandmiljø	Etablering af bassiner fx med gode sedimentationsegenskaber	Vand og sediment tilbageholder før det når by- og vandmiljø	Sker allerede som led i at indfører den højeste BAT metode for regnvandsbassiner

FRA KLIMATILPASNING TIL EKSPORTPOTENTIALER

Verden over går lande i disse år i gang med at investere for at beskytte deres værdier imod de klimaforandringer, vi allerede oplever, og de, der forventes i de kommende år. Klimaforandringer kan derfor give danske virksomheder en mulighed for forretningsudvikling og vækst.

Det kræver dog, at vi i Danmark forholder os strategisk til de udfordringer og muligheder, vi står overfor.



Danmark har en meget stor, og nogle steder unik, viden og erfaring om væsentlige dele af de teknologier og den viden, der er i spil i relation til klimatilpasning.

Vi ved, hvordan man kan beskytte kyster imod stigende vandstand

- Vi har gode monitorerings og computer-modeller
- Vi har mange klimatilpasningsteknologier
- Vi har en stærk overordnet planlægning

Det er en stor styrke, set i lyset af, at markedet er stort. Hele verden står over for at skulle forholde sig til klimaforandringernes betydning for bygninger og infrastruktur. Alle konstruktioner med en levetid over 50 år bør under en eller anden form klimatilpasses. Det er dog endnu ikke alle lande, der har økonomi og overblik til at foretage de mest optimale investeringer, men flere og flere kommer i gang med investeringer, enten i form af egne midler, eller i form af penge fra udviklingsbistand mv.

Når blikket så vendes mod svagheder og udfordringerne for Danmark i relation til eksportmarkedet, så er der noget at tage fat på. Vi har ikke et hjemmemarked, der selv efterspørger nye løsninger i tilstrækkelig grad, endsize underbygger overgangen til eksport. Kun få kommuner har

planer for klimatilpasning, og Danmark har ikke en overordnet koordinering på nationalt plan. Svagheden for virksomhederne er, at de ikke kan bruge Danmark systematisk som et udstillingsvindue for deres produkter. En strategi for at forandre denne svaghed kræver, at der tages fat i de enkelte områder, hvor Danmark har kompetencer, der kan underbygge en øget eksport.

Fem omdrejningspunkter for vækst

Konkret er det relevant at se på områder, hvor der er potentialer for eksport, og hvordan potentialerne kan indfries. Som det fremgår af denne rapport, har klimatilpasning i Danmark fem store omdrejningspunkter:

1. Vand i det åbne land
2. Havet og kysten
3. Vand i byer
4. Klimatilpassede bygninger
5. Transportinfrastruktur

Inden for alle fem områder findes potentialer for eksport af rådgivning eller teknologier. I det følgende gennemgås, hvor der især er basis for udvikling af kompetencer, som kan danne basis for eksport indenfor de fem områder.

Alle konstruktioner med en levetid over 50 år bør under en eller anden form klimatilpasses.

VAND I DET ÅBNE LAND – BASIS FOR EKSPORTPOTENTIALE
Mens nogle klimatilpasningstiltag i relation til vand i det åbne land er baseret på velkendt teknologi, som fx produktion af drænrør, vil mange klimatilpasningstiltag kræve udvikling af nye kompetencer med et betydeligt eksportpotentiale. Innovative løsninger er påkrævet med hensyn til højteknologiske værktøjer, som fx:

1. Udvikling og anvendelse af forbedrede modelleringsværktøjer til beskrivelse af effekter af klimaændringer og tilpasningstiltag på vandets kredsløb og ferskvandsøkosystemer, herunder landbruget
2. Udvikling og anvendelse af sensorer, udstyr og informationsteknologi til online overvågning og styring af vandstrømme i grundvand, dræn og vandløb samt kombination af disse med avancerede modeller til varsling af fx vandingsbehov, miljøtilstand og oversvømmelser
3. Effektive monitoringsystemer til identifikation af problemer samt til hurtig vurdering af virkningen af de tiltag, der gennemføres, samt, ikke mindst, kombinationen af højteknologiske værktøjer og integreret vandforvaltning, dvs. metoder til analyse af hvorvidt forudsætningerne, i form af adaptiv kapacitet, for forskellige typer klimatilpasningstiltag er til stede

Metoder til effektiv interessentinddragelse gennem hele planlægningsforløbet med fokus på tværsektorielle vurderinger og håndtering af borgeres og interessenters risikovillighed under fremtidige klimaforhold.

Metoder til effektiv kommunikation mellem "eksperter" og "borgere", dvs. både formidling af resultater fra avancerede modeller til ikke-fagfolk, samt formidling af virkelighedsopfattelser og prioriteringer fra borgere til eksperter.

HAVET OG KYSTEN

Mens nogle klimatilpasningstiltag langs kysterne og i farvandene er baseret på velkendt teknologi, såsom anlæg af diger og såkaldt "strandfodring", vil de store investeringer i disse anlæg, og de øgede krav til helhedsløsninger og genoprettelse af naturværdier, retfærdiggøre udvikling af nye mere raffinerede værktøjer. Herved kan omfanget af klimatilpasningstiltag minimeres. Optimeringsværktøjer til implementering af klimatilpasningstiltag har et betydeligt eksportpotentiale.

De væsentligste potentialer i relation til kysten og havet er:

1. Udvikling og anvendelse af forbedrede modelleringsværktøjer til beskrivelse af klimaændringerne i havet, herunder specielt regionale modeller til nedskalering af hydrodynamiske effekter af klimaændringer
2. Anvendelse af tidsafhængige oversvømmelsesmodeller, som vil være i stand til at simulere oversvømmelsesscenarier bedre end de nuværende modeller, som ikke medtager tidsfaktoren
3. Udvikling og anvendelse af hydrodynamiske modeller til at simulere bølgeopskyl på og overskyl af diger, således at digerne kan dimensioneres mere optimalt

4. Udvikling og anvendelse af morfologiske modeller, til at simulere erosion af en klit og brud på et dige

HÅNDTERING AF VAND I BYER ER EN FÆLLES PROBLEMSTILLING

Udvikling af nye kompetencer inden for vand i byer vil være med til at udvikle, dokumentere og præsentere klima- og miljøteknologier med tilhørende planlægningsværktøjer og forretningsmodeller til transformation af eksisterende urbane områder i Danmark. Samtidig kan eksportpotentialer udvikles, dels i forhold til eksisterende urbane områder i det øvrige Europa, USA, Asien og Australien, dels i forhold til nye, klimarobuste og miljøsikre byer i lande under økonomisk og institutionel transition, herunder Kina og Mellemøsten.

Kerneudfordringen er at indrette byer til at imødegå mere ekstreme og uforudsigelige nedbørs- og temperaturforhold, samtidig med at byens funktion som centrum for økonomiske, kulturelle og sociale aktiviteter fastholdes og styrkes. Den fysiske infrastruktur i byen skal således bl.a. håndtere flere og kraftigere skybrud, hyppigere overløb og længerevarende tørkeperioder. De massive investeringer i infrastruktur, der forudses nødvendige i Danmark, kan danne basis for eksport for danske virksomheder.

De største potentialer i relation til vand i byer vurderes at ligge inden for følgende områder:

1. Udvikling af innovative teknologier, know-how og ydelser i et synergisk tværfagligt og -organisatorisk samarbejde, der kan udvikle nye markeder i og uden for Danmark

2. Brug af regnvandet som ressource til forsyningsformål i husstande, og brug af rensset sekunda vand til industrielle formål
3. Skabelse af attraktive byrum
4. Intelligent byplanlægning, dvs. udformning af byen således at vigtig infrastruktur (forsyning, hospitaler, m.m.) lægges i områder med lav oversvømmelsesrisiko – samt at byens aktiviteter planlægges efter at der af og til, vil komme oversvømmelser i byrummet
5. Udvikling af grønne teknologier, så som grønne tage og faskiner
6. Software til systemanalyse og realtidsstyring af afløbssystemer
7. Online måling af vandkvalitet i drikkevandsforsyning

KLIMATILPASSEDE BYGNINGER

Klimaændringerne vil medføre vigtige ændringer i forudsætningerne for opførelse af velfungerende byggeri. Dette afhænger af den fremtidige klimasituation på en given lokalitet eller beliggenheden af et bysamfund. Ændringer vil skabe behov for udvikling af klimatilpasset arkitektur samt nye koncepter og krav til håndtering af regnvand, ventilation, køling mv. og påvirke dimensioneringen af bygningers bærende konstruktioner. Ændrede klimavilkår for bygningers og byrums udformning kan også udfordre til nye arkitektoniske og energivenlige løsninger. Udvikling af sådanne løsninger og produkter har oplagte potentialer for eksport.

De største potentialer i relation til klimatilpasning er bygninger formodes at ligge indenfor følgende områder:

- Udvikling af innovative koncepter, know-how og ydelser for nybyggeri. Målet må være at opnå en fleksibilitet og tilpasningsevne i nybyggeri, således at den konkrete bygning er forberedt for eller nemt kan tilpasses klimaændringer, ændret forsyning mv.
- Udvikling af innovative produkter og komponenter, som kan opfylde fremtidens krav i både nybyggeri og eksisterende byggeri
- Udvikling af koncepter for reovering af eksisterende byggeri, som på omkostningseffektiv vis forener hensyn til klimaændringer, bæredygtighed og energieffektivitet på en givet lokalitet

TRANSPORT INFRASTRUKTUR

Klimaændringerne vil medføre ændringer for transportinfrastrukturen. Det vil få betydning for vedligehold af bane og vejnettet, betydning

for planlægning af bane- og vejprojekter, da de skal kunne håndtere fx kraftigere vind og kraftigere regnskyl. Men transportinfrastrukturen spiller også med i de samlede planlægningsløsninger. Det gælder fx for lokal regnvandsafledning i byområder eller midlertidige vandmagasiner i terrænet.

Potentialerne for eksportløsninger i relation til transportområdet er ikke fuldstændig afdækket. En del af potentialerne ligger dog i relation til samtænkning af transportløsninger med afledning og forsinkelse af regnvand.

Klimatilpasningsbranchen, findes den?

Der findes ikke nogen klart beskrevet branche, hvor løsninger inden for klimatilpasning udtænkes og produceres. Man kan groft sagt dele klimatilpasningsprodukter op i tre hovedområder:

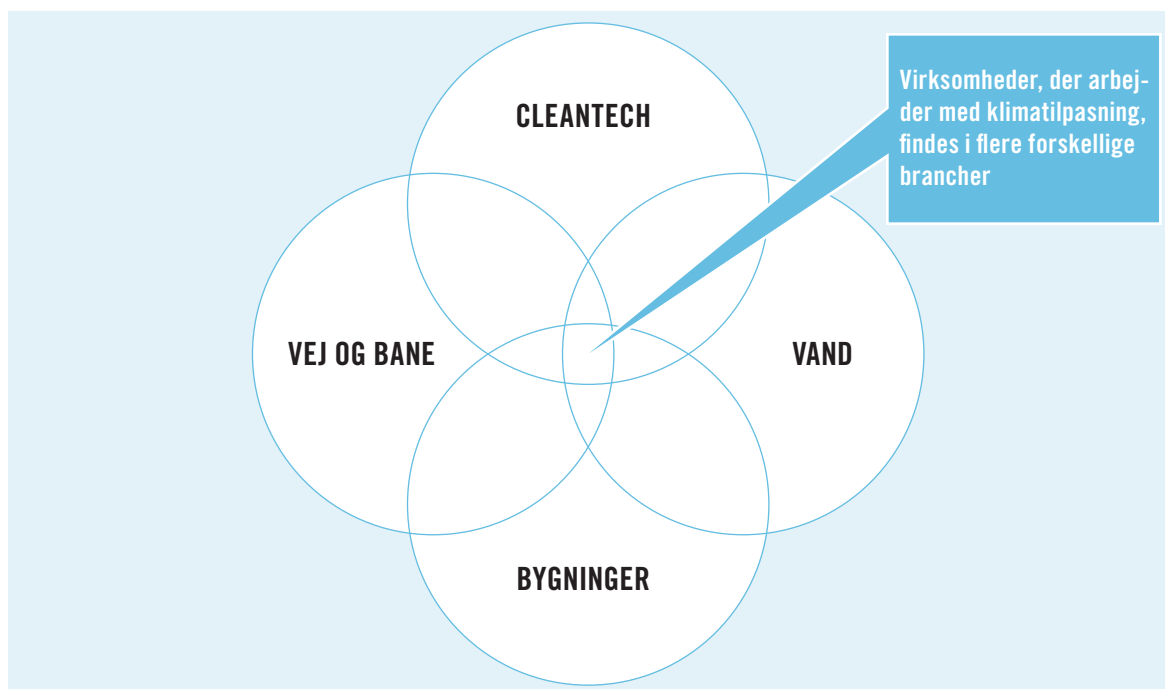
- Rådgivning
- Afhjælpningsteknologier
- Forebyggelsesteknologier

PRODUKTER INDEN FOR KLIMATILPASNING KAN OPDELES I TRE HOVEDTYPER

Rådgivning. Dækker både rådgivning om, hvordan klimatilpasning kan tænkes ind i nye konstruktioner, og hvordan klimatilpasning kan håndteres i allerede eksisterende natur- og byområder.

Afhjælpningsteknologier. Fx pumper og diger, der afhjælper og beskytter, når samfund oplever konsekvenserne af de voldsomme vejsituationer.

Forebyggelsesteknologier. Produkter, der særligt er gearet til at håndtere forandringer i vejr og vind. Fx bygningsmaterialer, der er dimensioneret til kraftige vindforhold eller software, der kan analysere fx afløbssystemer.



I praksis er de forskellige hovedområder spredt udover mange forskellige typer af opgaver og sektorer. Fælles for dem er, at opgaveløsningen ofte går på tværs af fagområder.

Et eksempel fra transportområdet kunne være en virksomhed, der får en opgave på bygning af en jernbanestrækning. Her er klimatilpasningen vigtig for at langtidssikre banelegemetets brugbarhed, men indgår på linje med andre tekniske beslutninger.

Klimatilpasningskompetencerne skal for det første ses som et konkurrenceparameter, der kan styrke eksportvirksomheder inden for brancher, der producerer og rådgiver om konstruktioner, der holder over en længere årrække. Derudover skal de ses som et område, hvor der er en konkret efterspørgsel på teknologier og rådgivning, direkte som følge af jordens forandrede klima.

Da klimatilpasningsområdet rækker ind i flere forskellige brancher, giver det derfor ikke mening at tale om klimatilpasningen som en særskilt branche – mere som et kompetenceområde hos danske virksomheder, der har potentiale for at danne grundlag for vækst inden for flere brancher. IDA har identificeret fire brancher, der er særlig vigtige:

- Cleantech
- Vej og bane
- Vand
- Bygninger

Virksomhederne, hvor klimatilpasningskompetencer er relevante, findes inden for flere forskellige brancher, og det er derfor ikke muligt at komme med et præcist bud på branchens størrelse. Ser vi imidlertid på de enkelte delbrancher, får vi en fornemmelse af omfanget af branchen.

Den samlede danske vandsektor omfatter ca. 200 virksomheder. Omsætningen af vandteknologi er på ca. 30 mia. kr. årligt⁴⁹. Inden for cleantechområdet er der de seneste år lavet et par bud på antallet af virksomheder. Cleantech defineres typisk som aktiviteter, der udvikler (herunder rådgivning og forskning), fremstiller eller implementerer processer eller produkter, der forbedrer miljøet⁵⁰. Branchen består af ca. 3.600 virksomheder⁵¹. Dansk Byggeri, der er arbejds-

49. DI indsigt nov 2011: vand kan blive det nye eksport eventyr

50. Se præcis definition i Cleantech: I vækstens tegn Guldægget i Danskøkonomi, Brøndum og Fliess 2010 og Copenhagen Cleantech Cluster cphcleantech.com

51. Rambøll for IDA 2012

En væsentlig forudsætning for at eksportpotentialet kan realiseres, er, at Danmark bliver førende på introduktion af klimatilpasningsløsninger.

giver og erhvervsorganisation for hele byggebranchen, har ca. 6.000 medlemsvirksomheder⁵², derudover findes der virksomheder, der ikke er medlemmer. I relation til vej og bane er der ikke en samlet branche. Samlet set dækker området Cleantech, Vej og bane, Vand samt Bygninger omkring 10.000 virksomheder, hvor klimatilpasning vurderes at være relevant for mindst halvdelen af dem.

Verdensmarkedet og eksportpotentialet

Der findes kun meget få bud på hvilke forventninger, vi kan have til et kommende marked for løsninger, der skal afhjælpe konsekvenserne af klimaforandringer. UNFCCC har i 2007 vurderet, at de samlede ekstra investeringer som følge af klimaforandringer i verden kommer til at ligge et sted mellem 49 -171 mia. USD (se tabel 7).

Det er et meget stort beløb, og i hvor høj grad, udviklingslandene vil kunne realisere så store investeringer, er nok meget usikkert. Vurderinger fra Verdensbanken⁵³ støtter UNFCCCs estimater, og det er også muligt at finde enkelte vurderinger på landsplan eksempelvis vurderes det af myndigheder ansvarlige for oversvømmelser i England og Wales, at der skal bruges 30 mio. USD ekstra årligt i 2011 voksende til 720 mio. USD i 2035.⁵⁴

På vandområdet finder vi også en række opgørelser. Det globale marked for vandrelaterede

produkter er i dag 2.500 mia. kr.⁵⁵ og den globale efterspørgsel efter vandteknologi ventes at stige betragteligt. Det sker som en følge af, at efterspørgslen efter vand stiger i takt med, at jordens befolkning vokser til ni mia. frem mod 2050, samtidig med at investeringer i spildevandsrensning vil vokse betydeligt.

Samlet set er det potentielle marked stort og forventes at vokse i de kommende år.

Klimatilpasning kan bidrage til vækst i arbejdspladser og eksport

Klimatilpasning har potentiale til at blive et nyt styrkeområde for Danmark. FORA⁵⁶ har identificeret tre betingelser, der skal være opfyldt for, at et område vurderes at være en mulig ny erhvervsmæssig styrkeposition:

1. Der skal være en kritisk masse af virksomheder, som allerede har skabt en stærk erhvervsposition inden for det pågældende miljøområde
2. Der skal være en stærk videnbase, som allerede har vist forskningsresultater af verdensklasse
3. Det pågældende miljøområde skal have et stort erhvervsmæssigt vækstpotentiale

54. Environment Agency, Investing for the Future Flood and Coastal Risk Management in England: A Long-term Investment Strategy (Bristol, UK: Environment Agency, 2009), available at publications.environment-agency.gov.uk/pdf/GEHO0609BQDF-E-E.pdf (accessed 23 September 2009).

55. DI indsiget nov 2011: vand kan blive det nye eksport eventyr

56. FORA er en forsknings- og analyseenhed under Erhvervs- og Byggestyrelsen, som laver erhvervsøkonomisk forskning og analyser, der danner grundlag for udarbejdelse af erhvervspolitiske initiativer.

52. Danskbygger.dk

53. Adaptation to Climate Change: Assessing the Costs Investment and Financial Flows to Address Climate Change Reviewed by Martin Parry, Nigel Arnell, Pam Berry, David Dodman, Samuel Fankhauser, Chris Hope, Sari Kovats, Robert Nicholls, David Satterthwaite, Richard Tiffin, Tim Wheeler, Jason Lowe, and Clair Hanson I environmentmagazine.org Nov/dec 2009

Tabel 7. UNFCCC Estimerede ekstra årlige investeringer og finansielle flow behov i 2030 til dækning af omkostninger ved klimaforandringer

SEKTOR	GLOBALE OMKOSTNINGER (mia USD)	I-LANDE (mia USD)	U-LANDE (mia USD)
Landbrug	14	7	7
Vand	11	2	9
Sundhed	5	-	5
Kystzoner	11	7	4
Infrastruktur	8-130	6-88	2-41
Total	49-171	22-105	27-66

Kilde: UNFCCC: Investment and financial flows to address climate change, Bonn Germany Climate Change secretariat 2007

Klimatilpasning opfylder alle tre betingelser. I dag udgør eksporten på vandområdet knap fire pct. af den samlede danske eksport⁵⁷ og er dermed en særlig dansk eksport styrkeposition. Det er ikke hele denne eksport, der kan henregnes til klimatilpasningsopgaver, men en lange række af de opgaver, Danmark sælger løsninger til inden for vandområdet, vil blive mere efterspurgt som følge af klimaforandringer. Det gælder fx indvinding, distribution og rensning af drikkevand, spildevandshåndtering, afsaltning af havvand, filtrering af vand og grundvandsbeskyttelse, pumpe teknologier, vandmålingsudstyr, regnvandshåndtering og vådområde-etablering. Men derudover kommer de områder, udover vand, hvor kompetencer i relation til klimatilpasning vil blive et konkurrenceparameter. Det vil sige sikring af vores store investeringer som bygninger og infrastruktur.

Vi har i Danmark en stor videnbase på området. Vi har en markant styrkeposition inden for alle former for informations- og kommunikationsteknologi; datainfrastruktur og bearbejdning, monitorering (boringer, kortlægning, analysemetoder, sensorer, remote sensing/satellit data), modellering (ressourcer, recipienter og infrastruktur), automatisering, on-line overvågning og realtidsstyring. En indsats til at støtte innovationsaccelererende forskning på området vil have stor, positiv samfundsøkonomisk betydning på grund af sektorens kompetencer, omfang og høje eksportindhold.

Hvis vi i Danmark ønsker, at de investeringer vi under alle omstændigheder bliver nødt til at gennemføre for at beskytte huse, veje og natur, skal være en basis for innovation, udvikling og eksport i danske virksomheder, så må vi se på, om de nødvendige rammebetingelser er til stede for virksomhederne. En væsentlig forudsætning for at eksportpotentialet kan realiseres, er, at Danmark bliver førende på

57. DI indsigt nov 2011 – vand kan blive det nye eksport eventyr

introduktion af klimatilpasningsløsninger. Basis for dette er et hjemmemarked til udvikling af ideer og demonstration af prototyper. Det skal på én gang være et laboratorium og et udstillingsvindue, der kan bruges, når danske virksomheder bevæger sig ud på det voksende marked for klimatilpasningsløsninger.

IDA anbefaler, at stat og kommuner skaber gode rammebetingelser for, at virksomheder kan bruge klimatilpasning som en mulighed for forretningsudvikling og vækst. IDA foreslår en indsats med tre hovedindsats områder:

1. Sikre en national koordineret indsats indenfor klimatilpasning, så alle interessenter forholder sig bevidst til klimaforandringernes betydning for bygninger og infrastruktur.

Dette vil underbygge, at Danmark bliver førende på introduktion af klimatilpasningsløsninger.

2. En indsats til at støtte innovationsaccelererende forskning på området, der på markant vis kan understøtte og accelerere implementeringen af de løsninger, der identificeres under punkt 1.

Konkret foreslår IDA, at Det Strategiske Forskningsråd og Rådet for Teknologi og Innovation udbyder en strategiske forsknings- og innovationsplatform, SPIR, inden for temaet Klimatilpasning⁵⁸.

3. Sikre at virksomheder har et udstillingsvindue med løsninger og produkter, der kan bruges overfor internationale kunder.

Konkret foreslår IDA, at der etableres en pavillon med danske klimatilpasningsløsninger. Denne pavillon skal både være fysisk og virtuel. Det vil sige en permanent udstilling, der er kombineret med en virtuel platform med cases, der viser de forskellige løsninger ude på virksomhederne.

58. SPIR-programmet giver tilskud til initiativer, der styrker sammenhængen mellem strategisk forskning og innovation. I de foregående udbudte temaer har de to råd medfinansieret initiativer for til sammen mellem 70-80 mio. kr. over 5-7 år. Dertil kommer medfinansiering fra offentlige forskningsmiljøer og erhvervsliv. Programmet er inspireret fra Holland, som har stor succes med lignende program.

