2. Problematik

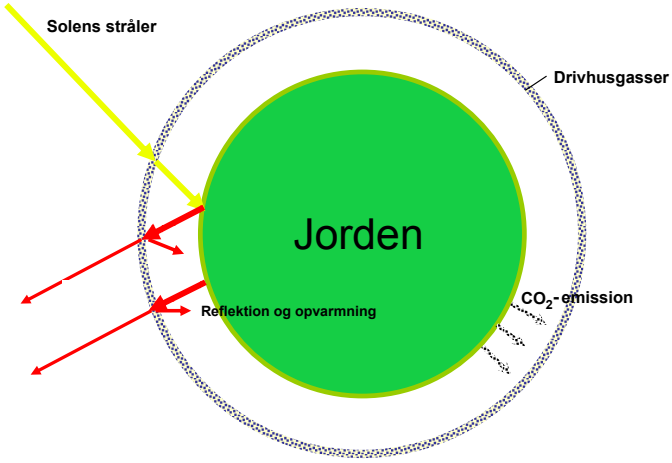
Fremtidsscenarier 22
Klimaforandringer 22
- Effekter af den globale opvarmning 23
Bymæssige konsekvenser 27
- Varme-ø-effekt 27
- Byrum 27
- Infrastruktur 28
- Bygninger 29
- Sundhed 30
Delkonklusion 1: Fremtidsscenarier 31

Klimatilpasning 32
Indledende undersøgelser 32
Det byggede miljø 34
- Vandhåndtering 34
- Bygningernes modstandsdyg-
tighed 39
Termisk komfort 40
- Konventionelle tilgange 40
- Grønne Løsninger 42
Delkonklusion 2: klimatilpasning 43

"Udfordringerne forbundet med klimaforandringerne fremhæver vigtigheden af anerkendelse af behovet for at skue længere end traditionelle vækst-dominerede fremgangsmåder og at opmuntre til et mere langsigtet, bæredygtigt syn på byudvikling." - ASCCUE, 2006

Klimaforandringer

På FN's konference om miljø og udvikling i Rio de Janeiro i 1992 blev det konkluderet, at der på verdensplan er behov for at dreje samfundsudviklingen i en mere bæredygtig retning. De industrialiserede landes overdrevne ressourceforbrug gennem et halvt århundrede har resulteret i, at vi i dag står over for en afgørende miljøtrussel i form af global opvarmning som konsekvens af de store mængder udledte drivhusgasser (Københavns Kommune Lokal Agenda 21, 2002). Målinger viser, at middeltemperaturen på verdensplan er steget 1°C inden for de sidste 100 år, og det vurderes, at temperaturen uden politisk handling fortsat vil stige 1,8-4,0°C frem til 2100 (IPCC, 2000).

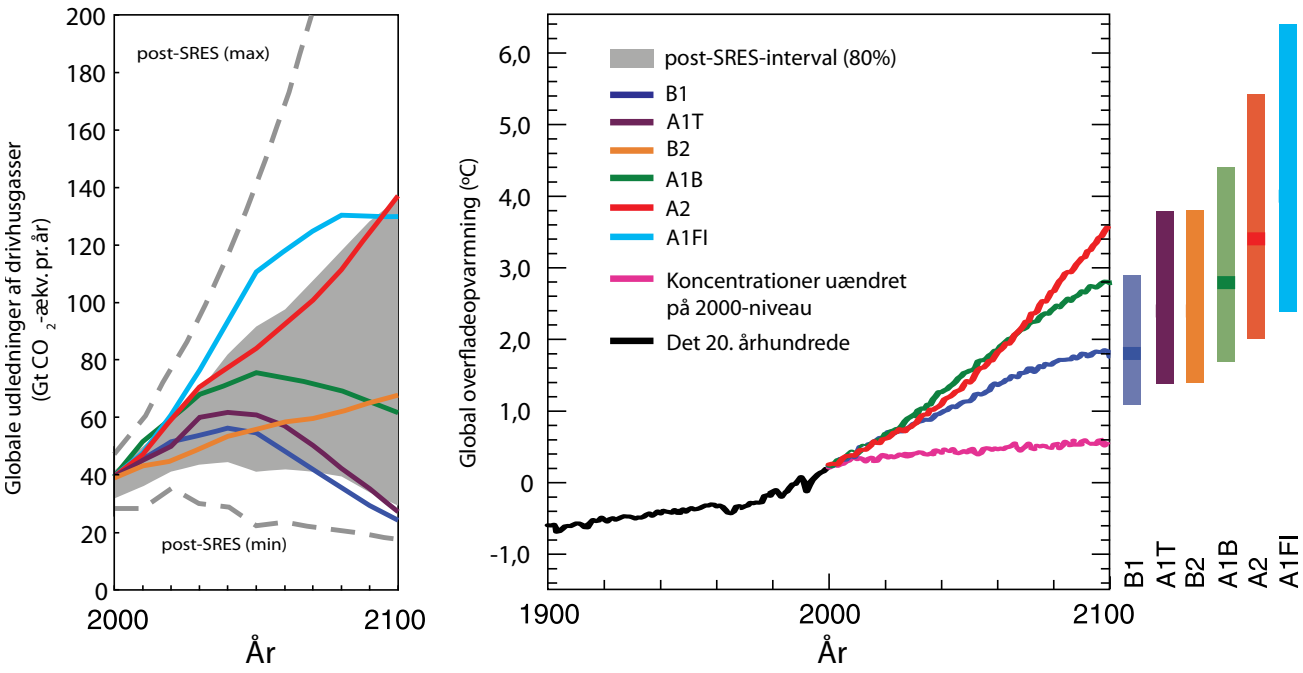


Figur 2.1: Global opvarmning grundet udledning af CO_2 og andre drivhusgasser. Illustration: Egen illustration
(Inspiration fra faget: 11119 Energibesparelser og miljø)

Når man taler om global opvarmning, fokuseres der hovedsageligt på udledningen af CO_2, på trods af at dette langt fra er den mest varmeisolerende drivhusgas. Bl.a. er Metan 20 gange værre pr. mængdeenhed, mens nitrogenoxid er 300 gange værre, og chloro-fluoro-carbon(CFC-gasser) er flere tusind gange mere varmeisolerende. Men disse gasser udledes kun i relativt små mængder, så grundlæggende er det alligevel CO_2-udledningen, der er den største kilde til global opvarmning. Hertil kommer, at det tager ca. 200 år at nedbryde CO_2 i atmosfæren (FN klimarapport, 2007), Selvom vi mindsker eller helt stopper udledningen af CO_2, vil den globale opvarmning dermed ikke ophøre på kort sigt. Uanset hvad vi foretager os, vil middeltemperaturen på globalt plan antagelig stige i hvert fald frem til år 2100 og medføre flere ændringer i vores klima. Men spørgsmålet er, hvor store de ændringer skal have lov at blive?

Siden 1990 er udledningen af CO_2 steget med 20 % på verdensplan, og den stiger fortsat støt (IPCC, 1990). Mange af vores økosystemer er meget sårbare, og da vores og andre arters overlevelse afhænger af dem, bør de miljømæssige ændringer så vidt muligt minimeres(Common og Stagl, 2005). Men så længe udledningshastigheden er højere end nedbrydningshastigheden, vil drivhuseffekten logisk øges yderligere, og temperaturerne således stige endnu hurtigere.Forebyggelsestiltag kan altså i høj grad retfærdiggøres, også selvom vi ikke mærker resultaterne straks – blot bliver det i stigende grad nødvendigt, at de suppleres med tilpasningsinitiativer, hvilket hidtil har været en anelse overset (Regeringen, 2002). Med de højere temperaturer følger nemlig en række andre effekter af det ændrede klima, som hverken det naturlige eller det byggede miljø er udviklet til at modstå.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, har udviklet en lang række fremtidsscenarier for, hvordan tiden indtil år 2100 kan komme til at se ud, hvis der ikke gribes markant ind fra politisk side. De fremskriver klimaforandringernes udbredelse som resultat af nogle forskellige socioøkonomiske, de-



Figur 2.2: IPCC's estimater på globale CO_2- og temperaturstigninger ud fra forskellige samfundsscenarier (IPCC, 2007). Illustration: IPCC

mografiske og teknologiske udviklingstendenser på globalt plan og de deraf følgende mængder udledt CO_2, (se figuren 2.2).

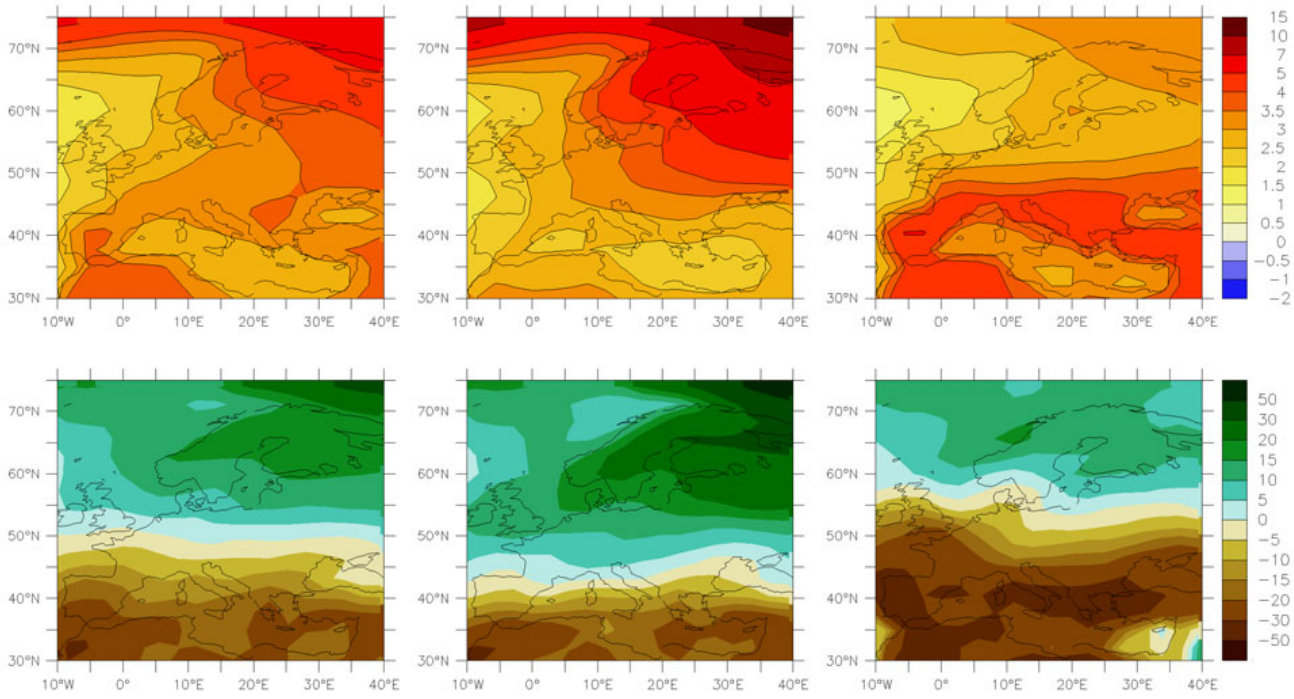
Klimascenarierne er udviklet som et værktøj for politikere og andre beslutningstagere til at vurdere sagens alvor og sætte en dagsorden for den videre udvikling bl.a. i forhold til både forebyggelse og tilpasning. De mange scenarier og deres ret varierende miljøvirkninger markerer de usikkerheder, som altid vil være forbundet med at forudsige fremtiden. Men tilsammen skulle de gerne danne et realistisk spektrum af de mulige udfald, vi går i møde.

Dog skal samfundets uforudsigelighed ikke undervurderes. Ser man eksempelvis tilbage på det sidste halve eller hele århundrede, er der sket voldsomme ændringer, teknologisk og kulturelt, der ville have været umulige at forudse, og det samme kan selvfølgelig blive tilfældet i dette århundrede. Især ved tilpasningsinitiativer må man være opmærksom på, at de sociale og tekniske normer, man planlægger efter, sandsynligvis ikke er de samme, der gælder, når klimaforandringerne for alvor træder i kraft (ASCCUE, 2006).

Effekter af den globale opvarmning

En gennemsnitlig temperaturstigning på et par grader lyder i manges ører ikke af så meget, så for at kunne forholde sig til dimensionerne må man se nærmere på de forskellige følgeeffekter, hvoraf nogle allerede har vist sig i et vist omfang.

Globalt intensiveres de vejrmæssige udsving generelt med en større andel voldsomme regnskyl og længere tørker. Det ser ud til, at mange af de i forvejen svagest stillede lande bliver hårdest ramt, bl.a. i kraft af at de ikke har de nødvendige midler til at tilpasse sig. Siden 1970'erne er det samlede areal i klassen "meget tørre områder" angivelig mere end fordoblet. Det forudses, at mange tørre områder, eksempelvis det sydlige Afrika og nordøstlige Brasilien, men også det vestlige USA, er særligt udsatte for klimaforandringerne bl.a. i kraft af aftagende vandressourcer. Områder, der er afhængige af smeltevand fra større bjergområder, dvs. i øjeblikket ca. 1/6 af verdens befolkning, kan også få problemer med vandforsyningen i de varme måneder, da gletsjere og lign. er hastigt aftagende (IPCC,



Figur 2.3: Øverst: Temperaturændringerne i Europa frem til år 2100 på henholdsvis årsbasis, vinter og sommer.
Nederst: Ændringer i regnmængder frem til år 2100 i procent på henholdsvis årsbasis, vinter og sommer.
(Illustrationer fra JHC, DMI, klimatilpasningsseminaret bilag 1.1)

2008). Imens bliver der vådere i de nordlige egne (breddegrader over 30°N) og nogle steder i tropperne. Europa følger disse mønstre meget godt: Ifølge IPCC's seneste rapport (IPCC, 2007) vil de sydlige lande opleve markante temperaturstigninger med længere tørkeperioder til følge, mindre regnmængder og længere perioder mellem ekstrem regn.

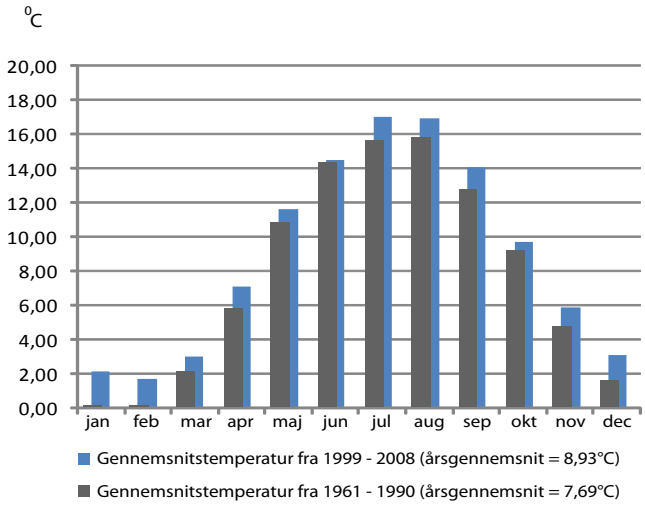
De centralt liggende lande vil have de samme klimaforhold, som Sydeuropa har på nuværende tidspunkt, med tilsvarende antal varme dage. De nordlige lande vil opleve mildere og fugtigere vintre med nedbørsstigninger på 20-43 % og temperaturer, der ligger 2-3°C højere end nu. De ekstreme regnhændelser vil forekomme hyppigere (ca. hvert 5. år i stedet for hvert 15. år) og blive kraftigere. Temperaturstigningerne vil forlænge vækstsæsonen med 1-2 måneder i gennemsnit.

Men Jørgen Nielsen, seniorforsker på SBI, påpeger, at varmere vintre ikke nødvendigvis er ensbetydende med mindre snefald. Der kan opstå en effekt ml. kolde fronter og lunere havvand, som resulterer i snefald trods temperaturstigningerne (bilag 1.1).

I takt med at temperaturen stiger i havene, stiger sommertemperaturen med 1-3°C, og risikoen for tørkeperioder øges til 22-55 dage i vækstsæsonen. Havene vil ifølge IPCC stige 15-75 cm og i ekstreme stormflodssituationer 45-105 cm. Men dette er muligvis et noget konservativt bud – forskningschef på DMI, Jens Hesselberg Christensen, vurderer, at en vandspejlsstigning på op mod 1m globalt set inden år 2100 er et mere realistisk skøn (bilag 1.1), hvilket også vil betyde endnu højere niveau i stormflodssituationer. Der vil desuden optræde flere ekstreme vindstorme med 4-10 % forøgelse i vindstyrken (www.dmi.dk).

Danmarks fremtidige klima

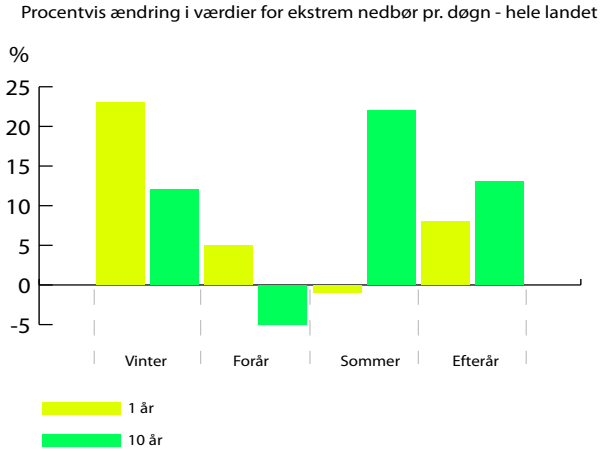
Ifølge DMI's beregninger, som tager udgangspunkt i IPCC's A2- og B2-scenarier, vil klimaet i Danmark være præget af en gennemsnitlig temperaturstigning på 0,7-4,6°C, som er forholdsvis jævnt fordelt over året, men mest markant i nattetimerne. Vi har ud fra DMI's data lavet en opgørelse over tendensen i løbet af de sidste 10 år, som antyder, at udviklingen så småt er begyndt (se figur 2.4).



Figur 2.4: Forskellen på gennemsnitstemperaturen de sidste 10 år i forhold til klimanormalerne målt fra 1961-1990.
(Eget diagram, bilag 3.4)

Det ses, at gennemsnitstemperaturerne for hver eneste måned ligger højere, end de gjorde fra 1961-90.

Nedbøren vil om vinteren i gennemsnit stige til 120-140 % og om sommeren tilsvarende falde til 85-90 % af eksisterende niveau. DMI bekræfter desuden ovennævnte tendenser til øget tørke-risiko i vækstsæsonen og hyppigere episoder med ekstrem regn især i efteråret. Intensiteten af den kraftigste dagsnedbør, som fortsat opleves i sommermånederne, vil stige med minimum 20 %. Spildevandskomiteen anbefaler, at man kalkulerer med en stigning på 30 % i planlægningen. I figur 2.5 ses den forudsete udvikling i de ekstreme regnhændelsers størrelser fordelt over året.

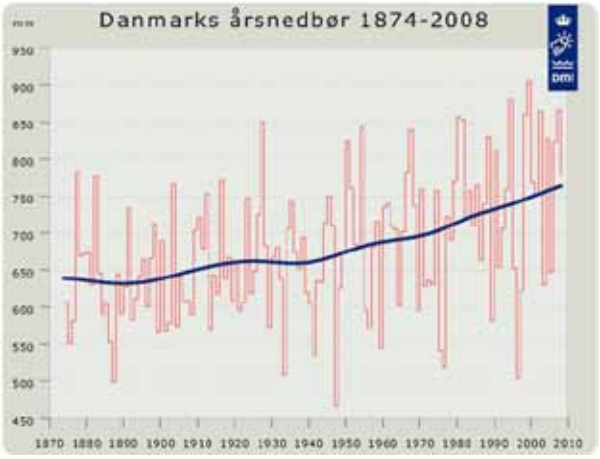


Figur 2.5: DMI: forventet procentvis udvikling i ekstreme regnhændelsers størrelser fordelt på årstiderne(JHC, DMI)

Også for nedbøren er udviklingen allerede i gang. Som det ses i figur 2.6, har årsnedbøren været jævnt stigende længe – mest markant efter 1940'erne og frem.

De tal, man kalkulerer med i dag, er DMI's normaler fra 1961-90. Ifølge dem fordeler regnen sig over året som på diagrammet i figur 2.7.

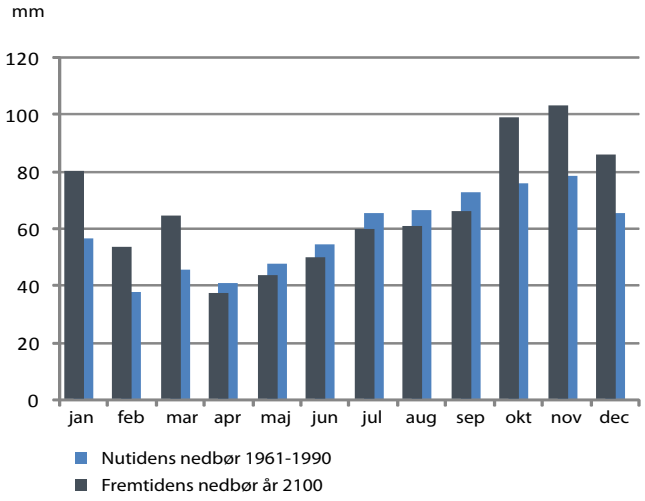
Hvis vi med en grov blokberegning adderer DMI´s fremtidsperspektiver, som imødeser en stigning i nedbøren, til 120-140 % af nuværende niveau om vinteren og et fald til 85-90 % om sommeren, kan vi forvente en mere ujævn fordeling som vist på figur 2.7.



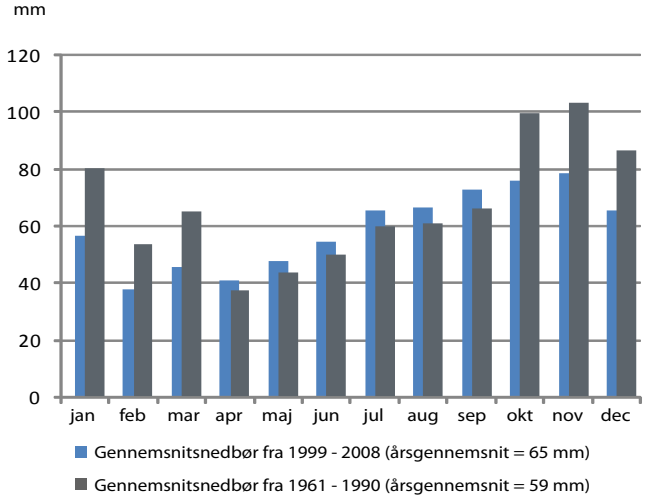
Figur 2.6: Forøgede regnmængder ifølge DMI's målinger fra 1870 og frem til 2010.

Vores opgørelse over nedbøren de sidste 10 år viser ligeledes, at næsten alle måneder ligger højere fra 1999-2008, end de tilsvarende gjorde i årene 1961-1990. April ligger på samme gennemsnitlige nedbør, mens september og november ligger lavere end tidligere (se figur 2.8).

Dette hænger jo ikke umiddelbart sammen med, at det skulle begynde at blive tørrere om sommeren og vådere især i efteråret, men den overordnede tendens er i hvert fald mere regn generelt. Statistisk set er en periode på 10 år heller ikke nok til, at man kan konkludere noget mere præcist end det.



Figur 2.7: I dag har vi en nogenlunde jævn fordeling af regnmængderne over hele året, men i fremtiden vil der komme større udsving: hyppigere og mere langvarig nedbør om vinteren og mindre regn i sommerhalvåret. (Eget diagram ud fra DMIs tal, bilag 3.4)



En anden statistisk undersøgelse af de ekstreme regnhændelser for hhv. Jylland, Fyn og Sjælland gennem de sidste 20 år viser desuden en tydelig tendens til, at især Sjælland oplever flere af de kortvarige, intense regnskyl (Cowi, 2006). se figur 2.9.

Hvis denne tendens fortsætter, kan de dimensionerende regnmængder blive endnu større på Sjælland, og således også i København, end i resten af landet.

Sammenlagt vil ændringerne i temperaturer og nedbør betyde en fordampning øget med op til 6 % og en aftagende jordfugtighed hovedsageligt i forår og sommer.

Også tendensen til øget vind bekræftes – her med særlig vægt på vestenvind samt en forudset østgående bevægelse i de nordatlantiske stormbaner, hvilket tilsammen resulterer i en mindre forøgelse i den danske stormaktivitet. Dette har samtidig indflydelse på ovennævnte stigning i vandstanden, som således bliver størst ved Vestkysten.

Figur 2.8: Diagrammet viser de sidste 10 års ændringer i nedbøren i forhold til perioden 1961 - 1990. Gennemsnitsstigningen er 6 mm. (Eget diagram ud fra DMIs tal, bilag 3.4)

	10 min	6 h	Rain depth
Nonparametric test based on rank			
Negative trend	J, F, Z	J, F	J, Z
Positive trend	Z, Z, Z, Z, Z	J, Z	J, J, Z, Z
Size of extreme events			
Negative trend	J, F, Z	J, F, Z	–
Positive trend	J, Z, Z, Z, Z, Z	J, Z	J, J, Z
Time between events			
Negative trend	–	Z, Z, Z	F, Z, Z
Positive trend	Z, Z, Z, Z, Z	J	Z

Figur 2.9: Tilsyneladende er der en positiv(tiltagende) trend omkring sjælland(Z) i forhold til Jylland(J) nog Fyn(F). Illustration: (Cowi, 2006)

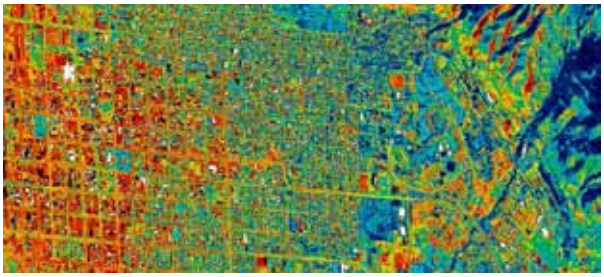
Bymæssige konsekvenser

Som det ses af de forskellige klimascenarier, spiller den globale samfundsudvikling en vigtig rolle for fremtidens klima. Men klimaforandringernes udbredelse kommer ligeledes til at have indflydelse på samfundets udvikling – politik, teknologi og økonomi, men antagelig også tryghed, livskvalitet, forbrug og sociale forhold vil blive præget på forskellige måder. Jo flere negative effekter samfundet oplever, des stærkere vil presset på politikkerne blive for at modvirke yderligere miljømæssige konsekvenser, des mere udfordret bliver landets økonomi, og des større vil investeringerne og motivationen for at udvikle videnskaben inden for både forebyggelse og tilpasning blive. Eventuelle miljøkatastrofer vil koste dyrt både for samfundet og for de mennesker, der lider tab deraf. Den høje standard af samfundsmæssige services, som vi er så vant til, kan til tider blive kompromitteret. Nogle af konsekvenserne vil især gøre sig gældende i byerne, men for dem alle gælder, at det er i byerne, hver enkelt hændelse vil ramme flest.

Der vil komme positive så vel som negative effekter. I Danmark er vi nogenlunde heldige, at vi ligger tæt på "nul-linjen" mellem de tørrere og de vådere tendenser, hvilket vil sige, at det ikke går ekstremt meget i en bestemt retning, men at vi alligevel får kraftigere udsving til begge sider i løbet af året (se figur 2.3). Mange danskere vil sikkert med glæde hilse de varmere, tørrere somre, det generelt lunere vejr og de nye muligheder for dyrkning af bl.a. vin velkommen.

Varme-ø-effekt

Et af kendetegnene ved klimaet i urbane områder er den såkaldte varme-ø-effekt, som medfører højere temperaturer i bebyggede egne end i deres rurale omgivelser. Overordnet skyldes denne temperaturforskel mængden af termisk masse (i bygningerne og det befæstede areal), som er proportional med tætheden og størrelsen på byen. Volumen, størrelse og mørke overflader resulterer i varmeforøgelse,



Figur 2.10: Byen til venstre i forhold til sine rurale omgiveler til højre. Illustration: case.rpi.edu/home.html

da de absorberer og lagrer solens stråling om dagen og udleder den om natten. Flere andre faktorer underbygger denne temperaturstigning, bl.a. intensiteten af menneskelig aktivitet, trafik, forurening og bygningernes påvirkning af vindforholdene. Dette betyder, at byen forbliver varm døgnet rundt i sommerperioden, og er med til, at der globalt set bliver brugt ekstra meget energi på nedkøling i bygninger. Gennemsnitligt er temperaturforskellen mellem by og land på 0,5-1^{0}C over året, men den kan i de varme sommerperioder afvige med 3 -10^{0}C (Plan09, 2008). Med den globale opvarmning vil varme-ø-effekten blive forstærket yderligere, så temperaturerne i større byer kan stige til ubehagelige højder, hvilket i værste fald kan medføre en fornyet urban donut-effekt, hvor bycentre drænes gennem decentralisering, fordi folk flytter til yderområder med et behageligere mikro-klima (ASCCUE , 2005). Hvis dette blev tilfældet, ville det oven i købet betyde øget pendling til og fra byen og dermed modvirke det forebyggende arbejde, der udføres i forhold til klimaforandringernes udvikling.

Byrum

Der er fremsat teorier om, at Københavns klima enten kommer til at ligne det, vi kender fra Paris eller fra Athen (bilag 1.1). Måske bliver begge udfald realiseret i forskellige faser af klimaforandringernes fremtog. Men ligegyldigt hvad vil et varmere klima nok påvirke vores livsstil i en mere sydlandsk, udendørs retning. I forvejen myldrer københavnerne ud på fortovscafeer, i parker og på

strande, så snart solen kigger frem (Gehl, 1971), så hvis dette kommer til at ske hyppigere, vil en øget brug af byens uderum være en logisk følge deraf. Hvem ved, måske bliver vi endda mere udadvendte? Men dette vil også medføre øget behov for og slitage af offentlige områder, herunder især parker og andre grønne områder, der vil kræve tilsvarende øget pleje. Man ved desuden endnu ikke, hvad de ændrede klimaforhold vil betyde for vores flora og fauna, men muligvis skal der i perioder ydes en ekstra indsats for at opretholde tilstrækkelig fugt, og på lang sigt kan det måske blive nødvendigt at indføre nye arter til formålet.

Med tanke på varme-ø-effekten kan der ydermere opstå overophedning i byrum, navnlig på mørke, befæstede arealer mellem tunge facader og langt fra vand og natur. Varme og dårlig luftcirkulation øger samtidig risikoen for høj koncentration af luftforurening – gasarten ozon udgør en særlig risiko i den sammenhæng. I eksempelvis København er det allerede nu svært at holde sig inden for EU's øvre grænse på varme sommerdage, så det kan blive et reelt problem i fremtiden (www.ing.dk 12. marts 09). Omvendt kan den stigende vindstyrke også have indflydelse på brugen af byens rum, og det kan blive nødvendigt med implementering af læ-givende elementer i opholdszoner, men her er det vigtigt at være opmærksom på ikke samtidigt at forstærke ovennævnte tendenser til overophedning og forurening.

Til sidst kan den intensiverede regn virke imod nogle af de sociale fordele ved det lunere klima: oversvømmelse af udvalgte pladser og/eller grønne områder kan i ekstreme tilfælde være eneste reelle mulighed for at lede vandet hurtigt nok væk fra

Figur 2.11: Med varme-ø-effekten kan vi komme til at opleve overophedning i byrummene. Foto: Flickr.com

bygninger og veje (Gertrud Jørgensen, bilag 1.3). Dette vil betyde, at disse byrum sættes midlertidigt ud af funktion. I byer med udendørs badefaciliteter som strande, havne og floder/åer kan det ligeledes føre til periodevis lukning af disse tilbud pga. overløbsvand fra kloakkerne – som ikke længere er regnvand alene, men en blanding af regnvand og spildevand, hvilket medfører risiko for kolibakterier og smitte for de badende. I København lukkes havnebadet indtil videre et par gange om året i gennemsnit, men på lang sigt kan det blive nødvendigt at lade det ske langt oftere, hvis ikke der findes bedre alternativer (Niels Bendt Johansen, bilag 1.5). Desuden vil man gerne åbne en ny by-strand ved Kalveboderne, som indtil videre forhindres af det uacceptable antal kloakoverløb til havnen via Harrestrup å (2BG-seminar, bilag 1.8).

Infrastruktur

Mere sol og vind vil naturligt forbedre vilkårene for den danske produktion af grøn energi, som i forvejen hovedsagelig fokuserer på vindmøller samt solfangere og -celler. Også bølgeenergi, som i øjeblikket er under udvikling, vil nyde fordele heraf. Dette danner en oplagt synergieffekt mellem tilpasnings- og forebyggelsestiltag i forhold til klimaet. Dog er det begrænset, hvor voldsom og turbulent vind, disse teknologier kan modstå, så stærk storm betyder ikke automatisk mere vindenergi.

Den øgede regn kan til gengæld gå hen at blive et alvorligt problem – ikke bare i Danmark, men i mange europæiske storbyer, hvor kloaksystemerne er fra forrige århundrede og allerede godt slidte for ikke at tale om temmelig underdimensionerede over for de øgede regnkoncentrationer, der forudses at forekomme stadigt oftere og kraftigere frem til år 2100 (IPCC, 2008).

Spildevandskomiteens bud er, at de dimensionerende regnmængder vil blive omkring 30 % kraftigere, hvilket uden aktiv tilpasning kan blive ensbetydende med mange oversvømmelser af huse og gader i byerne. Det er hovedsagelig 10-årshændelserne, der forventes at stige, mens den største årlige regnhændelse forbliver ca. det samme i gennemsnit.

Figur 2.12: Billede fra Nordengland, Cokermouth, hvor de fik den værste oversvømmelse i 800 år. Foto: Brian Stewart - Politikken, d. 22. nov. 2009.

Imens vil også havene og grundvandsspejlet stige (Jan Jeppesen, bilag 1.8) og stormstyrkerne øges, hvilket tilsammen kan risikere at give ekstreme situationer, som bliver svære at håndtere, også selvom der tilpasses efter de ekstra 30 % regnintensitet. I den forbindelse er de kystnære byer naturligvis mest udsat og i Danmark allermest byerne langs den jyske vestkyst, hvor vinden er stærkest og bølgerne slår højest.

Vi har allerede set nogle eksempler på oversvømmelser i danske byer, hvoraf Odense, Hillerød og Greve indtil nu har været hårdest ramt med oversvømmelser i flere omgange. I København kan det hævede vandspejl give problemer i forhold til håndtering af de øgede regnmængder, da vandet i havnen muligvis kommer til at stå højere end overløbsrørenes mundinger, hvorved kloakvandet i værste fald kan komme til at stige tilbage op af kloakdæksler og lign. I øjeblikket er der kun 30 cm fra vandoverfladen til disse rør, så med den forudsete vandspejlsstigning på ca. 1 m er det endda ret sandsynligt (Niels Bendt Johansen, bilag 1.5). Et sådant tilfælde kan igen indvirke på trafikkens mulighed for at komme frem i gader og stræder og kan ydermere betyde øgede kommunale udgifter til skadesudbedrelse af belægninger og lign.

Ifølge "Strategi for tilpasning til klimaændringer i Danmark" kan underdimensionerede afløbssystemer i og langs veje bevirke, at regnvand samles i vejenes bærende lag, hvilket nedsætter bæreevnen samt forkorter den effektive levetid. Også for broer og tunneller er der risiko for nedsat bæreevne af fundamenter, støttemure og spunsvægge i forbindelse med forhøjet grundvandsstand. Dette er særligt problematisk for konstruktioner funderet på sand.

Samtidig udgør det en sikkerhedsrisiko for de færdende. Kombinationen af højere grundvandsstand og ekstrem nedbør kan ydermere øge risikoen for skred i afgravnings- og baneskråninger (Energistyrelsen, 2008).

Bygninger

Det varmere klima vil betyde nedsat opvarmningsbehov i bygninger, men øget nedkølingsbehov. Allerede i dag ser vi, at ellers forholdsvis nye eksempler på "energi-byggeri" faktisk baserer sig på forældede vejrdata og derfor ikke er designet til den 15 % stigning, der har været i antallet af soltimer, siden DRY-tallene (Danish Reference Year) blev fastsat på baggrund af målinger fra perioden 1979-85. Boliger med store glaspartier mod syd kan eksempelvis opleve temperaturer i de pågældende rum på op til 50°C, hvilket betyder opholdsrum, som på solskinsdage ikke er egnet til ophold.

Frem til 2085 ser det ud til, at opvarmningsbehovet i boliger vil falde med 30 % og nedkølingsbehovet stige med 40 %, mens opvarmningsbehovet tilsvarende i erhverv vil falde med 15 % og nedkølingsbehovet vil stige med 40 %. Fremtidsorienteret klimatilpasning af bygninger er således meget vigtig for at undgå voldsomme energistigninger til mekanisk køling (Rob Marsh, bilag 1.1).

Ydermere vil den øgede UV-stråling betyde hurtigere nedbrydning og dermed kortere levetid af visse bygningsmaterialer, herunder især tagbeklædning. Eksempelvis tagpap mørnes af solen og gøres

Figur 2.13: Faldende opvarmningsbehov vil ændre mængden af isolering i fremtidens byggeri. Foto: kim-bengtsson.dk

med tiden porøst, så regnvandet ikke længere holdes ude. Den øgede regn, som især koncentrerer sig i vinterhalvåret, hvor fordampningen er meget nedsat, vil øge risikoen for fugt i vores bygninger, hovedsagelig i kældre. Hvis ikke der forebygges grundigt, vil der desuden meget sandsynligt forekomme utallige oversvømmelser af kældre, jævnfør ovenstående afsnit om infrastruktur. Denne konsekvens har allerede vist sig i flere af landets byområder, og i større omfang de senere år end tidligere fremskrevet.

Også det hævede vandspejl kan få konsekvenser: I nybyggeri er den dimensionerende kote allerede i løbet af de sidste 10-20 år steget fra 1,4 til 1,8 for normale tilfælde og fra 1,6 til 2,2 for særlige tilfælde (Lars Bak Jepsen, bilag 1.1).

En anden konsekvens af klimaforandringerne for vores bygninger er den øgede vind, som sætter højere krav til bygningers stabilitet og forankring. Dette vil ifølge Jørgen Nielsen, seniorforsker på SBI, først og fremmest blive et reelt problem for typiske 50'er- og 60'er-huse, hvor tagene er flade og lette, og konstruktionerne mindre robuste (bilag 1.1). De mest sårbare af slagsen så allerede konsekvenserne tilbage i 1999 under orkanen d.3. december eller i de følgende storme i tiden kort derefter. Men sandsynligvis er der mere i vente, hvis de ekstreme vindstyrker generelt øges, som scenarierne forudser.

Sundhed

Som antydet et par gange ovenfor kan klimaforandringerne også have konsekvenser for folkesundheden, igen fortrinsvis i byerne. Under hedebølgen i Europa i 2003 blev det tydeligt, at de, der i forvejen er svagest, rammes hårdest af denne type ekstremer. Dødeligheden blandt syge og ældre steg markant i den periode, navnlig i Frankrig, og det skønnes, at i alt knap 20.000 mennesker mistede livet i den forbindelse, mens også naturen led nød – i eksempelvis Portugal brændte 11 % af skovarealet

Figur. 2.14: Smog er en bred betegnelse for menneskeskabt luftforurening i og omkring byer, særligt i forbindelse med afbrænding af kul og meget trafik. Foto Los Angeles, dailynews.com

ned (Politiken.dk udland 26 juni 2007).

Den øgede forurening, herunder det forhøjede antal dage med alarmerende koncentration af ozon i byen, kan forårsage luftvejsproblemer, flere astmaanfald, indlæggelser og hjertetilfælde. Den nyeste forskning viser, at selv mindre mængder ozon i længere perioder kan være dødbringende (12.03.09 – ing.dk "ozon er en større dræber end forskerne regnede med). Også i denne sammenhæng rammes de svageste først: folk, der allerede lider af luftvejssygdomme får forværret tilstanden og dør tidligere – i meget forurenede byer kan antallet af denne type dødsfald stige med op til 50 %, mens andre byer oplever en stigning på 25 %. Dertil kommer, at Danmark i forvejen ofte har svært ved at overholde grænseværdierne.

Derudover kan ovennævnte problemer med underdimensionerede kloakker medføre blandet spildevand og regnvand i gaderne, hvilket vil øge risikoen for smitte og epidemier. Skræmmescenariet er middelalderlignende tilstande, hvor gaderne flyder med afføring, men man skal ikke mere end 10 år tilbage og over sundet for at finde et mere nærværende eksempel: Malmøs forstad Augustenborg oplevede dengang spildevand i kældre og lign. et par gange årligt, jævnfør bilag 1.7.

Positivt kan dog også nævnes, at en stigning i udelivet grundet mildere temperaturer i de koldere måneder kan betyde mere motion, hvis ellers tilbuddene i byen tilsvarende opretholdes og styrkes.

"Climate change may amplify existing vulnerabilities, as evidenced by the European heat wave of 2003, which hit the elderly most severely." - ASCCUE, 2006

DELKONKLUSION 1

Klimaforandringer og Konsekvenser

Hvor slemt ser det ud?

Ud fra afsnittene om klimaforandringer og bymæssige konsekvenser kan man konkludere, at der endnu hersker tvivl om, præcis hvor alvorlige klimaforandringerne bliver, og hvad de bringer af følgevirkninger: kompleksiteten er ganske enkelt for høj. Men der er stor enighed om, at forandringerne kommer, og at vores byer ikke er bygget til dem, hvorfor tilpasningskapaciteten bør skærpes, da der frem til nu ikke har været samme fokus på dette som på forebyggelse.

Det vurderes, at det største og mest aktuelle problem i Danmark bliver oversvømmelser som effekt af intensiverede regnbyger, hævet vandspejl og til tider storm. De ekstreme regnhændelser vil fortsat være størst i sommermånederne, men vil forekomme hyppigst i efteråret, hvor det samtidig blæser mest. Derudover vil temperaturerne øges, hvilket bevirker en stigende varme-ø-effekt, som med tiden kan give problemer for indbyggernes velbefindende, og som især rammer de i forvejen svageste. Dette kan samtidigt få negative følgevirkninger for byens popularitet og bl.a. medføre nedskrivning og risiko for fornyet tendens til donut-effekt, hvilket vil modvirke forsøget på at forebygge klimaforandringerne. Til sidst kan der opstå problemer med øgede vindstyrker for visse bygninger og byrum.

Anbefalingen på baggrund af dette er først og fremmest, at kapaciteten til vandafledning i byerne øges, således at intensiverede regnmængder kan håndteres på en hensigtsmæssig måde. Derudover bør absorptionen af solvarme i byen samt sårbarheden over for både solens stråler og den øgede vind nedbringes – af hensyn til byen såvel som dens brugere.

"Adaptation has been defined as adjustment in ecological, social or economic systems in response to actual or expected climatic stimuli and their effects or impacts." (ASCCUE - Burton et al., 2001)

Indledende undersøgelser

De konsekvenser af klimaforandringerne, der er beskrevet i ovenstående afsnit, afslører et behov for aktiv tilpasning af vores byer til de fremtidige vilkår med henblik på at nedsætte risikoen for, at byerne og deres borgere lider overlast. Men da problemet er komplekst, bliver løsningen det også. I forbindelse med en større undersøgelse om klimatilpasning i England (ASCCUE, 2006) har man derfor udviklet tilgangen "extreme joint probability statistics", som er en metode til at anskueliggøre ikke bare ét faremoment, men flere samtidigt, der evt. kan forstærke hinandens effekt. Ved at sammenlægge forskellige kort med data om hhv. diverse faremomenter, urbane systemer og eksisterende sårbarheder i byen kan eksempelvis den sammenlagte oversvømmelsesrisiko fra floder, der går over deres breder, hævet vandspejl og ekstreme regnskyl tydeliggøres. Dér, hvor faremomenterne lapper ind over hinanden, og hvor byen samtidig på forhånd har nogle svage punkter, er der risiko for mere ekstreme konsekvenser, og her er det dermed meningsfyldt at tilpasse først. Dette kan suppleres med et kort over tilpasningsmuligheder, således at man også får det samlede billede af de eksisterende potentialer. Det danske forskningsprojekt 2BG (Black, Blue and Green – integrated infrastructure planning as key to sustainable urban water systems) har benyttet en lignende tilgang ved sit arbejde med casen Harrestrup Å, som på nuværende tidspunkt er det mest udsatte sted for ekstrem regn i København (2BG-rapport , 2009). I figur 2.15 ses et udkast af deres analyse.

På baggrund af denne mapping får man et bedre udgangspunkt for udarbejdelse af konkrete tilpasningsstrategier.

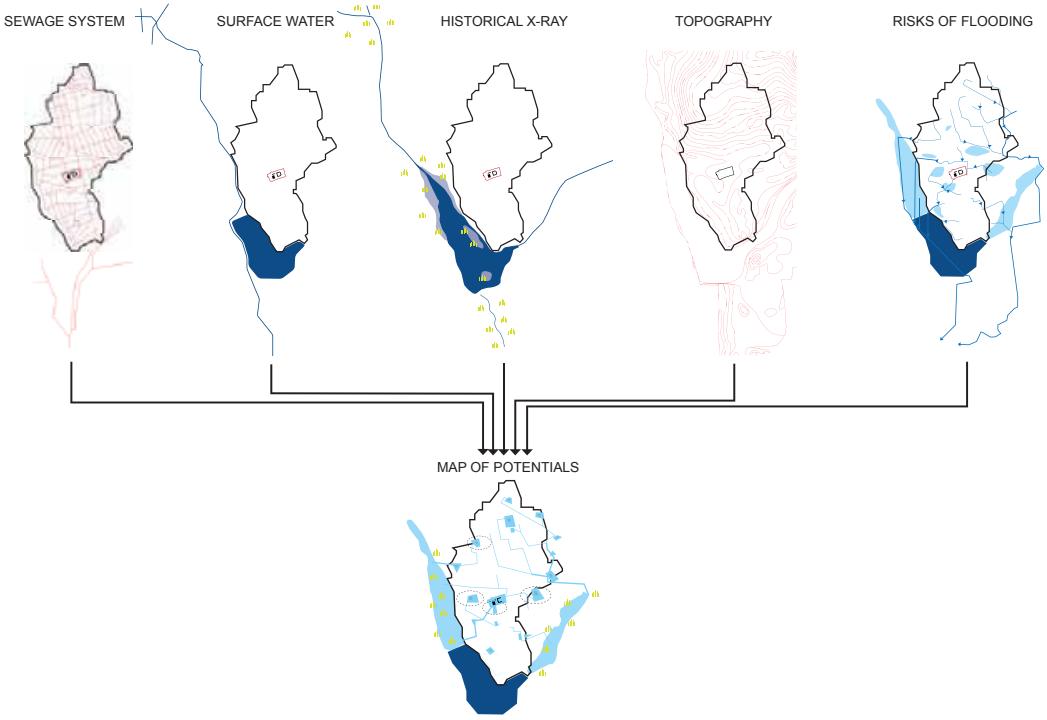
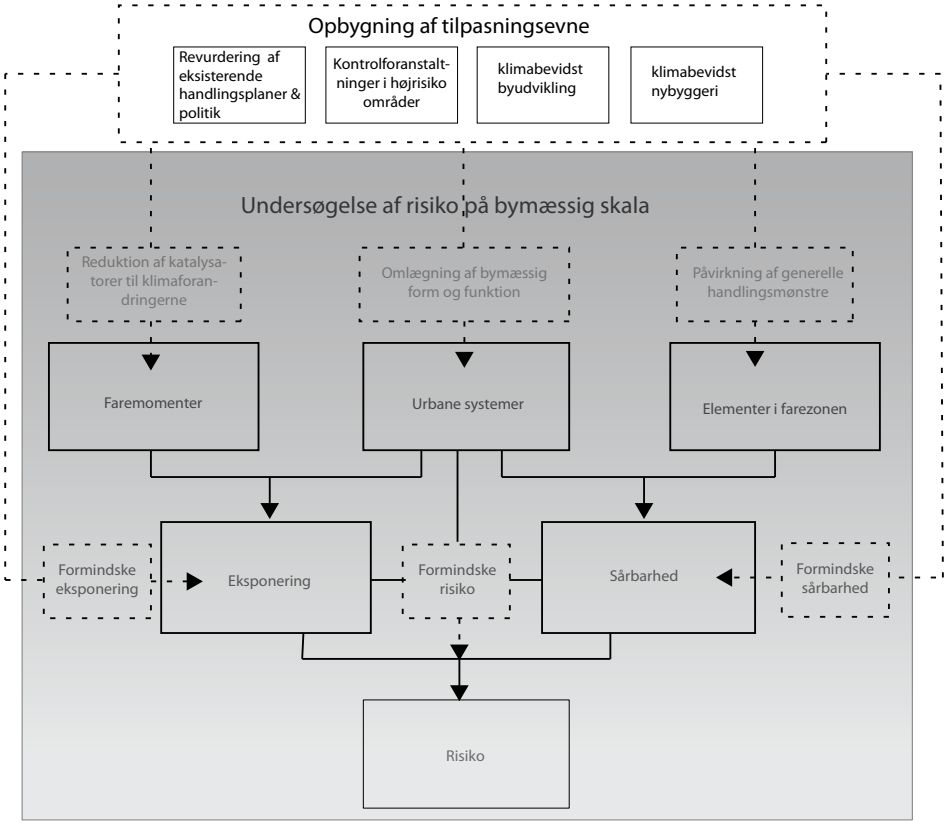


Fig 2.15 Mapping fra 2BG i Harrastrup Å. Udarbejdet til at få et bedre udgangspunkt for udarbejdelse af konkrete tilpasningsstrategier. Illustration: 2BG-rapport, 2009



Figur 2.16: Oversigt over mulighederne for strategisk risikostyring i forhold til klimaforandringernes indvirken på de urbane systemer. Illustration: ASCCUE, 2006

Strategi-typer

Der er flere steder i det urbane system, man kan gribe ind med risikoforebyggende tiltag:

Figur 2.16 viser sammenhængen mellem hhv. byen, de forudsete faremomenter, de bymæssige elementer, der befinder sig i risikogruppen, samt mulighederne for tilpasning: Dér, hvor faremomenterne møder de urbane systemer, er byen eksponeret for faren. De steder i byen, hvor elementerne fra risiko-gruppen befinder sig, er byen sårbar. Når sårbarheden befinder sig i de områder, der er eksponeret for faremomenterne, opstår der risici. Den samlede risiko består således af de elementer fra risikogruppen, som befinder sig i de dele af byen, der er eksponerede i forhold til faremomenterne.

De stiplede kasser angiver de forskellige muligheder for indgriben i forhold til forebyggelse af de klimarelaterede risici i byerne. Som figur 2.16 angiver, er forholdet mellem byen og klimaforandringerne meget sammensat, og klimatilpasning kan dermed gribes an på flere forskellige niveauer:

- Med tiltag, der nedsætter enten eksponeringen, sårbarheden eller mængden af katalysatorer (f. eks. drivhusgasser) i forhold til klimaforandringerne

- Med bevidsthed om og kontrol af, hvor der fra nu af ikke bør bygges, hvor der er mest behov for byfornyelse, samt hvordan det bør eller netop ikke bør udføres

- Med modificering af selve byens form og virkemåde

Hvad, der bedst kan betale sig, kommer an på, hvor langt frem man skuer og hvilke specifikke faremomenter, der betragtes. Men tilpasses der ikke, kommer det til at koste alligevel:

"There will obviously be cost implications to building resilience, or 'climate headroom', into the urban system, however authoritative studies such as the Stern Review are beginning to compile a substantial evidence-base that the costs of doing nothing will be much greater in the longer run." - ASCCUE, 2006

Vi har tidligere konstateret, at tiltag, der nedsætter mængden af katalysatorer, dvs. forebyggelses-initiativer, ikke er nok i sig selv, men at de dog sørger for, at klimaforandringerne ikke eskalerer uhæmmet. Sårbarheden kunne eksempelvis nedsættes ved at forstærke tagkonstruktionerne på den type huse, der er i risikogruppen i forhold til øget vind, mens eksponeringen over for eksempelvis storm og hævet vandspejl kunne nedsættes i kystområder ved at opføre diger.

Bevidstheden om klimaforandringernes bymæssige konsekvenser er desværre forholdsvis ny, og derfor er der i eksempelvis København mange nyopførte byområder, som ikke er indrettet efter de fremtidige forhold. Især i havneområderne er nye bygninger skudt frem gennem en årrække, hvilket betyder, at de oven i købet ligger forholdsvis eksponeret i forhold til vand og vind (Dorte Rømø, bilag 1.4). De må således tilpasses senere hen, hvilket er både dyrere og mindre effektivt, end hvis man havde taget højde for faremomenterne på forhånd. Denne type uhensigtsmæssig udvikling bør så vidt muligt undgås fremover.

Et eksempel på modificering af form og virkemåde er Københavns fjernvarmesystem, som blev indført i stedet for private oliefyr i 1970'erne for at tilpasse byen til de nye vilkår, oliekrisen dengang bevirkede. Denne investering lever byen stadig højt på i dag, og nu hvor klimaet i den grad er kommet på dagsordenen, må den siges for alvor at komme til sin ret.

Strateginiveau

Af de nævnte eksempler fremgår det, at visse problemer løses bedst på samfundsniveau, mens andre med fordel kan løses som enkeltsager. Flere former for klimatilpasning er dermed nødvendig. De bymæssige konsekvenser kan inddeles i to hovedgrupper:

1) Klimaeffekter på det byggede miljø, dvs. som udgangspunkt selve byen.

2) Klimaeffekter på den termiske komfort, dvs. som udgangspunkt byens brugere.

Dog vil disse to grupper naturligvis være i vekselvirkning med hinanden – effekterne på det byggede miljø kan uden tilpasning hurtigt betyde store konsekvenser for byens brugere, mens effekter på den termiske komfort på længere sigt også kan betyde ændringer i det byggede miljø. Der vil til en vis grad kunne hentes erfaringer fra andre lande med et klima der minder om det, vi vil få i fremtiden.

Det byggede miljø

Størstedelen af de klimarelaterede problemer for det byggede miljø i Danmark kan imødegås ved at gøre byen mindre eksponeret for oversvømmelser. Derudover bør sårbarheden af diverse bygningsværker minimeres, så det går knap så galt, hvis de forskellige faremomenter skulle forekomme samtidig og munde ud i ekstreme vejrsituationer. Klimatilpasning i forhold til det byggede miljø vil således fokusere på hhv. vandhåndtering og bygningernes modstandsdygtighed:

Vandhåndtering

Det er fra regeringens side vedtaget, at der inden 2015 skal foreligge færdige risiko-håndteringsplaner med tilhørende kort over latente oversvømmelser. I den forbindelse er der allerede udarbejdet en digital højdemodel til rådighed for kommunerne. Men desværre hænger det ikke så enkelt sammen, at de lavest liggende steder bliver først oversvømmet. Bl.a. har kvaliteten af undergrunden samt andelen af befæstede overflader også stor betydning. Eksempelvis ligger Greve, som har haft store problemer med regnvand, ikke specielt lavt sammenlignet med andre byer. (Se evt. bilag 1.1)

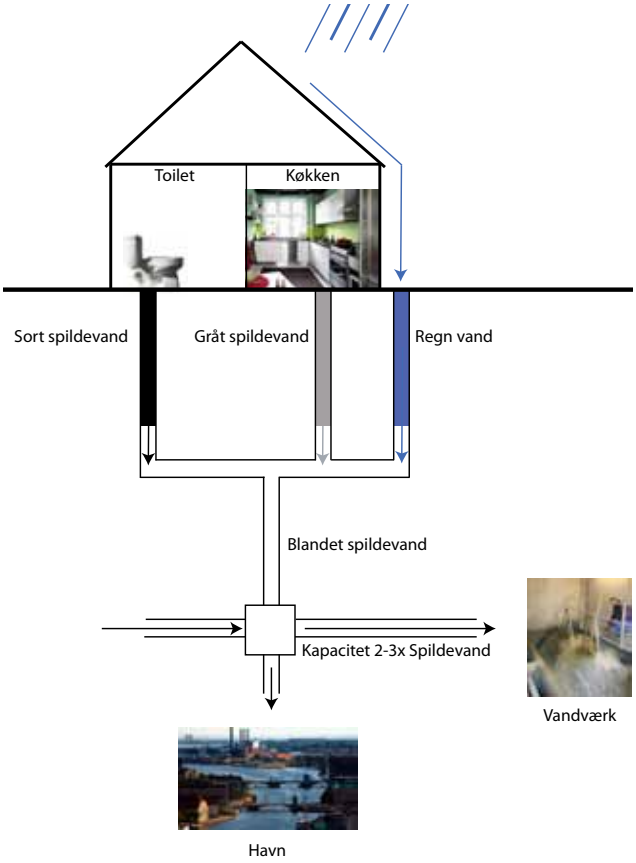
Konventionel tilgang

Den konventionelle måde at tilpasse byen til øget regn i vores del af verden er at udvide det eksisterende kloaknet, som generelt kombinerer spildevand og regnvand i et samlet rørsystem. Udover selve rørene bygges der store underjordiske vandreser-

voirer for at øge kapaciteten. Under København ligger der nu eksempelvis 35 store bassiner, som tilsammen rummer ca. 200.000 m^3 spildevand og regnvand, hvilket isoleret set svarer til halvandet døgns spildevand eller 6 mm regn (www.ke.dk). Dette er en udmærket løsning, som er diskret og effektiv, så længe regnens intensitet passer til rørenes dimensioner. For borgerne i byen er det meget bekvemt: Regnen ledes til kloakken via befæstede overflader næsten lige så hurtigt, som den kan nå at lande på jorden; man skal ikke selv tage stilling til, hvad der sker med den; og man slipper for at få våde tæer.

Problematisering

Men det er også en omfattende løsning. Man er nødt til at tænke meget langt frem i tiden, da det er et temmelig ufleksibelt system, når først det er udbygget. Gravearbejde er omkostningstungt, og der skal suppleres med rigtig store volumener, hvis alt vandet også i fremtiden skal kunne afledes den vej. Allerede nu er det største rør i København stort nok til, at to lastbiler kan køre ved siden af hinanden dernede. Byen vil således blive omdannet til en stor byggeplads: det vil bl.a. kræve, at vi hvert år graver 10 km, vej op (Niels Bendt Johansen, bilag 1.5). Ydermere er der meget vedligehold forbundet med det. Betonrør holder længst, men giver et dårligere flow, mens plastikrør er effektive, men dyre og med kortere levetid.



Figur 2.17: Gengivelse af Niels Bendts illustration af det konventionelle afløbssystem. Egen illustration

Figur 2.18: Foto fra Michael Rasmussens oplæg ved tilpasningsseminaret i Ballerup.

En del af udbygningen vil dog kunne ske ad hoc i forbindelse med den løbende renovering. Ifølge Strategi for tilpasning til klimaændringer i Danmark er mulighederne for ad hoc tilpasning af kloakkerne gode set over en længere tidshorisont: "Tilpasning til kraftigere regnskyl udgør nemlig en marginal omkostning, hvis det sker i forbindelse med kloakrenovering." (Energistyrelsen, 2008). Men dette er i strid med konklusionen hos Københavns E, som skal stå for disse udbygninger i hovedstadsområdet. Ud fra Spildevandskomitteens prognose på ca. 30 % mere regnvand i 2030 forudser Niels Bendt Johansen, udviklingsleder for spildevand og regnvand hos Københavns E, at den konventionelle løsning på problemet får en omkostningsværdi af 15 milliarder kr. over de næste 100 år, som borgerne i København skal betale (se evt. bilag 1.5). Dette kan vel næppe defineres som en marginal omkostning. I hvert fald ikke, hvis man ser på, hvad der ellers kan opnås for dette beløb.

Det er også værd at overveje, at hvis der trods udbygning skulle opstå oversvømmelsessituationer pga. ekstreme regnbyger, efter at vandstanden er steget op over overløbsrørene, vil det kombinerede afløbssystem fortsat ikke bare betyde regn-

vand, men også spildevand i gader og kældre. Dette ville evt. kunne løses med et pumpesystem ved rørenes munding, men umiddelbart giver det mere mening helt at adskille regnen fra spildevandet, så den risiko slet ikke er aktuel.

Mange af vores kilder påpeger, at det under alle omstændigheder er en fejl at blande det næsten rene regnvand med det beskidte spildevand, når nu vand er så vigtig en ressource og derfor burde udnyttes langt bedre. Grundvandet under selve København er ikke drikkeegnet, så hovedstaden dræner naturen mange steder på Sjælland for vandløb og grundvand. Det er et potentielt problem, da byens rettigheder til dette vand udløber i løbet af 2010, og kontrakten dermed skal genforhandles, hvorved vi ikke kan vide os helt sikre på kriterierne for en kommende aftale (Niels Bendt Johansen, bilag 1.5). Så hvorfor skal der bruges postevand af fineste gennemtjekkede drikkekvalitet til at skylle afføring ud af toilettet? Eller til at vande havens planter, der ellers trives fint med regnvand og endda er med til at filtrere det? Med temperaturstigningerne kan et generelt øget vandforbrug gøre disse spørgsmål særligt centrale.

Mulige alternativer

Derfor kigger Københavns E også efter mulige alternativer til det eksisterende kloaksystem. For at sikre en vis bæredygtighed i udviklingen arbejdes der med både fleksibilitet og genanvendelse i de nye tiltag, som sigter ca. 100 år frem i tiden, men målretter sig mere konkret mod år 2030. klimascenarierne er for usikre til, at vi allerede nu kan dimensionere for en fjernere fremtid, men samtidig er det af yderste vigtighed, at vi er bevidste om, at udviklingen ikke stopper dér, således at mulighederne for videre udbygning holdes åbne.

Der forskes bl.a. i storm and wastewater informatics (SWI), som er en radarbaseret teknologi, der forholdsvis præcist kan forudsige kommende regnmængder løbende, inden de forekommer, samt i lokal afledning af regnvand (LAR), der betyder, at regnen nedsives, opbevares og/eller udnyttes i nærområderne og så vidt muligt gøres fri af det centraliserede kloaksystem. I den forbindelse er der som et første skridt på vejen indført incitamenter ved etablering af regnvandsanlæg til udnyttelse ved toiletskyl og tøjvask samt til faskiner (nedsivningsanlæg). "Hvis vi virkelig lægger os i selen, vil vi nok lige kunne nå de 30 % lokal nedsivning, som kan opveje det øgede behov, der følger klimaforandringerne", vurderer Niels Bent Johansen (bilag 1.5).

Der gives 40 % af standard-tilslutningsbidraget retur ved afkobling af regnvand fra kloaknettet, hvilket er et engangsbeløb på godt 20.000 kr./husstand. Et hurtigt hypotetisk regnestykke viser, at det med

Figur 2.19: Eksempel på regndam i Augustenborg. Eget foto fra Augustenborg, Sverige

Figur 2.20: Upton er en ny bydel i Northampton der er anlagt efter en landskabelig model baseret på lokal regnvandshåndtering og et urbant dræningssystem kaldet SUDS, der udover rekreative værdier er et værn mod de store oversvømmelser som området oplevede i 1998. Ved hjælp af integreret regnvandsopsamling i boligblokke og bygninger bliver regnvandet brugt i husholdningerne.
Foto: sustainablecities.dk

de ca. 250.000 husstande i kommunen ville blive højest 5 mia. kr. i dét noget urealistiske tilfælde, at alle husstande frakoblede sig. Hvis denne tilgang helt kunne erstatte ombygningen af kloaknettet, ville det således spare byens borgere for omkring 10 milliarder kr. og ikke mindst de omtalte gener i forbindelse med det omfattende vejarbejde.

Problematisering

Dog er det lettere sagt end gjort: Der skal selvfølgelig være et andet sted at lede vandet hen, så nogen skal sørge for implementering af enten faskiner, grøfter, kanaler eller lignende alternativer. Når man først er koblet fra, har man desuden ingen ret til at blive tilkoblet igen, selvom den lokale nedsivning skulle vise sig at være utilstrækkelig. Dette kan nok for de fleste fremstå som så stor en risiko, netop i kraft af klimaforandringerne, at de ikke ville være villige til at satse på det. Derudover bliver man trods afkobling ved med at betale løbende vandafledningsgebyrer, som sættes efter vandforbruget – de bliver altså ikke mindre af, at det kun er spildevandet, der skal afledes, hvilket igen udfordrer afkoblingens attraktionsværdi(bilag 1.5).

Umiddelbart er der ikke nogen "mirakelkur", som kan løse alle de forestående problemer både let og billigt. Men ifølge Niels Bent Johansen kan problemet nok alligevel løses med en kombination af flere forskellige strategier. En del af vandet kan afledes og nedsives lokalt via grønne og blå byrum, flere permeable overflader samt begrønning af bygninger; noget kan forsinkes på vejen ved at lede det mindre direkte til kloakken; mens andet igen kan opsamles og udnyttes til forskellige formål. Det sidste må så ledes til kloakken, som måske alligevel nogle steder bør udbygges i sidste ende, men som så vidt muligt suppleres med alternativer i stedet.

I Malmøs forstad Augustenborg (se bilag 1.6) har denne tilgang givet gode resultater gennem det sidste årti: Det regnvand, der ikke samles på de grønne tage og vægge, ledes rundt i området via små åbne kanaler, som ved heftig regn flyder over i nogle dertil indrettede damme og fontæner. Overskrides også deres kapacitet, er der indrettet koter i landskabet, således at visse græsarealer kan oversvømmes midlertidigt, uden at vandet løber de forkerte steder hen. Kun i de mest ekstreme tilfælde løber der regnvand til de kloakrør, som ellers tidligere var kombineret regn- og spildevandsafledning, som vi kender det herhjemme fra. Flere danske kommuner er nu i fuld gang med at prøve at gøre dem kunsten efter (Michael Rothenborg, 2009).

Men det er vigtigt, at det udføres med omtanke: byen skal betragtes som ét hele, så ikke oversvømmelsen bare sendes videre ned i systemet (bilag 1.1). Nedsivning kan bevirke hævet grundvandsspejl, som igen kan medføre fugtproblemer i kældre og lign. Disse konsekvenser kan opstå både tæt på

Figur 2.21: Ved store regnmængder kan overskydende vand ledes ud i de eksisterende blå og grønne områder (Utterslev Mose). Eget foto

og langt fra, hvor vandet nedsives, så det er kompliceret at forudsige. Man bør derfor lave en seriel forbindelse af depoter og overløbsstrukturer ud fra en mapping af bl.a. jordbundsforholdene, afstand til grundvandet og byens koter, jævnfør førnævnte beskrivelse af "extreme joint probability statistics". Således kan visse regnmængder håndteres på matrikelniveau, mens regnvandet i tilfælde af kraftigere og ekstrem nedbør kan ledes videre ud til bydelens grønne struktur og i sidste ende ud til samlingen af grønne områder i oplandet til byen (Ole Fryd, bilag 1.8).

I eksempelvis København gør vores industrihistorie endvidere, at lokal nedsivning af store mængder vand kan være noget problematisk. Mange steder ligger der depoter af forurening lagret i jorden, og hvis man først får skyllet det væk, er det svært at sige, hvor det havner, og hvad konsekvenserne bliver (oplyst af Berit Haahr Hansen, 2009). Ydermere kan vand nedsivet fra arealer, der udnyttes til biler, være forurenet med benzinrester og tungmetaller, hvilket man også bør være opmærksom på i forhold til brug af eksempelvis græsarmering på veje og parkeringsarealer.

Der forskes dog i øjeblikket gennem 2BG-projektet bl.a. i rensning af vandet vha. dobbeltporøs filtrering netop gennem forskellige plante- og jordlag. Men ifølge Simon Toft, PhD-studerende i miljøkemiske risici under 2BG, er det svært at overholde EU's miljøkrav til kvaliteten af det nedsivede vand, og samtidig er det videnskabelige grundlag inden for emnet for tyndt til, at der kan laves andet end grove antagelser – på dette punkt halter hovedstaden lidt bagefter resten af landet (bilag 1.8).

Dimensionerende vs. ekstreme regnhændelser

Marina Bergen Jensen, seniorforsker på KU LIFE og projektkoordinator på 2BG-projektet, lægger meget vægt på nødvendigheden af at dele vandhåndteringsstrategierne op i to: den dimensionerende regn og de ekstreme regnhændelser. Som det er nu, hviler ansvaret for disse på forskellige skuldre. I hovedstadsområdet står Københavns E for den dimensionerende regn, som vil sige hændelser, der statistisk set forekommer minimum hvert 10. år. De ekstreme hændelser er beredskabstjenestens ansvar (Niels Bendt Johansen, bilag 1.5).

Men sandsynligvis er man nødt til at tænke det mere sammen, da de ekstreme hændelser i fremtiden vil forekomme oftere. Ifølge Gertrud Jørgensen, forskningschef på KU LIFE, er det måske kun de større grønne arealer med mulighed for sporadisk oversvømmelse, der rigtig kommer til at virke i de mest ekstreme tilfælde. Det vil være for dyrt at dimensionere systemet efter dem, da det vil kræve så uforholdsmæssigt stor kapacitet. Men som Marina Bergen Jensen påpeger, er enhver storby nødsaget til at have en acceptabel løsning på problemet, også selvom det kun forekommer sjældent.

Realisering

Hun nævner desuden, at retrofitting af grønne teknologier er langt mindre forskningsmæssigt bearbejdet end udvikling af grønne løsninger i forbindelse med nybyggeri. Derudover ligger der en del uløste problemer i selve realiseringsfasen: idet der er tale om et teknologisk paradigmeskift fra et historisk infrastruktursystem under byen til et synligt indgreb i byens brugerflade, bliver det afgørende, hvordan man får motiveret folk til at støtte op om de nye tiltag. Hvorfor vil enkeltpersoner gerne/ikke forgrønne? Hvordan får man engageret byens borgere/andre aktører? Kan der komme mere gennemsigtighed i forhold til bevæg-

grundene for de forskellige gebyrer og tilskud?

Ifølge Niels Bendt Johansen skal man lede efter løsninger, der udover den langsigtede klimatilpasning giver en "her-og-nu-værdi", hvis man vil have folket med på det! Tunge investeringer, der først har en positiv effekt 30 år fremme i tiden er upopulære og svære at få gennemført.

Bygningernes modstandsdygtighed

Da den værste trussel mod bygningernes modstandsdygtighed er de omtalte oversvømmelser, kan vandhåndteringsstrategierne også afhjælpe mange risici i denne forbindelse. Dog bør særligt udsatte bygningsværker gås efter i forhold til dræning omkring fundamenter mm. Især bør man være opmærksom på konstruktioner funderet på sand, hvis dette fundament er eksponeret for kommende regnmængder. Evt. kan det overvejes, om fundamenterne skal forstærkes, hvis ikke eksponeringen kan modvirkes – eksempelvis ved byggeri tæt på kajer og lign (regeringens rapport: Strategi for tilpasning til klimaændringer i Danmark, 2008).

Der er stor diskussion i kommunerne om, hvorvidt det skal være i orden at tømme dræn omkring private kældre ud i fælleskloakkerne. Mange gør det allerede, men det gør det sværere at forudsige kloakkens mætningspunkt, og det øger den nødvendige kapacitet, så samfundsmæssigt er det en dårlig ide at acceptere det, hvor det kan undgås (Michael R. Rasmussen, bilag 1.1).

Figur 2.22: Sætningsskader kan opstå pga. ændrede hydrologiske forhold i jorden, især ved fundering på sand. Foto: husetoghaven.dk

Figur 2.23: Pga. ændrede vindstyrker og alder er der risiko for at lette tage kan løftes af vindsug. Foto: ing.dk

Også forankringen bør gås efter, især for sarte huse med lette tage (gerne fra 50'erne eller 60'erne), og særligt hvis de ligger eksponeret for de stigende vindstyrker (Jørgen Nielsen, bilag 1.1). Der kan komme øget nedfaldsrisiko, og både tage og gavle vil blive prøvet ekstra under storm, hvorfor konstruktionernes stabilitet bør tilses. Sårbarheden kan i den sammenhæng nedbringes ved at tynge tagene ned og/eller ved at fastgøre dem bedre. Generelt bør bygningers tæthed sikres ekstra godt, da heftig nedbør kombineret med stærk vind kan betyde slagregn, som oven i købet kan løbe opad, når det bliver presset af vinden (bilag 1.1). Her er det værd at huske på, at øget solskin vil medføre hurtigere nedbrydning af byggematerialer, derunder særligt bitumenbaserede tagbeklædninger som eksempelvis tagpap pga. den intensiverede mængde UV-stråling og de øgede temperaturudsving. Sandsynligvis skal disse elementer altså fremover vedligeholdes eller skiftes oftere, end det er tilfældet i dag, medmindre de i stedet skærmes fra solens direkte stråler og klimaets andre belastninger. Dette kan selvfølgelig løses på mange måder: Med brug af mere vejrbestandige byggematerialer, med etablering af eksempelvis solceller eller solfangere uden på bygningerne (disse dækker dog sjældent hele fladen), ved brud af dobbeltfacader osv.

Figur 2.23: Eksempel på et grønt tag fra Augustenborg. Eget foto fra Augustenborg

Grønne løsninger
Men det bør her overvejes, at grønne tage og vægge kan have en positiv effekt i alle de ovenstående henseender:

De kan suge noget vand og derved udsætte det punkt, hvor oversvømmelser vil forekomme; de kan beskytte bygninger mod både UV-stråling, ekstrem varme og bratte temperaturudsving; og de kan tynge lette tage ned med deres vægt. Desuden er tage, der som udgangspunkt er underdimensionerede til beplantning, sandsynligvis også ekstra sårbare over for storm og bør således måske alligevel forstærkes?

Planterne i sig selv er dog ikke så afgørende for netop disse virkninger, og andre beklædninger kan tænkes at have stort set samme effekt – eksempelvis skummaterialer eller ren muldjord.

Dog ville dette nok fremprovokere nogle æstetiske spørgsmål. Men ligegyldigt hvad, beklædningen består af, er det essentielt, at også dette fæstnes grundigt, så det ikke blæser væk.

Hvis man er interesseret i løsningen med solceller, bør man desuden notere sig, at tilstedeværelsen af grønt under solcellerne er med til at stabilisere mikroklimaet, så temperaturerne ikke svinger lige så markant og desuden generelt ikke når lige så høje temperaturer, hvilket øger solcellernes effektivitet.

Termisk komfort

Mange danskere vil nok opleve øget termisk komfort på grund af klimaforandringerne de første mange år fra nu – i kraft af, at vintrene bliver mildere, og somrene får mere sol og sjældnere regn. På længere sigt forventes der dog også at opstå ubehag, især i byerne, grundet høje temperaturer og tørke, der forstærkes af varme-ø-effekten. På dette grundlag bør målet for tilpasningsstrategierne hovedsageligt være at nedkøle og at holde på fugten i byen.

Konventionelle tilgange

Den konventionelle måde at nedkøle indendørs er at intensivere brugen af aircondition og mekanisk ventilation. Men dette tiltag vil komme i konflikt med arbejdet for at forebygge yderligere klimaforandringer, da det er en meget strømslugende løsning og dermed mere CO_2 udledning. Ydermere udtørrer det luften, hvilket er negativt for kvaliteten af indeklimaet og derfor samtidig kan forstærke oplevelsen af ubehag under tørkeperioder. I stedet kan tilvejebringelse af mere skygge og frisk luft både ude og inde samt en forøgelse af fordampningen i byen køle passivt.

Skygge
Mht. skygge skal man dog være opmærksom på, at vintrene fortsat kommer til at være kølige, så man

"Essentially, what is needed is increased provision of shade for the warmer summer months, and more shelters from the wind and rain for the wetter, stormier winter months. More open spaces for recreation in areas peripheral to the urban core would also be beneficial." - ASCCUE - 2006

ikke nedsætter komforten om vinteren i forsøget på at øge den om sommeren. Vandret solafskærmning over vinduer med en bredde og placering, så den lukker den lave vintersol ind, men holder den højtstående middagssol ude om sommeren, kunne være et bud. Det er f.eks. et vigtigt element i forbindelse med energirigtigt boligdesign i Melbourne, hvor de længe har haft forholdsvis kølige vintre og somre med jævnlige hedebølger (www.bom.gov) – ikke meget anderledes end hvad vi går i møde. Fordelen ved denne løsning er desuden, at den let kan retrofittes på eksisterende byggeri – i stil med eksempelvis nye altaner, som man har set poppe frem i stor stil på de københavnske karréer de senere år. Udendørs ville halvtage, markiser og lign. kunne bidrage til skygge og samtidig yde ly for den stigende mængde regn. Skyggende elementer vil passende kunne gøres fleksible, da det danske folk jo elsker, når solen kommer frem, og gerne vil kunne nyde den, men samtidig ofte får brug for ly fra både sol og regn.

Fordampning

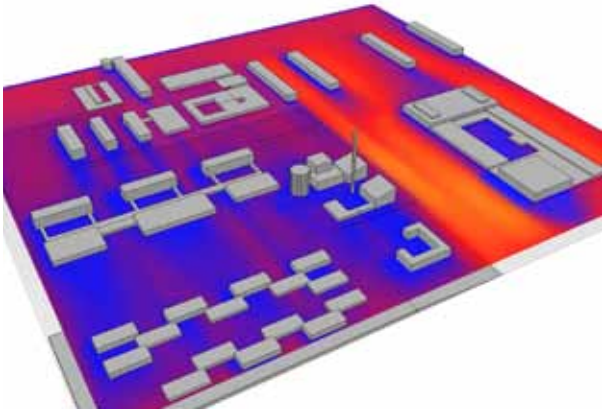
Øget fordampning kan gøres på flere måder, men hvis ikke der skal bruges postevand til at opnå den, vil dette tiltag kræve, at der i højere grad lagres vand i byens struktur, enten i regnvandstanke/-reservoirer, i blå byrum som fontæner og kanaler, i planter og træer eller i jorden via flere permeable overflader. Dette vil samtidig være med til at forsinke de negative effekter af tørke i byen og nedsætte varme-ø-effekten. Generelt er det mod varme-ø-effekten også af afgørende betydning, at der kommer færre arealer med hårdt befæstede overflader, da disse absorberer varmen og forhindrer fordampningsprocessen.

Frisk luft

Tyskland er på mange punkter foregangsland inden for energidesign af (kontor-)bygninger, og her kan vi også finde mange gode eksempler på facadesystemer med indbygget solafskærmning, naturlig ventilation og lign. Disse kan således være med til både at bringe skygge og frisk luft til indendørs miljøer, således at energiforbruget til ventilation og køling minimeres. Erfaringen fra Danmark siger dog, at det langt fra altid kan betale sig med naturlig ventilation, da energien sparet på frisk luft i stedet bruges til at dække en deraf følgende stigning i opvarmningsbehovet (Nat.vent-rapport, 2008).

I forhold til ulidelig varme i byrummene, såvel som intensiveret forurening og uacceptable koncentrationer af ozon, vil tilvejebringelse af rigelig luftgennemstrømning være én løsning og minimering af temperaturer en anden. Dette stiller altså krav til selve udformningen af byrummet og facaderne efter vindretningen.

Modsat vil den stærkere vind og voldsommere regn medføre et øget behov for ly og afskærmning, samt flere brudte overflader med højere friktionsværdi. Der er således en konflikt mellem på den ene side behovet for frisk luft under hedebølger grundet både varme og øgede mængder ozon i luften og på den anden side behovet for læ under storm, hvilket indebærer nødvendigheden af fleksibilitet i byrummene.



Figur 2.24: Analyser af vindens retning og styrke til brug som energidesign af bygninger. Illustration: Mondrup og Hurup-Felby, DTU.

"Urban greenspace can help to moderate the negative impacts of both these impacts [rising temperatures and more intense rainfall events] through providing shade and evaporative cooling, and by decreasing rainwater runoff through interception, storage and infiltration. These functions of greenspace make it a key adaptation measure in a future for the UK that is predicted to be characterised by warmer summers and wetter winters." - ASCCUE, 2006

Grønne Løsninger

Også i forhold til den termiske komfort er der synergieffekter ved implementering af flere grønne elementer: Planters kølende og luftrensende egenskaber og deres vindbrydende overflader er ét bud på en løsning til ovennævnte interessekonflikt. De giver mest skygge i sommerhalvåret, mens der er blade på træer og buske, hvilket passer med, at det er dér, hedebølgerne optræder. Om vinteren, når det er koldt, lukkes solens varme i højere grad ned til opholdszonen, mens der stadig vil optræde en hæmmende effekt på vindstyrkerne, især ved brug af stedsegrøn beplantning på facaderne. Behovet for afskærmning fra regnen løses dog ikke lige så effektivt, da dette er mest udtalt om vinteren og i efteråret, hvor hyppigheden er størst, men bladhanget knappest. Men hvis vores klima, som tidligere antydet, på lang sigt bliver som Athens, vil behovet for ly fra solens stråler i sidste ende overgå behovet for ly fra regn og vind. Ydermere vil planters omdannelse af varme til fordampning både kunne få en positiv effekt på indeklimaet og på CO_2-regnskabet i kraft af mindsket mekanisk nedkølingsbehov i kontorer, industribygninger og institutioner. Dette betyder, at de med den rette brug kan komme til at virke som tilpasningsinitiativ og forebyggelsesinitiativ samtidigt.

Ifølge det føromtalte engelske forskningsprojekt om klimatilpasning (ASCCUE, 2006) afhænger udviklingen i bymæssige gennemsnitstemperaturer i høj grad af, hvorvidt andelen af grønt i byen reduceres, bevares eller øges. Rapporten "Den grønne by – Udfordringer og muligheder" (Marianne Rosenbak og Gertrud Jørgensen, 2009) konstaterer dog i den sammenhæng, at et studie af det grønnes effekt i mindre byrum indikerer, at omkring 80 % af den temperatursænkende effekt skyldes træer, der skygger for solen (Shasua-Bar & Hoffman, 2000). Overfladetemperaturen er på den måde lettest at påvirke lokalt. Hvis lufttemperaturen skal ændres, kræver det større tiltag:

"Et grønt område skal være over 3,5 ha for at kunne skabe sit eget mikroklima med lavere lufttemperaturer og højere luftfugtighed, og skal lufttemperaturen i området sænkes bare 1°C skal arealet være 10 ha." - Grøn by rapport, 2009

Problematisering

Men egenskaberne ved byforgrønnelse er i sig selv ikke uden sårbarhed over for klimaforandringerne: Det kan i fremtiden grundet de forlængede tørkeperioder i sig selv blive en udfordring at holde de allerede eksisterende grønne islæt i byerne i live. Øgede mængder grønt vil i disse perioder naturligvis også betyde øget vedligehold i form af vanding og gødskning, hvis egenskaberne skal opretholdes. Stærke stormhændelser kan ligeledes blive en trussel. Der kunne efter orkanen i 1999 og de følgende storme eksempelvis iagttages knækkede træer mange steder i byerne.

Det er således af afgørende betydning, at de grønne initiativer udføres med omtanke og vedligeholdes, hvis man vil være sikker på, at investeringerne bliver langtidsholdbare.

De ekstra udgifter til vedligehold forbundet med grønne tiltag, som jo er levende og derfor udvikler sig dynamisk, er i forvejen et af argumenterne imod disse løsninger. Spørgsmålet i øjeblikket er dog, om ikke de ekstra jobs, det ville skabe, ville blive modtaget med kyshånd?

DELKONKLUSION 2

Klimatilpasning

Hvad kan vi gøre?

Det er vigtigt, at der for hvert geografiske område udføres en form for grundig kortlægning, hvor eksponering, sårbarheder og faremomenter sammenstilles med placeringen af urbane systemer og tilpasningspotentialer, inden en konkret strategi udformes.

Det sted, hvor flest af disse elementer mødes, vurderes at være i de tætte, eksisterende byområder, hvor funktionerne er mest koncentrerede, der bor flest mennesker og mulighederne for forandringer er sværest at implementere både fysisk, socialt og planmæssigt. Dette er desuden det mindst bearbejdede felt, og det giver dermed mening at undersøge tilpasningspotentialerne dér som udgangspunkt.

Den største og mest omfattende udfordring bliver at tilpasse de eksisterende vandafledningssystemer til fremtidens regn. Dette kan løses efter to hovedprincipper: centraliseret eller decentraliseret vandafledning. Den centraliserede løsning består i udvidelsen af det konventionelle kloaksystem – effektivt og diskret, når det står færdigt, men samtidig også en rigid, omkostningstung og omstændig model, som vil omdanne byen til en stor byggeplads gennem adskillige år. Den decentraliserede løsning består i at kombinere en række forskellige grønne og blå teknologier, herunder landskabsbaseret regnvandshåndtering, regnvandsopsamling og –udnyttelse, samt begrønning af bygninger. Dette er fysisk en mere fleksibel model, hvor flere tiltag kan tilføjes, i takt med at behovet herfor opstår, men disse teknologier er langt mindre afprøvet og kendskabet til deres styrker og svagheder dermed begrænset, hvilket betyder, at der er behov for yderligere undersøgelser på området.

Planmæssigt vil den decentraliserede model desuden være sværere at få gennemført, da den er et nyt, synligt indgreb i byens brugerflade og indbefatter langt flere aktører, i forhold til den konventionelle løsning, som er historisk forankret og således ikke bliver betvivlet. Der vil altså være tale om et teknologisk paradigmeskift.

Opretholdelsen af den termiske komfort i byerne fordrer nedkøling ved hedebølger, fugttilførsel ved tørke og ly i forbindelse med storm og regn. Konventionelt løses overophedning indendørs med aircondition, hvilket er meget energitungt og bør minimeres.

Tilføjelse af mere skygge, frisk luft og fordampning både inde og ude er mere energieffektive principper, men der er en konflikt i byrummene mellem behovet for mest mulig frisk luft ved hedebølger og ly under storm-/regnhændelser, samt nogle steder mellem behovet for skygge om sommeren og sol om vinteren. Dermed anbefales det, at en vis fleksibilitet bygges ind i tilpasningsplanerne, eksempelvis i form af flytbare skygge- og læ-givende elementer.

Det må bemærkes, at vand er både problemet og en del af løsningen: Ved etablering af flere åbne vandoverflader, samt begrønning af bygninger og byrum, kan der opnås synergieffekter, som afhjælper ovenstående konflikter mht. den termiske komfort, og som desuden potentielt kan styrke bygningernes modstandsdygtighed over for stærk vind og Uv-stråling.

Der foreligger således et stort, men også lidt uklart, potentiale ved byforgrønnelse, som dermed bør udforskes dybere for at få afklaret, om det er en fyldestgørende løsning, samt om den med fordel kan kombineres med andre tilgange eller helt bør erstattes i tilfælde af utilstrækkelighed.