



Klimaforandringer i byerne

nyt tema i kommuneplanlægningen

PLAN09
Miljøministeriet | Realdania

Rapportens titel

Klimaforandringer i byerne – nyt tema i kommuneplanlægningen

Udarbejdet af Stephan Pauleit og Trine Agervig Carstensen, Skov & Landskab, Københavns Universitet, i samarbejde med Plan09.

Udgivet juni 2008.

Forsidefoto

Stephan Pauleit



Plan09 er et partnerskabsprojekt mellem Fonden Realdania og Miljøministeriet om udvikling og fornyelse af plankulturen i kommunerne. Formålet er at bidrage til kvalificering af det fremtidige plangrundlag i landets 98 kommuner. Visionen er at fremme en kommunal planlægning,

- der fokuserer på værdifulde bymiljøer, bebyggelser og attraktive landskaber,
- der bygger på politisk ejerskab og engagement,
- der er præget af fagligt professionelle og innovative planlægningsmiljøer.

Midlet er opbygning af et fagligt planlægningsnetværk med alle kommuner samt støtte til visionære kommunale eksempelprojekter.

Læs mere på www.plan09.dk

Forord

Klimaforandringerne er for alvor kommet på dagsordenen i de danske kommuner. Flere og flere kommuner melder sig på banen med initiativer, der sigter mod klimaforebyggelse- og tilpasning. Det gælder fx det stigende antal kommuner, der har vedtaget mål om at blive CO₂-neutrale inden for en given årrække.

Planlægningen af den fremtidige udvikling i byerne og det åbne land har stor betydning for hvordan klimaforandringer forebygges og håndteres. Men der hersker fortsat en del usikkerhed om, hvilket omfang klimaforandringerne ventes at få og hvordan de kan håndteres. Derfor har Plan09 i samarbejde med Københavns Universitet, Skov & Landskab udarbejdet denne publikation om planlægningens rolle i forbindelse med klimatilpasning.

Publikationen giver dels et overblik over den nuværende viden om klimaforandringernes omfang og deres påvirkning af byerne, dels nogle bud på hvordan der kan arbejdes med klimatilpasning i den fysiske planlægning.

I den danske debat har der hidtil været mest fokus på oversvømmelser som følge af øgede nedbørsmængder. Men byernes grønne områder og miljøet i byerne vil også blive påvirket. Samtidig er her også muligheder for at afbøde klimaforandringer. Derfor fokuseres der især på det grønne i byerne i denne publikation.

Den henvender sig især til planlæggere, der har behov for konkret viden om klimaforandringernes omfang og betydning, når der skal arbejdes på politisk og administrativt niveau med at indtænke klimatilpasning i byerne i den nye kommuneplan – og i andre, kommunale planer og projekter.

Publikationen består af to dele:

- En faktabaseret del, som beskrives klimaforandringernes forventede omfang og effekter, udfra den nuværende viden.
- Beskrivelser af potentialer samt gode råd til hvordan der kan arbejdes med klimatilpasning i den fysiske planlægning, med særlig fokus på de grønne områder.

Plan09 har også igangsat et eksempelprojekt om klimatilpasning i det åbne land i Hedensted Kommune, samt et tværkommunalt projekt om byernes rolle i forebyggelse af klimaforandringer med deltagelse af Albertslund, Frederikshavn og Sønderborg Kommuner. Læs mere på www.plan09.dk

Med venlig hilsen

Plan09

Indhold

Forord	3
Indhold	4
<i>Del 1: Klimaforandringernes forventede omfang og effekter</i>	5
1. Klimaforandringerne kommer	6
2. Klimaforandringerne påvirker byer	8
Byens miljø er allerede forandret	8
Sårbare byer	8
Konsekvenser for byernes udvikling	8
Varme-ø-effekten i byerne	9
Ændrede nedbørsmønstre	14
<i>Del 2: Potentialer og gode råd</i>	16
3. Potentialer for tilpasning	17
Potentialer I – nedkøling af lufttemperaturer	17
Potentialer II – nedsivning og afstrømning af nedbør	20
Oversvømmelse	20
Overbelastede kloakker	20
4. Hvordan kommer man i gang med klimatilpasning?	22
5. Hvorfor starte tilpasningen allerede i dag?	25
6. Litteratur	27

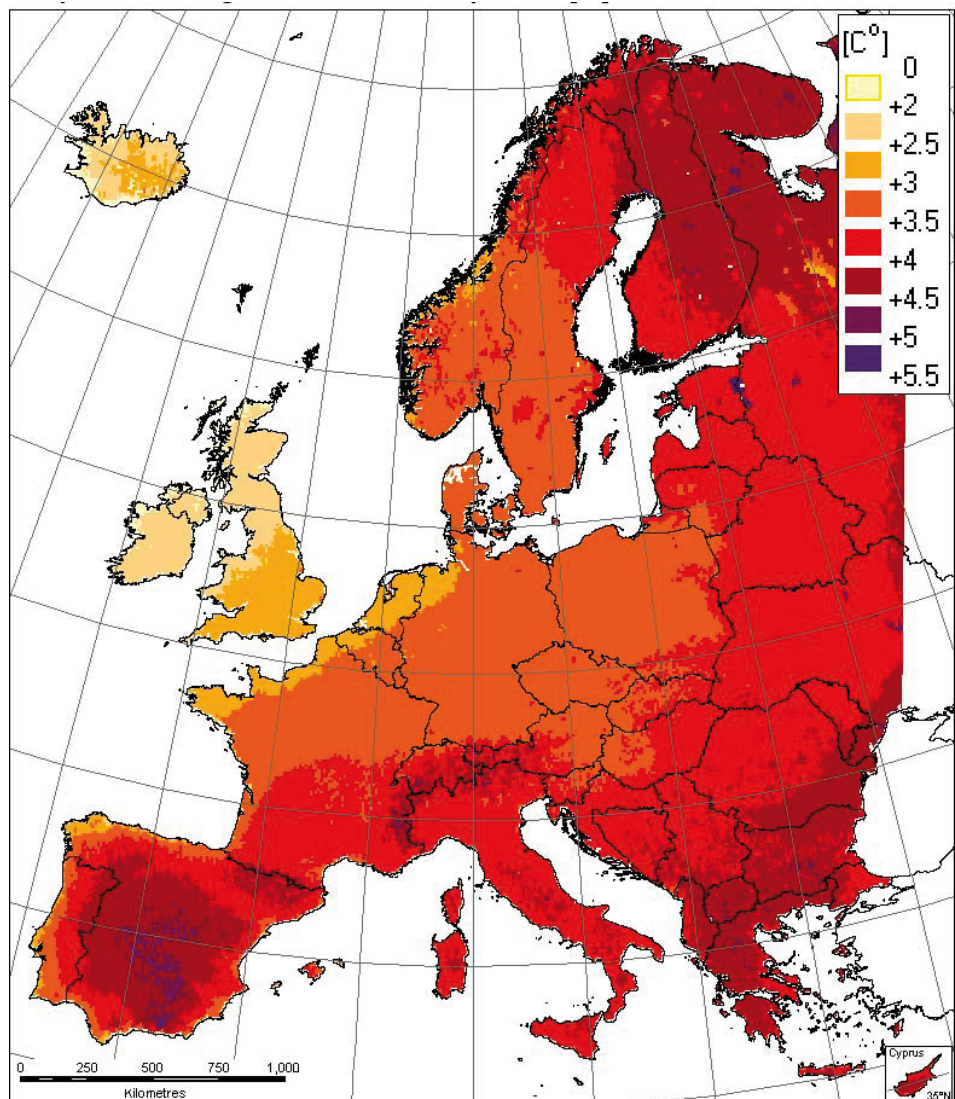
Del 1

Klimaforandringernes
forventede omfang og
effekter

1. Klimaforandringerne kommer

Klimaforandringerne er en realitet og uundgåelige. Ifølge den seneste rapport fra Det Internationale Klimapanel (IPCC) er den gennemsnitlige globale temperatur steget med næsten 1°C i løbet af det seneste århundrede. Selv hvis det lykkes at begrænse fortsatte udslip af drivhusgasser, vil temperaturen blive ved med at stige på grund af den mængde drivhusgasser, der allerede findes i atmosfæren.

Relativt og globalt set befinder vi os i en gunstig situation. Danmark er beliggende i den region i verden, hvor klimaændringerne er mindst. Men klimamønstrene vil ændres. Det bliver varmere, årstidsvariationerne vil ændres, og der kommer flere ekstreme vejsituationer. Ekstremsituationerne vil bl.a. omfatte kraftige regnskyl, hyppigere og længere tørkesituationer og



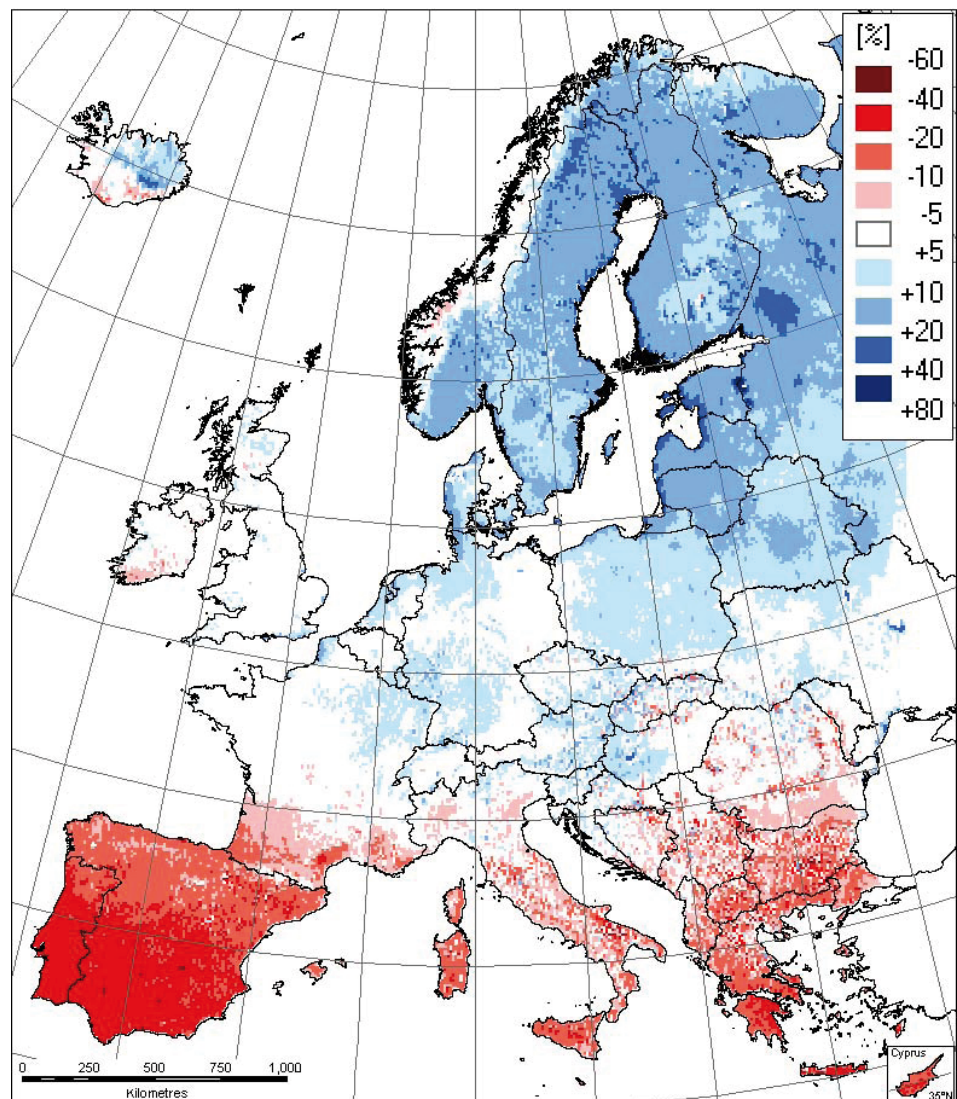
Ændringer i den årlige gennemsnitstemperatur ved udgangen af dette århundrede i Europa*

*baseret på det mest kritiske IPCC SRES scenario: A2. De fremskrevne klimavirkninger er beregnet for 2071-2100 i forhold til 1961-1990. Kilde: EU Kommissionen.

flere og kraftigere storme. Derudover vil havvandstanden stige. Hvad angår byområder vil forhold som varmere mikroklima og øget vandafstrømning blive intensiveret og forstærket gennem klimaforandringerne.

Danske klimascenarier frem til år 2100	
Den årlige middeltemperatur stiger	- med 0,6-4,7 °C - særligt vintertemperaturen vil stige
Der kommer flere og længere varmeperioder	- og sommernætterne bliver varmere
Planters vækstsæson forlænges	- da sommernedbøren falder 3-15 pct.
Øget tørkerisiko i vækstsæson	- med 22-55 døgn
Årsnedbøren stiger	- op til 9 pct. – særligt vinternedbøren
Flere episoder med meget kraftig nedbør	- 20 pct. eller mere
Havniveauet stiger	- højeste vandstand ved Vestkysten vil stige med 0,45-1,05 meter
Der kommer flere og kraftigere storme	

Kilde: DMI



Ændringer i den årlige gennemsnitsnedbør ved udgangen af dette århundrede i Europa*

*baseret på det mest kritiske IPCC SRES scenario: A2. De fremskrevne klimavirkninger er beregnet for 2071-2100 i forhold til 1961-1990. Kilde: EU Kommissionen.

2. Klimaforandringerne påvirker byer

Byens miljø er allerede forandret

I Danmark bor over 80 pct. af befolkningen i byområder. Danske byer er knyttet tæt sammen i et netværk af trafikale forbindelser. Mange udledninger af drivhusgasser stammer fra aktiviteter, der er koncentreret i byområderne, og den høje koncentration af mennesker og økonomiske, sociale og kulturelle aktiviteter gør samtidig byområder særligt udsatte overfor klimaforandringer. Derfor vil en mere effektiv udnyttelse af ressourcerne i byen være et vigtigt bidrag på vej mod en bæredygtig fremtid.

Byfortætning spiller en central rolle i klimadebatten. Det er en velafprøvet strategi for en mere effektiv ressourceudnyttelse i byerne og nedsættelse af udslippet af drivhusgasser. En strategi der udelukkende satser på fortætning kan i visse tilfælde give utilsigtede konsekvenser og gøre bymiljøer yderligere udsatte overfor klimaforandringer. Integrerede indsatser, der er rettet mod både begrænsning og tilpasning, er derfor nødvendige.

Sårbare byer

Byområder har nogle særlige karakteristika, og klimaet her afviger allerede markant fra det omgivende, åbne landskab. Byområder har en stor bygningsmasse med høj kapacitet for varmelagring, og områderne består overvejende af forseglede overflader (asfalt, fliser), der hverken har nedsivningskapacitet (opfange regnvand) eller kølingseffekt (lav fordampning). Det betyder, at byens temperaturer er højere og luftfugtigheden er lavere sammenlignet med landområder. Disse forhold - kombineret med koncentrationen af boliger og økonomiske aktiviteter m.m. - gør byerne ekstra sårbare overfor temperaturændringer, vind og nedbør. Klimarelaterede ændringer kan få store konsekvenser for velfærden i byen.

Konsekvenser for byernes udvikling

Globalt set er der hidtil kun få undersøgelser, der har vurderet klimaforandringernes betydninger for byer. OECD har sammenfattet klimaforandringers betydning for byer til at være særligt relevante for kystnære byer, infrastruktur, sundhed og helbred, energibehov, vandforsyning og vandressourcer, turisme og kulturarv, byens biodiversitet og luftforurening. OECD vurderer, at fremtidens største trusler mod byområder i den vestlige verden, er kraftige storme og oversvømmelser - og i mindre grad hedeølger og tørke. Konsekvenserne vil have store regionale variationer. I Europa forventes fx storme at forårsage skader, der får forsikringsudgifter med at stige 5 pct.

I Danmark mangler vi stadig viden om, hvad der vil ske med drikkevandsforsyningen, bygningsmassens energibehov, luftens kvalitet, bygningsskader forårsaget af oversvømmelser, ligesom vi ikke ved meget om de socio-økonomiske påvirkninger klimaforandringer vil medføre. Til gengæld ved vi, at byer ved kysterne – særligt Vestkysten – vil blive truet gennem havniveau-stigninger. Mindre belyst er det dog, hvilke problemer klimaændringerne forventes at give for danske byers afvanding og for mikroklimaet i byen. Disse temaer er tæt forbundet med den langsigtede udvikling af byområders form og struktur, og de er fokus for dette hæfte.

Varme-ø-effekten i byerne

Temperaturer er højere i byer end i det åbne land, og det gælder særligt, når byerne når en vis tæthed og størrelse. Dette kaldes den urbane varme-ø-effekt. Når temperaturen stiger på globalt plan, vil det medføre at varme-ø-effekten forstærkes.

Den urbane varme-ø-effekt

Urbaniseringen påvirker den klimatiske energibalance og danner urbane varme-øer. I byen er der 0,5-1 °C varmere end i det omkringliggende åbne landskab på årsbasis. På de varmeste sommerdage stiger denne forskel dog til 3-10 °C.

Vegetationsdækkede overflader bruger en stor del af solens indstrålingsenergi til fordampning i stedet for at opvarme luften (varmestråling). I byområder er solrefleksionen fra overflader reduceret, og en mindre del af solens indstrålingsenergi bliver brugt til fordampning af vand fra vegetation. På et åbent græsområde bruges 2/3 af energien til fordampning, hvorimod 2/3 af energien omsættes til varmestråling i et parcelhuskvarter, har en canadisk undersøgelse påvist. I tætte bykvarterer med mindre grønt end i parcelhuskvarterer er andelen af varmestråling endnu højere. Befæstede overflader og særligt bygninger opmagasinerer solenergi om dagen, der frigøres som varmestråling om natten.

Byens størrelse er afgørende for, hvor stor varme-ø-effekten er. Desuden har forholdet mellem bygningshøjde og vejbredde sammenhæng med temperaturen. Forenklet sagt: Jo højere bebyggelsen er, jo større vil temperaturforskellen til det åbne land være. Dette skyldes, at energistråler (varme) i høje tætte bymiljøer bliver fanget imellem bygningerne i stedet for at udstråles tilbage til atmosfæren. Hvilke konsekvenser det har for menneskers velbefindende vil kræve grundigere undersøgelser, der også tager højde for høje bebyggelsers kølende skyggevirkning m.m.

Danske byområder oplever i dag kun i mildere grad varme-ø-effekten. Dog vil stigende temperaturer i byen kunne mærkes på lokalt niveau, hvor det kan blive rigtigt varmt på enkelte pladser og gader.

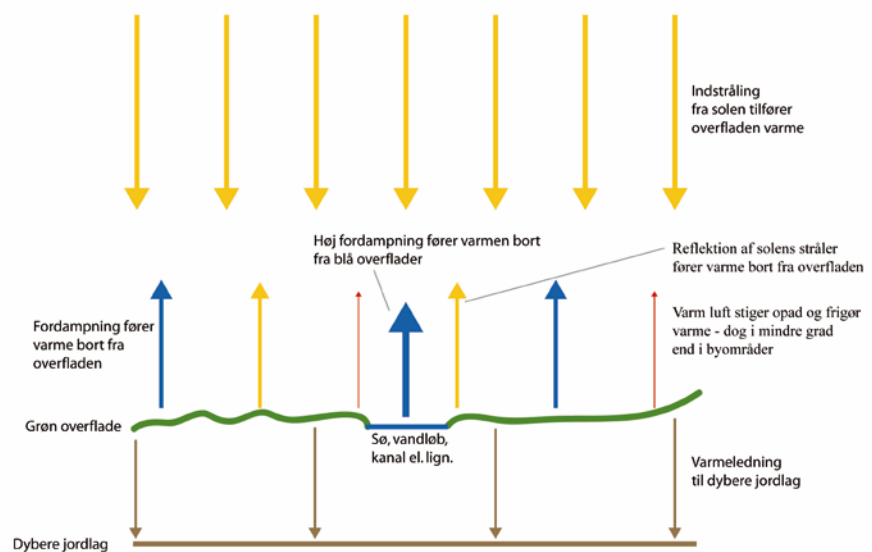
I et nordligt beliggende land som Danmark kan højere temperaturer mindske behovet for opvarmning af bygninger om vinteren. Ved forandrede klimamønstre med betydeligt højere sommertemperaturer, kan behov for nedkøling og ventilation af bygningsmassen blive en central udfordring, også i private husstande. Bygningsreglementets krav til bygningens samlede energiforbrug tilskynder, at behovet for nedkøling reduceres i det fremti-

dige klimatilpassede lavenergibyggeri. Men også ved bygningsrenovering skal der implementeres alternative løsninger, der kan reducere bygningens generelle energiforbrug og nedkølingsbehov.

Stigende energiforbrug om sommeren

Beregninger fra London viser, at klimaforandringernes største konsekvenser for energisektoren skyldes forandringer i efterspørgslen af energi. I England har man allerede nu konstateret, at energiforbruget er stigende i sommermånederne, hvilket formentlig hænger tæt sammen med den stigende brug af air-condition og nedkølingsanlæg. For en typisk kontorbygning i London skønnes det, at energiforbruget til nedkøling vil være 10 pct. større i 2050 og 20 pct. større i 2080.

Grønne og blå overflader (skov, marker, parker, søer mv.)



Byområder med bygninger og befæstede arealer

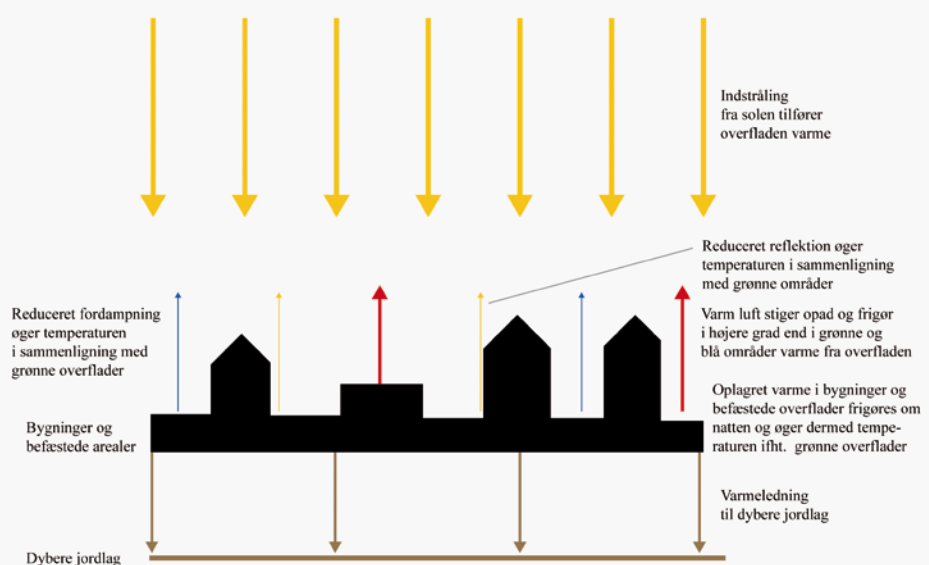


Illustration af varme-ø-effektens betydning for temperaturen. Figurerne viser principper bag mikroklimaet i det åbne land og i byen. Refleksioner fra byens overflader er nedsat sammenlignet med det åbne land og meget mindre energi frigøres ved evaporation (fordampning) fra vandoverflader og vegetation (kilde: »City form and natural process«, V. Whitford et al. 2001)

Klar sammenhæng mellem temperatur og bystruktur

I Manchester-studiet, som var del af ASCCUE (Adaption Strategies for Climate Changes in the Urban Environment), har man fundet klare sammenhænge mellem bystruktur, den grønne struktur og varme-ø-effekt. Studiet indeholder klimamodeller, der bygger på registrering af bystrukturen og en fastlæggelse af korrespondancen mellem bystrukturtyper og andelen af areal med evapotranspirationsevne (dvs. grønne områder og vandelementer).

Resultaterne viser, at overfladetemperaturer i byen afhænger af andelen af grønt. Jo grønnere byområdet er, jo lavere er temperaturen. Den grønne andel varierer alt efter bydelstype. I den indre by er andelen typisk lav (under 20 pct.), hvor den i parcelhuskvarterer udgør 50-60 pct. De varmeste overfladetemperaturer finder man i den indre by, hvor der er den mindste andel af parker, træer og anden type vegetationsdække. I fx boligområder med tæt-lav bebyggelse er der køligere, og skovområder har de køligste overfladetemperaturer.

Londons Warming!

Det er visionen at London skal blive en eksemplarisk bæredygtig verdens-by. I 2001 startede London Climate Change Partnership sit arbejde med at forberede London til klimaforandringerne. Partnerskabet, der består af en bred vifte af offentlige og private organisationer, har studeret de sociale, økonomiske og miljømæssige konsekvenser af stigende farer for oversvømmelser, faldende vandressourcer, ringere luftkvalitet og ændringer i biodiversiteten.

Partnerskabet har desuden undersøgt, hvordan en række internationale storbyer håndterer konsekvenser af klimaforandringerne og det har vurderet, hvilke internationale erfaringer man kan drages nytte af i London.

Læren fra klimastudiet i London er:

- at der er brug for overordnet byplanlægning
- at der er behov for partnerskaber mellem forskellige organisationer, og også partnerskaber der overskrider geografiske grænser
- at helhedsorienteret og integreret tænkning er en forudsætning for en effektiv håndtering af klima-risici
- at det er en stor udfordring at klimatilpasse eksisterende bygninger og infrastrukturelle systemer, men at det bør ske omgående
- at målrettet kommunikation og involvering af myndigheder, erhvervsliv og befolkning er en forudsætning for at opnå et succesfuldt beredskab.

En vigtig erfaring fra London er, at bevidstheden om klimaforandringens effekter blandt interessenter og beslutningstagere er stor og accelererende. Der er dog behov for, at der arbejdes med, at kvantificere de potentielle klimaforandringseffekter og tilpasningsmuligheder på lokalt niveau såvel som at inddrage beslutningstagerne effektivt, hvad enten det drejer sig om lods ejere, bystyre eller store virksomheder.

Partnerskaber har en vigtig opgave i at sørge for, at studiets budskaber og konklusioner videreføres til beslutningstagning.

I Danmark er begrebet fjernkøling relativt nyt. I marts 2008 åbnede et såkaldt »fuldskala« fjernkølingsanlæg i Hjørring. Miljøfordele og omstillingsomkostninger vil afhænge af de specifikke lokale forhold. I dag anvendes køling i bygninger primært i kontorbygninger, butikker og indkøbscentre mv., hvor der er mange mennesker og maskiner med varmeafgivelse samlet

samme sted. Fjernkølingssystemer vil typisk kun kunne forsyne større kunder på rentabel vis. Det vil være for investeringstungt til at udgøre et realistisk alternativ til individuelle air-conditionanlæg.

De varmere temperaturer i byerne udløser behov for nye og energikrævende nedkølingsmuligheder indendørs i offentlige bygninger og i offentlige transportmidler i sommerperioden. Studier har beregnet, at en virksomhed i London uden air-condition vil opleve temperaturer, der overskrider almene komfortniveauer i 23 pct. af arbejdstiden.

Ekstreme vejr-situationer, som hedeølger, vil have konsekvenser for borgernes sundhed og helbred, i værste fald med varmerelaterede dødsfald. Sommerhedeølgen i 2003 i Europa førte samlet set til 35.000 flere dødsfald end normalt. På sigt er problemets omfang dog vanskeligt at bedømme på grund af menneskets indbyggede evne til akklimatisering. Mildere vinter vil eventuelt også kunne mindske omfanget af kulderelaterede dødsfald.

De forventede klimaforandringer vil forårsage de mindste temperaturstigninger i byområder med overflader med megen vegetation, hvilket skyldes de grønne områders evapotranspiration (fordampning).

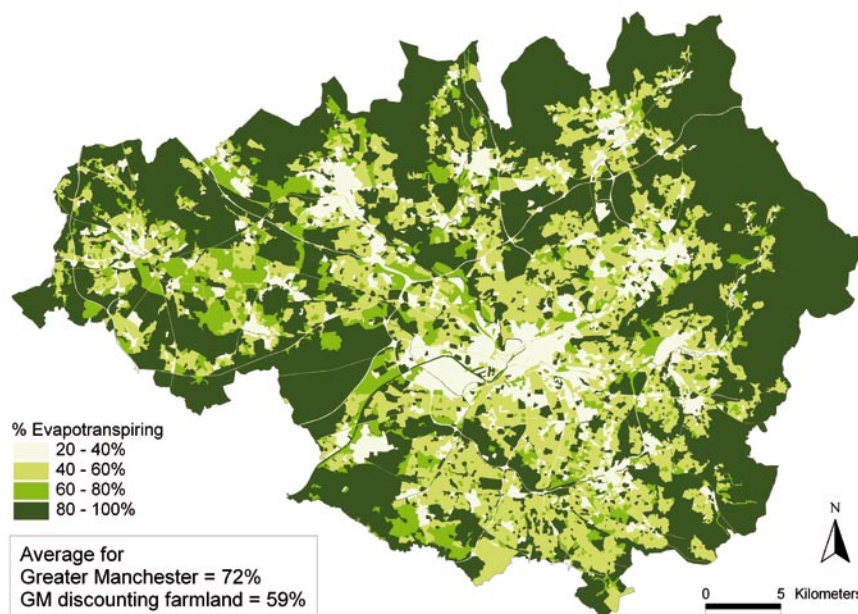
Evapotranspiration

Ved fordampning af vand – evaporation – nedsættes luftens temperatur. Vegetationens nedkølede evner kaldes for evapotranspiration, og skyldes at en del af solens indstrålingsenergi bliver omsat til fordampning frem for at opvarme luften. Vegetation med store overflader fordampner mest vand. Træers store løvoverflader har en større fordampning end fx græs.

Opvarmningen har også konsekvenser for byens grønne områder. Vækstperioden bliver længere, som følge af et varmere klima. Risiko for frost eksisterer fortsat. Dette kan bl.a. forårsage ødelæggende frostskafer på byens træer på et fremskredent og sårbart tidspunkt i den forstyrrede vækstsæson. Vegetation i mistrivsel har nedsat evne til at fordampe vand, hvorved vegetationens evne til at dæmpe varme-ø-effekten nedsættes.

Et mildere klima vil give byboere mere udeliv i sommerperioden, og her har byens grønne områder en central betydning for menneskers velbefindende. Der vil blive stigende behov for svalende og skyggefulde steder udendørs. En stigende efterspørgsel på parker og grønne områder vil medføre et større slid og belastning, der vil stille større krav til parkernes plejeniveau.

Luftkvaliteten i byområder vil med temperaturstigningerne forværres. Klimaforandringer kan påvirke luftkvaliteten på forskellig vis. Det drejer sig særligt om problemet i forhold til luftens indhold af ozon. Ozon er en af de største årsager til luftforurening i den vestlige verden, særligt i USA. I Europa er det især i den centrale og sydøstlige del de højeste ozonkoncentrationer bliver målt. I vejr-situationer med højtryk og sydøstvinde transporteres ozonen til Danmark.



Andele af evapotranspirerende overflader i Manchester Byregion. (Kilde: Stephan Pauleit).

Ozon (O₃) dannes af kemiske reaktioner i atmosfæren i solskin. Ozon har sundhedsskadelige effekter. Især personer med luftvejslidelser og personer, der opholder sig meget ude og er fysisk aktive (bl.a. børn), er udsatte bliver påvirket med luftvejssymptomer og øget sygelighed. Antallet af dage med lav vindhastighed og høje temperaturer med høj solindstråling skaber grundlaget for høje ozon-koncentrationer, og disse vil stige med klimaforandringerne. Særligt i de varme sommerperioder med vindstille vejr forventes luftens kvalitet at blive ringere. Problemets omfang er dog nok begrænset, da det blæser meget fra vest i Danmark, hvilket sikrer en høj luftudskiftning.

De tre fotografier nederst på siden illustrerer forskellige bytyper med varierende andel af grønt:

- Indre by: De varmeste steder i Manchester ligger i den indre by, der er befæstet, højt og tæt bebygget og kan rumme en lille andel grønne områder.
- Tæt-lavt boligområde: I tæt-lavt boligbyggeri med mange grønne områder er temperaturer markant lavere, end i tæt bebyggede områder.
- Park: Skove er de køligste områder i byen under en hedeølge. Men også parker byggetomme pladser er kølige oaser i byen.

Kilde: Stephan Pauleit og John Handley.



Ændrede nedbørsmønstre

Fremtidens ændringer i nedbørsmønstre, hvor nedbøren vil komme i kraftigere regnskyl betyder, at den overfladiske vandafstrømning vil blive markant forøget. Dette får betydning for alle danske byområder uanset beliggenhed og størrelse. I byen er vandets nedsivning stærkt nedsat, mens den overfladiske afstrømning er tilsvarende større og hurtigere end i det åbne land. Disse forhold skyldes igen især byens fysiske strukturer, hvor vegetation er erstattet med bebyggelse og befæstede arealer. Regnvand kan kun sive ned, hvor der er vegetationsdækkede overflader.

Ændrede nedbørsmønstres konsekvenser for byområder

- Øget vandafstrømning
- Overbelastede kloakker
- Oversvømmelser
- Sommertørke

Allerede nu er kloaksystemer mange steder overbelastede. I løbet af sommeren 2007 oplevede mange danske byer, hvad der sker, når frekvensen og intensiteten af kraftige regnbyger øges. Kloakkerne er ikke dimensionerede til disse nedbørsforhold, og resultatet var ukontrollerede, lokale oversvømmelser af veje og kældre. Udsigten til flere og kraftigere regnskyl vil lægge yderligere pres på systemerne.

Ændringer i nedbørsmønstre fører også til en højere risiko for tørke om sommeren. Hvorvidt det er en presserende trussel mod drikkevandsforsyningen i Danmark er uvist, men det vil true byens grønne områder, og særligt gadetræer, og kan skabe behov for kunstvanding, hvis der ikke tages forholdsregler.

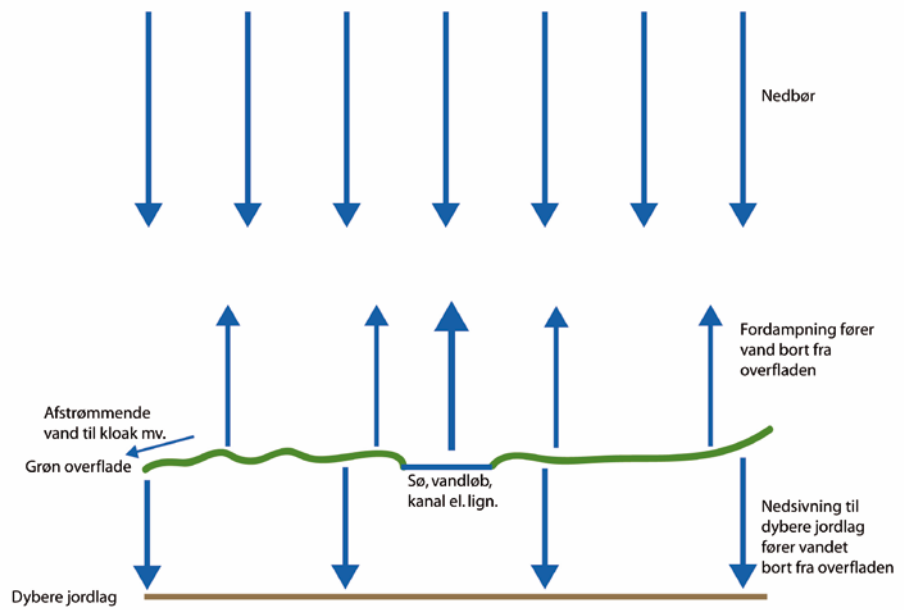
Øget vandafstrømning

Resultaterne fra Manchester-studiet viser, at nedbørsmængder fra store regnskyl øges fra 18 mm. om dagen til 28 mm. om dagen. I de værste klimascenarier er byens vandafstrømning i år 2080 øget med op til 78 pct. - fra 8,8 million m³ til 15,7m³ (se Gill et al., 2007)

Sommertørke

I Manchester-studiet har man beregnet konsekvenserne af de faldende nedbørsmængder om sommeren for græs. I et ekstremt klimascenarium, hvor der mangler plantetilgængeligt vand i jordens øverste jordlag (30 cm) i op til fem måneder, afsvides græsset i perioder. I dag oplever planter højst en måneds tørke. Ved afsvidning mister græsset sine nedkølede evner. Græsflader har en vigtig nedkølede funktion i byens mikroklima, men er samtidig meget sårbare under tørke, hvilket kan forstærke den urbane varme-ø-effekt.

Grønne og blå overflader (skov, marker, parker, søer mv.)



Byområder med bygninger og befæstede arealer

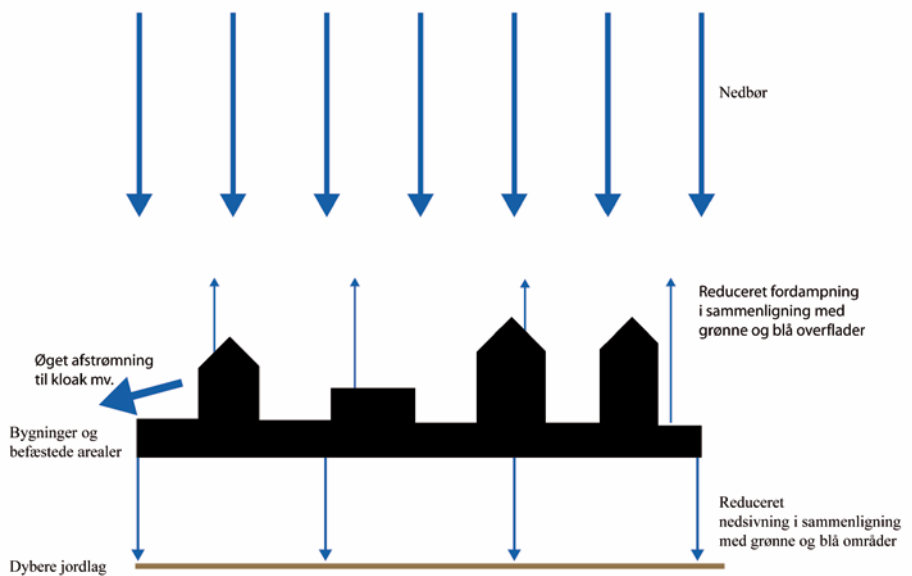


Illustration af vandafstrømningen i det åbne land og i byen. Figurene viser principper for vandafstrømning i det åbne land og i byen. Vandnedsivningen i jorden er nedsat i byen på grund af de mange befæstede arealer. Fordampning (evaporation) er også nedsat da byen har færre grønne områder. Som følge er den overfladiske afstrømning i byen større og hurtigere end i det åbne land (kilde: »City form and natural process«, V. Whitford et al. 2001).

Del 2

Potentialer og gode råd

3. Potentialer for tilpasning

Principielt er der to måder at møde klimaforandringer på: ved begrænsning og med tilpasning. Ligeegyldig hvor meget det lykkes verdens nationer at reducere den menneskeskabte udledning af drivhusgasser, vil lufttemperaturer fortsat stige på globalt niveau på grund af de naturlige processer, der er startet. Ved at reducere udledninger af drivhusgasser kan klimaforandringer begrænses, men det er samtidig nødvendigt, at byerne også tilpasses klimaændringerne. Det sidstnævnte aspekt er dog stadig det mindst fremtrædende i klimadebatten. I en dansk sammenhæng har det først for nylig fået større opmærksomhed, bl.a. i forbindelse med de lokale oversvømmelser forårsaget af kraftige regnskyl i nogle byer samt oversvømmelser forårsaget af stormfloder i kystnære byområder i 2007. Oversvømmelserne er de første små tegn på, hvad der kan forventes at blive normen i dette århundrede.

Begrænsning

Begrænsning handler om at nedsætte udslippet af drivhusgasser. Her rummer byen særlige potentialer, fx gennem modernisering af bygningsmassen, reduktion af energiforbrug, udskiftning til fornybare energikilder og byfortætning med mindre behov for biltrafik. Rundt omkring er mange bystyrer langt fremme med deres reduktionsstrategier. Fx stræber den australske by Melbourne efter at blive CO₂-neutral i 2020. I dansk sammenhæng har et stigende antal kommuner også iværksat initiativer, der tilstræber en CO₂-neutral eller klima-venlig udvikling.

Tilpasning

Tilpasning handler om at kunne håndtere konsekvenserne af et foranderligt klima. Ved tilpasning kan man på en omkostningseffektiv måde mindske de ødelæggelser, som klimaforandringer vil føre med sig. Desuden vil man kunne mindske risikoen for skader. Fx kan byggeforskrifter tilpasses fremtidens ekstreme vejrbegebenheder, der kan anlægges oversvømmelsessikringer og diger kan forhøjes mod havniveau-stigninger, der kan udvikles tørketolerant vegetation, m.m.

Potentialer I – nedkøling af lufttemperaturer

Klimaforandringer vil påvirke byens mikroklima, miljø og den menneskelige trivsel i byerne. Højere temperaturer vil også føre til højere temperaturer indendørs. I forbindelse med nybyggeri vil klimatilpasninger være mulige. Der kan inkorporeres nedkølingspotentialer i byggeriet, fx i form af nedkølingsanlæg. Konventionelle nedkølingsformer vil dog øge energibehovet og dermed også udslippet af drivhusgasser, så der bør sættes på udvikling og udnyttelse af CO₂-neutral køling.

Der er i princippet mange muligheder for at nedsætte opvarmningen af byområder. Opvarmningen kan særligt nedsættes gennem reduktion af varmelagring. Dette opnås dels gennem øget refleksion af sollys fra bebyggelse og befæstede overflader. Hvad angår bebyggelse kan det ske ved at lave kølige tage. Kølige tage reflekterer solindstrålingen og opnås via materiale-

valg, hvor hvide tegl er effektive. Kølige tage har størst effekt for lavt byggeri (max. 2 etager).

Grønne tage er en anden og mere effektiv form for kølige tage, som nedkøler luftens temperatur. Begrønning af tage kan samtidig isolere huse og dermed mindste opvarmningsbehovet. Desuden har amerikanske studier vist, at opvarmningsbehov kan nedsættes ved at der plantes træer foran huses sydvestside. Ved vegetationsbevoksning på bygningers mure – grønne mure – kan man desuden nedsætte varmelagringen i husmure. Hvad angår byens befæstede overflader kan de gøres køligere ved valg af køligere alternativer til fortovsmaterialer og gadebelægninger. Her har de typiske materialer, beton og asfalt, en lav refleksionsevne og absorberer store mængder varme. Reduktion af byens varmelagring kan også finde sted ved at reducere andelen af befæstede overflader, hvorved evapotranspiration øges. Det kan opnås gennem mere vegetation i byen.

Kølige parker

Byens grønne områder er dels behagelige steder at opholde sig, men de kan også påvirke byens temperaturer, på grund af deres nedkølede effekt. Byens temperaturer afhænger af andelen af grønt i området. Vegetation nedsætter sommertemperaturen ved fordampning af vand. Træer er særligt effektive til at regulere klimaet, fordi de ud over fordampningseffekten også har en skyggevirkning.

Parker med en høj andel af træer og byskove er derfor særligt klimaeffektive og typisk de køligste udendørs arealer i byen. På varme sommerdage vil overfladetemperaturer i store parker være 2-3 °C lavere end i de bebyggede naboarealer. I Manchester-studiet viste modelberegninger, at mens overfladetemperaturen i centrum af byen var 32,1°C var den på samme tidspunkt kun 18,4 °C i en større park.

Spørgsmålet er, hvor stor den nedkølede effekt er, og hvor lang rækkevidde den har. Her er den samlede andel af vegetation i byen, overordnet set, den afgørende faktor.

Der er en klar sammenhæng mellem andel af grønt og overfladetemperaturer. Derudover vil temperaturstigninger forårsaget af klimaforandringer være mindre i bydele med højt andel af vegetation. Grønne områder, som parker, skal være større end 1 hektar for at have en væsentlig klimatisk funktion. De skal op på 10 hektarer, før lufttemperaturen sænkes med 1 °C. Forskning fra Sverige og Tyskland viser, at lufttemperaturen også falder udenfor de grønne områder. Omfattende undersøgelser af Tiergarten i Berlin viser dog at denne enorme bypark kun har en nedkølede effekter der rækker 200-400 meter ud over dens grænse, når det er vindstille. Enkelte store grønne områder kan altså ikke påvirke klimaet i hele byen.

Den mest effektive udnyttelse af grønne områders nedkølingspotentialer vil være at etablere et netværk af grønne områder og lave en gennemgående »begrønning« af byens kvarterer. Byernes grønne områder er skævt fordelt. Ofte er der kun små andele grønt i bymidten og i erhvervsområder. De største andele af grønne områder finder man i boligområder. Eftersom den

nedkølende effekt af enkelte grønne områder og parker har en begrænset rækkevidde, er det vigtigt at satse på opbygning af en grøn tæt netværksstruktur i byen, med parker osv. Dette netværk skal også inkludere private grønne områder (fx de lukkede gårdrum i den tætte by).

Mere grønt i de centrale bykvarterer

Manchester-studiets klimascenarier for år 2080 forudsiger stigninger i lufttemperaturen om sommeren på ca. 5 °C under hedeølge. Resultaterne viser, at temperaturstigningerne er betydeligt mindre i områder med en høj andel af grønne områder.

Derimod skal den grønne andel i Manchesters bymidte øges markant for at kompensere for temperaturstigningerne. I bymidten er omkring 37 pct. bebygget, mens 40 pct. er befæstede overflader som fx veje, pladser, parkeringsanlæg. Selvom bymidten er tæt bebygget, er det stadig muligt at skabe plads til mere grønt, særligt ved at plante træer.

I Manchester-studiet blev to scenarier af situationen i år 2080 undersøgt:

- Den grønne strategi, hvor andelen af grønt i boligområder øges med 10 pct.
- Den grå strategi, hvor andelen af grønt i boligområder mindskes med 10 pct.

Beregninger viste, at den grønne strategi kan forhindre, at byen opvarmes. En reduktion af 10 pct. af byens grønne areal – den grå strategi – vil føre til langt højere temperaturer. Fx vil overfladetemperaturen være over 8 °C højere i centrum end i dag.

Det er vigtigt at have et tæt netværk af grønne områder af varierende størrelser. Herudover har det stor betydning, at der indgår mange offentligt tilgængelige rum i det grønne netværk, så de kølige oaser i sommerheden er tilgængelige for byens indbyggere.

I store byer udgør offentlige grønne områder og parker omkring 10 pct. af alle grønne områder i byen, og den største andel befinder sig i boligbyggeri. I Manchester befinder næsten 40 pct. af alle grønne områder sig i boligområder. Undersøgelser af fire danske byer viser, at der også i Danmark er en skæv fordeling af grønne områder. Fx er andelen af grønt areal i Køge 53 pct. for parcelhuskvarterer og 25 pct. for bymidten. Omkring 20-40 pct. af den samlede vegetation består af træer og buske, mens resten er græsvegetation.

Plantning af træer vil være en særlig effektiv måde at begrænse temperaturstigninger i den indre by. I princippet er der tilstrækkeligt med plads til, at der kan plantes flere træer på byens pladser og langs gader. Der er dog mange vigtige forudsætninger for, at træer og anden vegetation kan trives. Jordkomprimering, dårlig rodvækst og dermed ringe vandoptagelse er kendte problemer. Udsigten til længere perioder med sommertørke kræver tilpasningsindsatser, som fx at forbedre gadetræernes vandforsyning gennem større træhuller, der giver mere jordvolumen og derved mere vand til rødderne. Dertil kommer, at angreb fra skadedyr vil stige med temperaturen. Dette felt mangler der endnu viden om. Dog har man registreret et stigende angreb af skadedyr på danske skove, som kædes sammen med klimaforandringer.

Sammenfattende er der følgende vigtige potentialer for nedkøling af lufttemperaturer:

- Det er vigtigt, at der satses på at opbygge en grøn netværksstruktur for at udnytte de grønne områders nedkølingspotentialer.
- For at skabe et grønt netværk kræves der en særlig indsats i bymidten og andre tæt bebyggede bydele, hvor andelen af grønt kan øges.
- Også i boligområder og andre bydele med høj andel af grønne områder kan der være behov for fokus på at sikre dem, fx i forbindelse med byudvikling og omdannelse.

Potentialer II – nedsivning og afstrømning af nedbør

Tilpasning til klimaforandringernes ændrede nedbørsmønstre handler i høj grad om at udvide byens potentialer for tilbageholdelse (retention) og nedsivning af nedbør. Udover at forbedre byens mikroklima har den grønne struktur mulighed for at afbøde effekter af det ændrede nedbørsmønster, særligt i form af flere voldsomme regnskyl med øget afstrømning og oversvømmelser til følge.

Oversvømmelse

Det stigende hav-niveau er en håndgribelig trussel for et lavtliggende land som Danmark. I fremtiden vil kystnære danske byområder opleve en øget udsathed overfor oversvømmelser. De vil bl.a. opleve flere oversvømmelser i forbindelse med ekstreme stormvejrssituationer i form af stormfloder og opstuvning af vand i de indre farvande. Ofte har offentlige bygninger m.m. en udsat beliggenhed i forbindelse med oversvømmelser. Det vil derfor være en god hjælp at opstille lokale scenarier for oversvømmelsesfare i forbindelse med fremtidig lokalisering af centrale offentlige funktioner og bygninger (hospitaller, skoler, energiforsyningsanlæg, brandstationer etc).

I London-studiet har man beregnet de økonomiske konsekvenser ved oversvømmelsesrisici. Her skønner man, at det over de næste 40 år vil kræve investeringer i størrelsesordenen 4 mia. £ at beskytte infrastrukturen mod oversvømmelser.

Overbelastede kloakker

Kloaksystemer er mange steder allerede overbelastede og udsigterne til flere, kraftige regnskyl gør problemerne påtrængende at løse. Spørgsmålet er, om udvidelser af kloaknettets kapacitet er den bedste løsning på problemerne. Alternativt kan byens grønne struktur inddrages til udviklingen af både billigere og mere robuste afvandingsløsninger.

Ved at tilbageholde regnafstrømningen tæt på det afstrømningsgivende areal, kan vandet med forsinkelse og reduceret hastighed sendes til kloakken eller nedsive i jorden. Frem for udbygning med større rør, flere bassiner og kraftigere pumper kan der laves flere nedsivningsbassiner under jorden. Regnafstrømning kan også tilbageholdes på terræn, fx ved at etablere grøfter, render, vådområder og søer, der tilpasses byens landskab. Hvis vandet skal op på terræn, og evt. nedsive til grundvandet, er det vigtigt, at der

tages hånd om vandets kvalitet, da overfladevand kan være forurenet med oliespild fra biler, fugleekstremer m.m.

Nye vandelementer i byen kan blive til stor glæde og attraktion for byens borgere og være en værdiforøgelse for byen. Forudsætningerne for en succesfuld landskabsbaseret afvanding er dog en korrekt dimensionering, at vandkvaliteten er i orden, og at samspillet med det grønne strukturs øvrige funktioner fungerer.



Ovenstående fotografier er eksempler på hvordan vand kan integreres i bebyggelsesplaner:

- I Augustenborg (Malmö) blev arealbaseret afvanding benyttet som element, der kan understøtte kvaliteten af bykvarterets grønne områder.
- Den nye bydel Bo01 i Malmö er et andet eksempel. Her bliver tagvand benyttet som ressource, der kan højne de grønne områders attraktivitet.

Kilde: Stephan Pauleit.

Nul-løsning i Silkeborg

En stor udfordring i fremtiden bliver at komme af med regnvandet. Det er derfor nødvendigt at finde nye former for nedsivning af regnvand. Det arbejdes der på i Silkeborg kommune. I forbindelse med byudvikling arbejder man her med en »nul-løsning«, hvor alt regnvand nedsives, dvs. uden afledning til recipient eller nedstrøms afløbssystemer. Dels sikrer man, at vandkvalitetsmålsætningen overholdes ved ikke at udlede overfladevand til vandløb fra kloakoplandet. Dels integrerer og synliggør man områdets regnvandsafledning i bebyggelsen, så den bliver en oplevelse for beboerne.

Sammenfattende er der følgende vigtige potentialer for nedsivning og afstrømning af nedbør:

- Grønne områders evne til at nedsive regnvand skal øges, bl.a. i form af nedsivningsfaskiner og overfladiske vådområder (»regnhaver«).
- Vandafstrømningen til afløbssystemer skal reduceres og byens grønne struktur skal inddrages og tænkes ind i byens afvanding.
- Grønne områder skal have gode muligheder for at lagre nedbør, så det forhindres, at vegetation udtørres og evapotranspirationens nedkølende funktion sikres.

4. Hvordan kommer man i gang med klimatilpasning?

Klimaforandringer er uundgåelige, men det er stadig muligt at undgå de værst tænkelige scenarier. Udledninger af drivhusgasser skal begrænses, så de langsigtede konsekvenser afbødes. Byområder og byens omsætning af energi og stof til opvarmning, transport og produktion, er væsentlige kilder til udledning af drivhusgasser. Kompakte bystrategier er en velkendt måde at mindske byens energiforbrug og drivhusgasudslip. Tætte bystrukturer med høje andele befæstede overflader er samtidig sårbare overfor konsekvenserne af klimaforandringer, som fx temperaturstigninger og kraftig nedbør. Såvel begrænsning som tilpasning indgår i bestræbelserne på at mindske effekterne af klimaforandringer. Disse løsningsmåder skal samtidig integreres, så planlægningens konsekvensvurderinger af den fremtidige byudvikling også inkluderer klimaforandringer.

Byplanlægning tilpasset klimaforandringer – integrerede designprincipper

1. Form, hierarki, lokalisering og skala på transportsystemet og anden offentlig infrastruktur

En infrastrukturstrategi i kombination med en byfortætningsstrategi kan reducere energibehov og udledninger fra transportsektoren. Udvikling af en afvandingsstrategi baseret på en kombination af landskabs- og kloakbaseret afvanding der kan afhjælpe de afstrømningsproblemer, de voldsommere regnskyl skaber.

2. Forholdet mellem bebygget og grønt miljø

En fornuftig balance mellem bymæssig tæthed og en velfungerende grøn struktur kan sikre, at der både tages højde for begrænsning af transport og dæmpning af temperaturstigninger. Forholdet mellem ubebygget, befæstet og bebygget skal være afvejet, og kvaliteten af grønt areal skal være godt, hvis især store træer skal kunne passes ind og bidrage til at dæmpe temperaturstigningerne.

3. Grønne områders udformning/design og mønster

For at udnytte de grønne områders temperatursænkende potentialer, må den grønne netværksstruktur planlægges i alle skalaer: fra det lokale niveau til hele byregionen. Desuden er det nødvendigt at inddrage alle arealer, offentlige som privatejede. Tilpasning af byens grønne struktur til klimaforandringer er en lang proces og udvikling af en grøn netværksstruktur kræver et godt videngrundlag.

4. Boligers, kvarterers og bydeles bygningsdesign

For at reducere konsekvenser af temperaturstigning må der implementeres en række byggetekniske løsninger i det byggede miljø, der kan reducere energiforbrug og nedkølingsbehov, omfattende bl.a. naturlig køling gennem fordampning, naturlig ventilation, "køligt" materialevalg (overflader, tag, mure og fortove).

5. Design og lokalisering af offentlige funktioner/faciliteter

For at sikre samfundets vitale funktioner – hospitaler, brand- og politistationer, og centrale administrative kontorer – mod effekterne af klimaforandringer, skal disse bygninger have en geografisk lokalisering, der tager højde for højere havvandsniveau og flere oversvømmelser. Desuden skal deres design tilpasses ændrede nedbørsmønstre og temperaturstigninger.

Byplanlægning og arealforvaltning er vigtige redskaber både for reduktion af klimagasser og for tilpasning og skabelse af klimarobuste samfund. Det kræver, at byplanlægning og arealforvaltning i byer gentænkes. Samlet planlægning af transportinfrastruktur og arealanvendelse kan være vejen til udvikling af tætte bebyggelser med lave udledninger. Byområdets modstandskraft overfor klimaændringer kan øges gennem klimatilpasset byggeri, infrastruktur og grøn struktur i byerne.

Byernes beslutningstagere og interessenter er vigtige aktører i udviklingen af strategier, der både begrænser udledningen af drivhusgasser og implementerer tilpasningsstrategier, der tager hånd om klimarelaterede trusler mod byer.

Der kræves forskellige geografiske lokaliseringsinitiativer med udgangspunkt i de lokale risikovurderinger fx om byområdet ligger ved kysten, ved vandløb og i byområdets størrelse – om det er en stor eller lille by. Forberedelseshandlinger skal skræddersys til de lokale omstændigheder.

Håndbog om klimatilpasning

Den amerikanske interesseorganisation ICLEI - Local Governments for Sustainability har udarbejdet en håndbog om, hvordan man på forskellige myndighedsniveauer kan gøre sig klar til klimaforandringerne (Preparing for Climate Change: A Guidebook for Local, Regional, and State Governments).

Håndbogen giver på systematisk vis anbefalinger til, hvordan man laver en klimatilpasningsstrategi: hvilke forberedelser er nødvendige, hvilke risikovurderinger er de centrale, hvordan sikrer man at partnere tager ansvar. Den foreslår en række vigtige punkter et klimaberedskab kan opbygges om. Det drejer sig om:

- 1) at få overblik over klimaforandringernes påvirkninger af de største sektorer;
- 2) at opbygge og vedligeholde opbakning blandt interessenter til at forberede sig på klimaforandringer;
- 3) at det kan være en god idé at nedsætte en særlig gruppe, der koordinerer og fokuserer på at gøre sig beredt klimaforandringer;
- 4) at identificere de planlægningsområder, der er relevante for klimaforandringernes påvirkning.

Kilde: www.iclei.org

En effektiv klimatilpasningsstrategi kræver et godt videngrundlag og at der i håndteringen af en specifik risiko udvælges de rette måleredskaber og handlemuligheder. Udarbejdelse af en handlekraftig strategi kræver, at man påbegynder en række processer:

- Identificerer klimafølsomme områder og sektorer
- Foretager risikovurderinger: på hvilke områder og sektorer skal indsatsen fokuseres?
- Identificerer potentielle tilpasningsmuligheder
- Træffer beslutning om og implementering af tilpasningsmål
- Foretager løbende overvågning, vurdering og forbedring af implementerede mål.

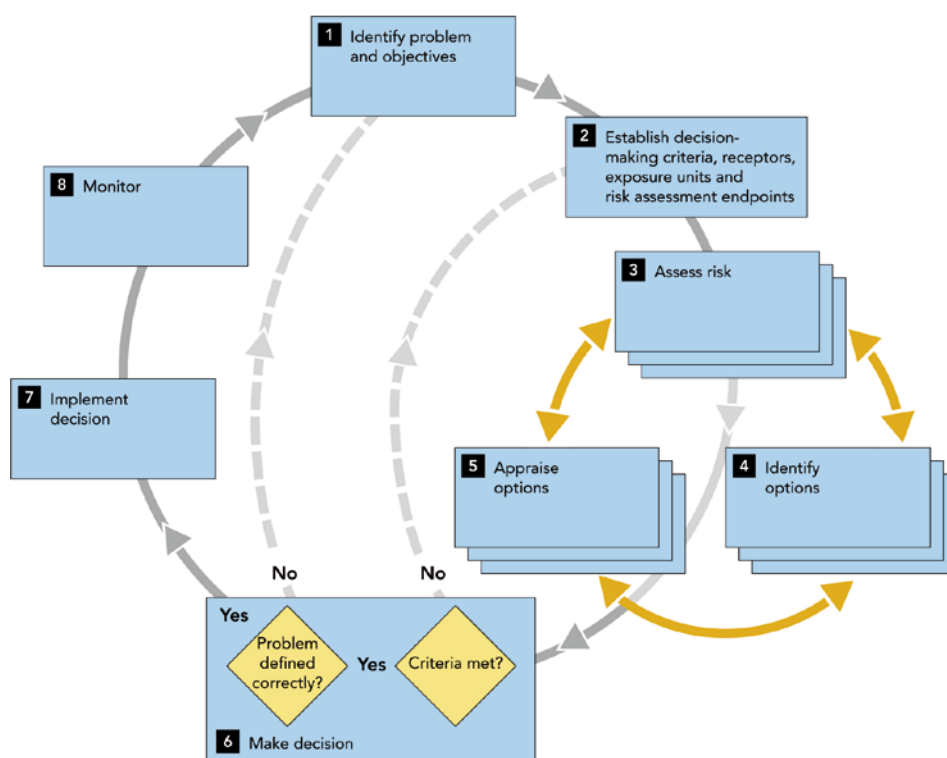
Erfaringer fra Boston

I CLIMB-studiet i Boston (Climate's Long-term Impacts on Metro Boston) har man undersøgt klimaforandringernes effekter på byregionen.

Først blev tilstanden af det nuværende infrastrukturens system analyseret, og det blev vurderet, hvordan tilknyttede socioøkonomiske og miljømæssige funktioner bidrager til livskvaliteten i byregionen. Dernæst undersøgte man klimaforandrings konsekvenser i forbindelse med energiforbrug, havniveau-stigning, transport, vandforsyning, flodoversvømmelser, befolkningens sundhed, vandkvalitet, høje bygning og erosion af broer. Til slut analyserede man tre klimaforandringsscenariers påvirkninger på den socioøkonomiske udvikling og fremtidige livskvalitet i byregionen. De tre scenarier bestod i:

- »ride it out« – hvor der intet gøres
- den grønne strategi – hvor man tilpasser og forebygger omgående
- »built your way out« – hvor man løbende tilpasser sig ved hjælp af tekniske løsninger

Konklusionen var, også her, at det lønner sig at handle og tilpasse sig rettidigt.



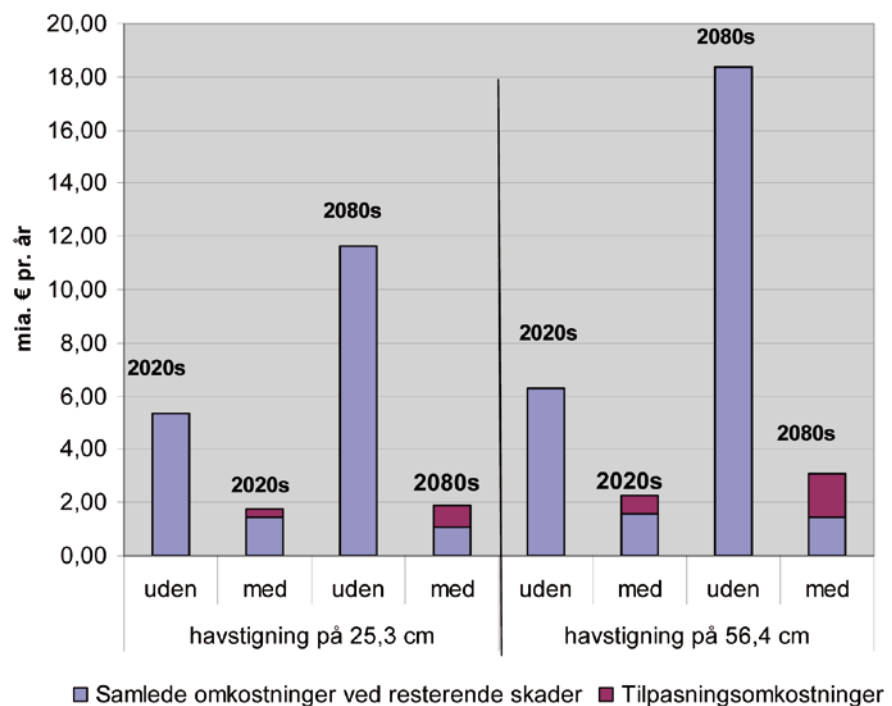
Beslutningsprocesser for klimatilpasningsstrategier. Kilde: EEA 2004, s.80 (http://reports.eea.europa.eu/climate_report_2_2004/en/impacts_of_europes_changing_climate.pdf).

5. Hvorfor starte tilpasningen allerede i dag?

EU's Grønbog fra 2007 om »Tilpasning til klimaændringerne« opgør fem primære grunde til, at der er behov for tilpasning til klimaforandringer og for at planlægning skal tage fat på denne tilpasningsproces så hurtigt som muligt:

- Forebyggende tilpasninger er mere effektive og mindre omkostnings-tunge end nødværgeforanstaltninger.
- Klimaforandringer kan være hurtigere og mere udtalte end de nuværen-de beregninger forudsiger. Det er derfor vigtigt at være på forkant.
- Der vil være øjeblikkelige fordele ved tilpasning til klimatiske variationer og ekstreme episoder.
- Der vil være øjeblikkelige fordele ved at afskaffe politikker og praksisser, som bevirker en ineffektiv tilpasning.
- Klimaforandringer kan også give fremtidige fordele og muligheder, som kan udnyttes eller udvides ved den rette tilpasning og viden. Jo voldsom-mere klimaforandringerne bliver, jo vanskeligere vil det være at udnytte fordelene.

Fremtiden er usikker. De internationale erfaringer fra eksempelvis klima-studierne i Boston og London taler for, at der investeres nu og her i udvik-ling af byer og samfund. Der skal satses på både at reducere drivhusgasud-ledning og tilpasse sig klimaforandringerne.



Virkningerne af tilpasningsforanstaltninger på skader forårsaget af lav og høj havstigning. Omkostninger med og uden tilpasningsforanstaltninger. Kilde: EU Kommissionen (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0354:FIN:DA:PDF>)

Ved en omgående tilpasning får vi fordele af de langsigtede investeringer. Vi vil få mere robuste infrastruktursystemer, sårbare naturlige systemers tilpasningsevne vil blive forbedret, det vil være muligt at vende tendenser som øger klimasårbarheden og frem for alt vil samfundets viden og parathed blive forbedret.

I det lange løb vil tidligere og gradvise investeringer og indsatser kunne betale sig. Sker der ikke særligt store forandringer, er det trods alt bedre at have gjort noget, end at vente til investeringerne skal være voldsomme.

6. Litteratur

Attwell K., 2000.

Urban land resources and urban planting. Case studies from Denmark. *Landscape and Urban Planning*, 52: 145-163.

Blakely, E.J., 2007.

Urban Planning for Climate Change. Lincoln Institute of Land Policy, Working Paper, <http://www.lincolninst.edu/pubs/PubDetail.aspx?pubid=1310> (downloaded June 2008).

Climate's Long-term Impacts on Metro Boston (CLIMB), 2004.

Infrastructure Systems and Climate Change: Integrated Impacts and Response Strategies for the Boston Metropolitan Area.

European Environment Agency, 2004.

Impacts of Europe's changing climate. An indicator-based assessment. EEA Report, No. 2/2004, http://reports.eea.europa.eu/climate_report_2_2004/en/impacts_of_europes_changing_climate.pdf (downloaded June 2008).

Gill S., Handley J., Ennos R., Pauleit S., 2007.

Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. *Journal Built Environment* 33 (1), 115-133.

GRØNBOG FRA KOMMISSIONEN TIL RÅDET, EUROPA-PARLAMENTET, DET EUROPÆISKE ØKONOMISKE OG SOCIALE UDVALG OG REGIONSUDVALGET:

Tilpasning til klimaændringerne – hvad kan der gøres på EU-plan, {SEK(2007) 849}. Bruxelles, den 29.6.2007.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0354:FIN:DA:PDF> (downloaded June 2008)

<http://www.epa.gov/heatisland> (downloaded June 2008)

Hunt, A., and P. Watkiss, 2007.

Literature Review on Climate Change Impacts on Urban City Centres: Initial Findings. ENV/EPOC/GSP(2007)10. Paris, France: OECD, <http://www.oecd.org/dataoecd/52/50/39760257.pdf> (downloaded June 2008).

Jørgensen, Anne Mette K.; Christensen, Ole B. & May, Wilhelm, 2006:

Klimascenarier for Danmark. Projektrapport, Danmarks Meteorologiske Institut (DMI), http://www.dmi.dk/dmi/dmi_projektrapport_togradersklimascenarium.pdf (downloaded June 2008).

London Climate Change Partnership, 2002.

A Climate Change Impacts in London. Evaluation Study. Final report.

London Climate Change Partnership, 2006.

Adapting to climate change: Lessons for London. Greater London Authority.

Walsh, C.L., Hall, J.W., Street, R.B., Blanksby, J., Cassar, M., Ekins, P., Glendinning, S., Goodess, C.M., Handley, J., Noland, R. & Watson, S.J. (eds.), 2007.

Building Knowledge for a Changing Climate: collaborative research to understand and adapt to the impacts of climate change on infrastructure, the built environment and utilities. Newcastle University, <http://www.k4cc.org/news/bkcc-publication> (downloaded June 2008)

Washington – ICLEI Preparing for Climate Change, 2007.

A Guidebook for Local, Regional, and State Governments. University of Washington, King County, Washington & ICLEI – Local Governments for Sustainability.

Whitford, V., Ennos, A.R. and Handley, J.F., 2001.

City form and natural process – indicators for the ecological performance of urban areas and their application to Merseyside, UK. *Landscape and Urban Planning*, 57(2), pp. 91–103.