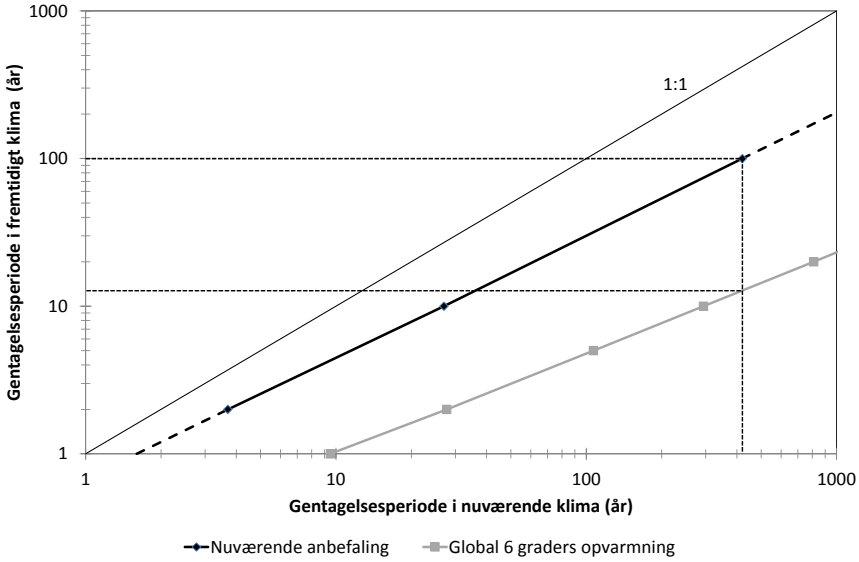
Virker klimatilpasning i en meget varmere verden?

Siden oversvømmelsen i 2011 har København arbejdet ambitiøst, hårdt og målrettet mod at gøre byen mere robust overfor især stigende ekstremregn. Udgangspunktet er de kendte anbefalinger om klimaændringer. Men hvad nu hvis klimaændringerne bliver meget voldsommere end vi har troet hidtil? Artiklen skønner de ændringer i ekstremregn og oversvømmelsesrisiko vi kan forvente i en seks grader varmere verden.

Karsten Arnbjerg-Nielsen, Lykke Leonardsen & Henrik Madsen

Mange danske byer er blevet ramt af oversvømmelser de seneste 10-15 år, men alligevel står hændelsen den 2. juli 2011 klarest i erindringen. Regnhændelsen målt i mængde og intensitet var blandt de største målte hændelser, men nok så væsentligt faldt nedbøren præcis over det område der opsamler og leder vandet ind i det centrale København. Derfor var skaderne meget omfattende.

I lyset af hændelsen i juli 2011 påbegyndte Københavns Kommune at udarbejde en plan til at modstå og reducere konsekvenserne af fremtidige ekstremregn, hvilket resulterede i Skybrudsplanen /1/. En meget klar konklusion i forbindelse med Skybrudsplanen var, at hvis man tillod et mere fleksibelt mix af afstrømning i afløbssystemet og på byens overflader kunne man give en langt større beskyttelse mod skader fra ekstremregn end i dag – klimaændringer eller ej. Der er mange antagelser og forbehold omkring undersøgelsen og dens resultater, men beregningerne viste, at det optimale forhold mellem investeringer og resterende risiko for skader lå på et niveau svarende til kun 10% af de skadesomkostninger, som man har i København i dag. Besparelsen opstår både fordi der vil ske skader mere sjældent, fordi der vil være færre skader når det regner meget voldsomt og fordi de mest sårbare huse sikres særskilt.



Figur 1. *Sammenhæng mellem gentagelsesperioder nu og i fremtidens klima under dels det nuværende bedste bud på klimaændringer og dels som beregnet i en 6 grader varmere verden. I figuren er markeret hvad Skybrudsplanens krav på 10 cm vand på bygninger med en gentagelsesperiode på 100 år i fremtidens klima svarer til i nuværende klima og i det fremtidige 6 graders klima.*

Status for klimatilpasningsplaner for København

Københavns Skybrudsplan har stor betydning for alle byens centrale funktioner og er rettet mod mange niveauer. Sammenspil med borgerne og den øvrige planlægning af f.eks. trafik er af afgørende betydning samtidigt med at der er opstillet meget præcise funktionskrav for hvad en robust by er. De væsentligste elementer er følgende:

- En stor del af de nuværende skader i København skyldes oversvømmelser af kældre forårsaget af, at vandet løber fra den offentlige kloak ind i private ejendomme. Dette skal forhindres og det er lodsejernes eget ansvar at sikre deres ejendom.
- Alle bygninger mv. skal sikres, så de kan "tåle" kortvarig eksponering af vand på op til 10 cm målt fra vejbanens overflade. Det vil også være den enkelte lodsejers ansvar.
- Der er opstillet et generelt krav for, hvor ofte bygninger mv. må blive eksponeret for

mere end 10 cm vand. Kravet svarer til det bedste bud på hvad en 100 års hændelse er i år 2110. Det er en klar skærpelse i forhold til de nuværende krav. Der vil blive udpeget særlige "skybrudsveje" hvor kravet ikke vil være opfyldt. Håndteringen af risikoen for disse veje sker efter en konkret vurdering.

Ud fra disse krav er byens områder opdelt i zoner, hvor der ikke skal ske indgreb, zoner, hvor vandet skal holdes tilbage, samt zoner, hvor vandet kan ledes væk mere effektivt end i dag. Nogle steder planlægges meget store tunneler til regnvand for at leve op til kravene og samtidigt bevare eksisterende byrum. Der er f.eks. planlagt en stor tunnel på Vesterbro. Hvis denne tunnel skulle undgås skulle man i stedet bruge et område mindst svarende til hele Kødbyen til opbevaring af vand i ekstremsituationer – ud over den anvendelse af Sct. Jørgens Sø, der allerede indgår i planlægningen.

Ekstremregn i en 6 grader varmere verden

Det er vanskeligt at forestille sig, hvordan klimaet vil se ud, såfremt klodens temperatur stiger med i gennemsnit 6 grader, endsige hvordan kloden vil reagere. Det er en mere voldsom stigning end hvad FNs Klimapanel inddrager i deres scenarier for forventet udvikling frem til år 2100. De klimamodeller vi anvender til at beregne forventede klimaændringer er allerede presset under de "normale" projektioner af klimaet. Så at bruge modellerne til at forudsige så voldsomme ændringer er meget usikkert. Vi har prøvet at forudsige ændringerne på to måder; dels ved at finde områder i Europa hvor nedbør- og temperaturforhold i dag svarer til det vi forudsiger for Danmark i et fremtidigt klima, og dels ved at lave statistik på den ekstremnedbør som klimamodellerne simulerer.

Den første metode fejler. Under moderate klimaændringer har vi ret sikre indikationer på, at Danmark vil minde en del om Nordfrankrigs kystområder, f.eks. Caen. Det er ikke muligt at finde tilsvarende områder, hvor både temperatur og nedbør passer på fremtidens Danmark i en 6 grader varmere verden. Temperaturen passer på områder, der i dag ligger i Sydeuropa, de gennemsnitlige nedbørforhold ændres ikke så meget i forhold til de moderate scenarier, mens de ekstreme nedbørhændelser er meget usikre og passer tilsyneladende bedst på områder omkring Ukraine og Hviderusland (!). Så denne metode må vi forkaste.

Ud fra en statistisk bearbejdning af de ekstreme regnhændelser som klimamodeller simulerer kan vi beregne klimafaktorer, som angiver hvor meget intensiteten af ekstremregn ændrer sig i et fremtidens klima (f.eks. svarer en klimafaktor på 1.3 til en 30 % stigning i intensiteten). Metoden er beskrevet i /2/. Der er tale om meget væsentlige ændringer, og meget kraftigere end dem vi normalt anvender til klimatilpasning, se tabel 1. Konsekvensen i form af ændrede gentagelsesperioder for ekstremregn ses i figur 1. Det fremgår, at kravet om 10 cm vand på almindelige bygninger i et sådant scenarie svarer til noget der sker med en gentagelsesperiode på ca. 12 år. En hændelse svarende til den 2. juli 2011 vil med en sådan ændring optræde med en gentagelsesperiode på 30-40 år.

Tabel 1. *Klimafaktorer der er anvendt under udarbejdelse af Skybrudsplanen samt for scenariet svarende til en 6 grader vamere verden.*

	Gentagelsesperiode 10 år	Gentagelsesperiode 100 år
Anbefalet klimafaktor for klimatilpasning jf. /3/	1,3	1,4
Klimafaktor for scenarium med global opvarmning på 6 grader	2,2	2,7

Beregning af omkostninger med og uden klimatilpasning

Udgangspunktet for beregning af effekten af klimatilpasning er en økonomisk analyse af fordele og ulemper. Ulemperne er ret nemme at fastlægge; det er primært omkostningen til at bygge og vedligeholde de anlæg, der skal ændre vandets vej igennem byen fra den nuværende tilstand til den klimatilpassede tilstand. Fordelene er noget sværere at fastlægge. Som minimum indgår de sparede omkostninger til at reparere bygninger og udskifte ødelagte møbler og varer, men også f.eks. afbrydelser af trafik, tab af salgsværdi (og dermed skatteindtægter) og bekymring for gentagelser kan indgå. Desuden kan der være positive gevinster (og ulemper) fra andre sektorer, der også bør indgå i analysen. Tabel 2 viser de bedste skøn for gevinsterne fra undgåede konkrete skader. Tallene er beregnet ud fra den metode, der er beskrevet i Boks 1. Som det fremgår af tabellen er gevinsten ved Skybrudsplanens tiltag endog meget store i 6 graders scenariet; uden tiltag stiger omkostningerne til skader til næsten 8 gange det nuværende niveau, mens tiltagene kan holde omkostningerne på et niveau, der ikke er voldsomt større end i dag. Det betyder, at effektiviteten af implementere Skybrudsplanen øges, så hver krone investeret giver tre gange så meget afkast som forudsat i Skybrudsplanen.

Tabel 2. *Beregnede udgifter til skader fra ekstremregn og stormfloder for København med og uden klimatilpasning under to fremskrivninger, bedste bud og 6 grader varmere. Nuværende omkostning til ekstremregn er sat til indeks 100.*

	Omkostningsindeks
Ekstremregn, uden klimatilpasing	
Nuværende klima	100
2100, bedste bud	170
2100, 6 grader varmere	770
Ekstremregn, Skybrudsplanen fuldt implementeret	
Nuværende klima	10
2100, bedste bud	20- 30
2100, 6 grader varmere	120 – 210
Stormfloder og havstigning, uden klimatilpasning	
Nuværende klima	0
2100, bedste bud og 6 grader varmere	660

Kritiske antagelser

Der er en række antagelser som er væsentlige i beregningerne i tabel 2. Den første og væsentligste er selve metoden til beregning af skader som følge af ekstremregn i et 6 grader varmere klima uden klimatilpasningstiltag. Der vil ske en væsentlig klimatilpasning i et sådant scenarie, uanset om kommune og forsyning ønsker det eller ej. De mest sårbare huse kan næppe nå at blive udtørrede mellem oversvømmelserne og vil dermed blive usælgelige eller beskyttet lokalt, transformatorstationer vil blive flyttet, osv. Så det scenarie har en indbygget konflikt i forhold til vores

Boks 1: Beregning af økonomisk risiko for oversvømmelse
Beregningen af den økonomiske risiko er besværlig, fordi den varierer meget fra år til år. I mange år vil skaden være meget lille og i de værste år vil skaderne være meget omfattende. For at kunne lave en vurdering af omkostninger ved oversvømmelser benyttes derfor den gennemsnitlige omkostning per år. Denne omkostning kan for et givent klima beregnes ud fra historiske opgørelser af forsikringsoplysninger og andre data, mens man for fremtidens klima må benytte beregninger. Disse beregninger foretages ved at lave simuleringer af effekten af ekstremregn fra ret små hændelser til hændelser der er omtrent så store som den, der blev målt 2. juli 2011. For hver af disse hændelser udregnes så deres bidrag til den samlede risiko ved groft sagt at gange sandsynligheden for hver hændelse med den tilsvarende beregnede omkostning af oversvømmelserne. Summen af bidragene angiver så den samlede økonomiske risiko. Metoden gennemgås detaljeret i /4/.

beregninger.

Scenariet med de seks grader indeholder også en væsentlig ændring i, hvornår på året hændelser forekommer. Det overvejes pt. hvorvidt og hvordan København kan sikres mod stormfloder, der forventes at blive en anden meget væsentlig omkostning ved klimaændringerne (se tabel 2). I dag optræder stormfloder og ekstremregn på hver sin årstid, stormfloder om vinteren og ekstremregn om sommeren og efteråret, og der er derfor en meget lille risiko for at de vil optræde på samme tid. Det ser ud til at dette forhold vil ændre sig i 6 graders scenariet. Det er en stor udfordring, fordi f.eks. dæmninger kun virker, såfremt der kun er vand på den ene side af dæmningen. En hændelse med kombineret stormflod og ekstremregn vil være meget vanskelig at beskytte København imod.

Den sidste meget kritiske antagelse i analysen er, at Skybrudsplanen faktisk vil blive gennemført som planlagt. Det vil tage 20-40 år og kræve alvorlige ændringer af hele byen. Hvad nu hvis der kommer en periode, hvor der ikke er mange kraftige regnskyl, ligesom vi havde i 1970'erne? Så vil det ikke være let at holde fast i den overordnede plan.

Konklusion

Københavns Skybrudsplan er en ambitiøs plan, der har indflydelse på arealanvendelsen i store dele af byen. Den vil sikre borgerne rigtig godt imod de klimaforandringer vi pt. anser som de mest realistiske. Hvis planen bliver gennemført vil byen også være godt rustet til at stå imod betydelige klimaændringer.

Litteratur

/1/ Københavns Kommune, 2012. Københavns Kommunes Skybrudsplan 2012. Downloaded 1. august 2014 fra https://subsite.kk.dk/~/media/DFAAFC8B6004494F8E3D6DDDF91E6AA1.ashx

/2/ Sunyer MA, Gregersen IB, Madsen H, Luchner J, Rosbjerg D, Arnbjerg-Nielsen K, 2014. Comparison of different statistical downscaling methods to estimate changes in hourly extreme precipitation using RCM projections from ENSEMBLES. International Journal of Climatology. Early online. DOI: 10.1002/joc.4138

/3/ Arnbjerg-Nielsen K, 2008. Forventede ændringer i ekstremregn som følge af klimaændringer. Skrift 29. Spildevandskomiteen, Ingeniørforeningen I København. http://ida.dk/sites/prod.ida.dk/files/SVK_Skrift29_final.pdf

/4/ Olsen AS, Zhou Q, Linde JJ, Arnbjerg-Nielsen K, 2013. Assessing damage cost estimation of urban pluvial flood risk as a mean of improving climate adaptation investments. International Conference on Flood Resilience (ICFR), Exeter, 05-07 September 2013.

Karsten Arnbjerg-Nielsen (karn@env.dtu.dk) er professor på DTU Miljø, Lykke Leonardsen er enhedschef for klima i Københavns Kommune, Henrik Madsen er Innovationschef hos DHI.