



Skrift nr. 29

Forventede ændringer i ekstremregn som følge af klimaændringer

2008
IDA Spildevandskomiteen

Forventede ændringer i ekstremregn som følge af klimaændringer

Spildevandskomiteen, Skrift nr. 29

© IDA Spildevandskomiteen 2008

Forfatter: Karsten Arnbjerg-Nielsen, Institut for Vand og Miljøteknologi, DTU

Layout af figurer: Torben Dolin

Indholdsfortegnelse

Indholdsfortegnelse	3
Rekommandation.....	5
Forord	7
1 Indledning.....	8
1.1 Baggrund	8
1.2 Formål.....	8
1.3 Sammenhæng mellem nærværende skrift og Skrift 27	9
1.4 Tilgængeligt datamateriale for Danmark	10
2 Beskrivelse af klimarelaterede ændringer i ekstremregn.....	12
2.1 Paradigme.....	12
2.2 Metoder.....	13
2.3 Antagelser og usikkerheder	15
3 Bestemmelse af klimafaktor til dimensioneringsregn (Metode 1)	17
3.1 Bearbejdning af data fra klimamodel.....	18
3.2 Skøn over klimafaktor baseret på model for dimensioneringsregn	20
4 Bestemmelse af syntetiske regnserier i fremtidsscenario (Metode 2)	23
4.1 Model for historiske regnserier	23
4.2 Bearbejdninger af data fra klimamodel	23
4.3 Skøn over klimafaktor baseret på model for historiske regnserier	24
5 Analoge klimaområder (Metode 3)	26
6 Opsummering og diskussion af resultater	30

7	Konklusion.....	33
8	Referencer.....	34
	Bilag A Organisatorisk ramme	36

Rekommandation

Der er gennem de senere år i Danmark gennemført en række forskellige undersøgelser med henblik på at skønne, hvilke fremtidige ekstreme regnintensiteter der kan forventes under indtryk af ændrede klimaforhold. Undersøgelserne er alle baseret på output fra regionale klimamodeller fra Danmarks Meteorologiske Institut, men såvel modellerne som metoderne til at bearbejde resultaterne har været forskellige.

Der er udført en række simuleringer med den regionale klimamodel HIRHAM4 med en spatial opløsning på ca. 12 x 12 km, hvor randbetingelserne er taget fra den globale klimamodel HadAM3H, og hvor output er gemt med en tidslig opløsning på 1 time. Disse simuleringer vurderes at være det bedste grundlag for at skønne den fremtidige udvikling i ekstremregn i Danmark til brug for dimensionering af afløbssystemer. Samtidigt må det pointeres, at der er en væsentlig usikkerhed forbundet med en sådan simulering og at resultaterne skal benyttes med varsomhed.

Simuleringerne er udført for en statusperiode (1961-90) og et fremtidsscenario (2071-2100). Fremtidsscenarioet er baseret på IPCC's klimascenario A2, der beskriver en høj-middel udledning af drivhusgasser i en heterogen verden med lav økonomisk integration, voksende befolkning og langsom teknologisk udvikling. På baggrund af forskellene mellem statusperiode og fremtidsscenario kan beregnes en mest sandsynlig udvikling af ekstremregn over tid. Forholdet mellem den forventede fremtidige og den nuværende nedbørsintensitet benævnes en "klimafaktor". Klimafaktoren kan anvendes direkte i praktiske beregninger som beskrevet i Spildevandskomiteens Skrift nr. 27.

På det foreliggende grundlag kan følgende konkluderes:

- Det er ret sikkert, at Danmark vil opleve stigende nedbør generelt og at ekstreme nedbørssituationer i fremtiden vil være kraftigere end i dag. Samtidigt har økonomiske analyser af dimensioneringspraksis godtgjort, at det generelt kan betale sig at øge kapaciteten af afløbssystemet således at serviceniveauet overfor borgerne fastholdes. Det må derfor understreges, at selv om der er stor usikkerhed på resultatet af undersøgelsen er det sikkert at klimaændringer i ekstremregn i fremtiden vil få væsentlig betydning for funktionspraksis af nye og eksisterende afløbssystemer.
- Klimafaktoren for ekstreme regnintensiteter stiger med voksende gentagelsesperiode i intervallet 2 - 100 år og falder med voksende varighed i intervallet 1 - 24 timer. For større

gentagelsesperioder og lavere varigheder er der ikke tilstrækkelig information til at sige noget konkret på baggrund af den nuværende viden.

- Klimafaktorer på 1,2, 1,3 og 1,4 for gentagelsesperioder på hhv. 2, 10 og 100 år vurderes på det foreliggende grundlag at være rimelige skøn i forhold til en planlægningshorisont på 100 år. Der er set bort fra klimafaktorens afhængigheden af varighed, da denne er vanskelig at håndtere i praksis og desuden vurderes mindre betydningsfuld end afhængigheden af gentagelsesperioden.
- Der er ikke grundlag for at skelne mellem forskellige landsdele ved skøn af klimafaktoren, grundet den store usikkerhed, der er forbundet med modellens beskrivelse af ekstreme regnhændelser.
- Det er i forbindelse med den seneste bearbejdning af dimensionsgivende nedbørsintensiteter (Skrift 28) specifikt undersøgt, hvorvidt der kan observeres statistisk signifikante ændringer i observationsperioden 1979 - 2006. I skriftet anbefales det at benytte hele datamaterialet fra 1979 – 2006 under antagelse af, at der ikke er ændringer over tid i datamaterialet. Blandt andet derfor anbefales det at tage udgangspunkt i Skrift 28 ved dimensionering og analyse af afløbssystemer og anvende klimafaktoren på dimensioneringsregn/regnserier udvalgt på baggrund af Skrift 28.
- I konkrete situationer bør man fastsætte klimafaktoren i forhold til den tilgængelige information og formålet med det konkrete projekt, herunder hvor lang en tidshorisont der planlægges efter.
- Det er væsentligt at opdatere skønnet på klimafaktor i takt med at bedre information om fremtidige klimaforhold tilvejebringes. Dette gælder både med hensyn til klimamodeller og klimascenarier, samt med hensyn til undersøgelser af målte regndata.

Forord

Dette skrift er en opfølgnings på Spildevandskomiteens Skrift 27 fra 2005. Skrift 27 anbefalede en række nye principper for dimensionering og analyse af afløbssystemer, herunder brugen af sikkerhedsfaktorer. Siden udarbejdelsen af Skrift 27 er der foretaget flere udredninger af hvordan klimaændringer forventes at påvirke ekstremregn i Danmark. Det er vores opfattelse, at bearbejdningerne har nået et omfang der gør det relevant at offentliggøre resultaterne og indarbejde dem i praksis ved at udgive et skrift fra Spildevandskomiteen.

Teksten til skriftet er forfattet af Karsten Arnbjerg-Nielsen. Beregningsarbejdet er gennemført i samarbejde med Wilhelm May, Danmarks Meteorologiske Institut og Christian Onof, Imperial College, London. Udredningen er foretaget på baggrund af en bevilling fra DANVAs F&U konto for 2006 samt en række kommuner og forsyningsselskaber. Arbejdet er løbende blevet kommenteret og gennemgået af en styregruppe hvori indgik repræsentanter for Spildevandskomiteens Regnudvalg. Nærværende skrift har været støttet økonomisk af Spildevandskomiteen.

Principperne for nærværende skrift har været forelagt og diskuteret i Spildevandskomiteens udvalg vedr. regnafledning fra byer (kaldet Regnudvalget), ligesom principperne er blevet fremlagt på faglige temadage arrangeret af Spildevandskomiteens udvalg for Erfaringsudveksling i Vandmiljøteknikken (EVA). Et udkast til skriftet blev forelagt og principgodkendt på Spildevandskomiteens plenarmøde den 29. april 2008, og efterfølgende er en tilrettet version af skriftet forelagt og godkendt på møde i Spildevandskomiteens forretningsudvalg den 24. juni 2008

Carsten Jakobsen

Akademiingeniør

Formand for Spildevandskomiteens
udvalg vedr. regnafledning fra byer

Niels Aagaard Jensen

Civilingeniør, PhD

Formand for Spildevandskomiteen

1 Indledning

1.1 Baggrund

Klimaændringer har allerede medført ændringer i nedbørsstrukturen. Alle analyser tyder på, at denne udvikling fortsætter fremover. Der vil komme færre regnhændelser, men de ekstreme regnhændelser vil blive væsentligt kraftigere. Afløbssystemer har en meget lang teknisk levetid. Derfor har selv langsomme og gradvise ændringer i nedbørsstrukturen afgørende betydning for kloaksystemernes funktion.

Arbejdet bag skriftet er blevet gennemført som et samarbejdsprojekt mellem en række aktører med en styregruppe under DANVAs ledelse. Som led i tilblivelsen af skriftet er yderligere indarbejdet kommentarer fra Spildevandskomiteens regnudvalg, forretningsudvalg og plenarforsamling. En oversigt over den organisatoriske ramme er angivet i Bilag A.

1.2 Formål

Det overordnede formål er at foretage en undersøgelse og kvantificering af klimarelaterede ændringer i ekstrem nedbør ud fra den bedste viden, der er tilgængelig i dag. Metoder til at håndtere usikkerheder, herunder forventede ændringer over tid, i forbindelse med dimensionering og analyse af afløbssystemer, er beskrevet i Spildevandskomiteens Skrift 27 (Harremoës *et al*, 2005). Denne beskrivelse anses for at være fyldestgørende og derfor er formålet at lave en bearbejdning der med hensyn til terminologi og praktisk anvendelse passer ind i rammen fra Skrift 27.

Det er dermed undersøgelsens specifikke formål at bestemme scenarieusikkerheden for klimaændringer som defineret i Skrift 27 for ekstremregn som funktion af regnens varighed og gentagelsesperioder samt undersøge, hvorvidt der er regionale forskelle på de forventede ændringer.

Scenarieusikkerheden udtrykkes i form af et sikkerhedstillæg, en såkaldt "klimafaktor". Klimafaktoren er den faktor som skal ganges på den nuværende dimensionsgivende regnintensitet for at få den ønskede fremtidige dimensionsgivende regnintensitet.

Matematisk udtrykkes klimafaktoren, k , på denne måde:

$$k_{T,d,\Delta t} = \frac{i_{T,d,t+\Delta t}}{i_{T,d,t}}$$

hvor

i er den dimensionsgivende regnintensitet for gentagelsesperiode T og varighed d ,

t er nutid (altså år 2008 i skrivende stund), og

Δt er den periode scenarieusikkerheden omfatter

Klimafaktoren afhænger dermed som udgangspunkt af gentagelsesperioden, varigheden og fremskrivningshorisonten

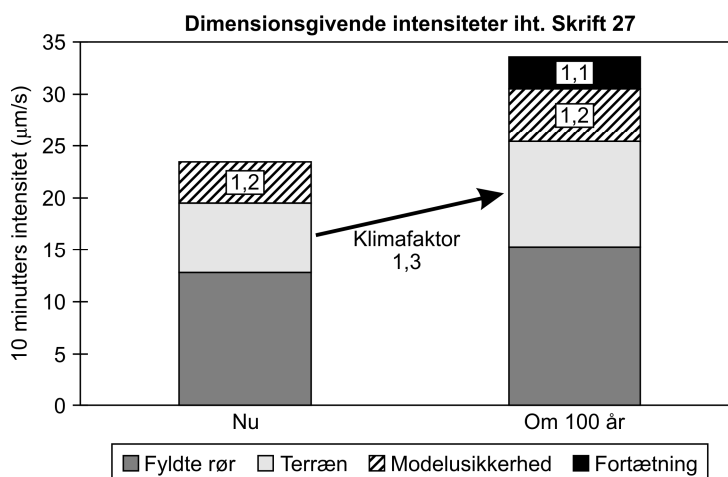
1.3 Sammenhæng mellem nærværende skrift og Skrift 27

Terminologi og metode i nærværende skrift skal ses i direkte forlængelse af Skrift 27. I Skrift 27 konstateres det, at de dimensionsgivende regnintensiteter må forventes at ændre sig over tid. Disse ændringer skal medtages i afløbstekniske beregninger i form af en scenarieusikkerhed. Scenarieusikkerheden håndteres ved at lave en eller flere fremskrivninger over den sandsynlige udvikling i ekstremregns egenskaber ved at angive en skønnet ændring over en periode. Denne scenarieusikkerhed skal herefter indgå i bestemmelsen af en samlet usikkerhed i forbindelse med dimensionering og analyse, hvori også andre væsentlige usikkerheder skal indgå.

Den praktiske anvendelse af de mest gængse usikkerheder i Skrift 27 er illustreret på figur 1. Figuren illustrerer, at den dimensionsgivende regn bestemmes ud fra en konkret vurdering af følgende faktorer:

- Den aktuelle dimensionsgivende nedbør over området, bestemt ud fra Skrift 28. I figuren er angivet såvel intensiteten for 2 og 10 års gentagelsesperiode. Disse bidrag er hhv. det grå og hvide område i intensiteterne.
- En vurdering af de væsentligste usikkerheder på typiske afløbstekniske beregninger, benævnt modelusikkerhed. I figuren er angivet en modelusikkerhed på 20%, svarende til en faktor på 1,2.
- En vurdering af, hvor meget den dimensionsgivende nedbør vil ændre sig i løbet af anlæggets forventede tekniske levetid. I figuren er angivet en forøgelse på 30% i løbet af 100 år

- En vurdering af, hvor meget det tilknyttede befæstede areal vil ændre sig i løbet af anlæggets forventede tekniske levetid. I figuren er angivet en forøgelse på 10% i løbet af 100 år.



Figur 1 De forventede ændringer i dimensionsgivende 10-minutters intensitet ved traditionel kloakering som følge af klimaændringer. Der er i eksemplet taget udgangspunkt i stuvning til terræn med en gentagelsesperiode på 10 år.

I eksemplet i figur 1 benyttes en samlet dimensionsgivende belastning på afløbssystemer med en meget kort teknisk levetid på 1,2 gange regnintensiteten. Såfremt den tekniske levetid på systemet er omkring 100 år anvendes en samlet dimensionsgivende belastning på $1,3 \cdot 1,2 \cdot 1,1 = 1,72$ gange regnintensiteten. Den dimensionsgivende belastning for andre tekniske levetider findes ud fra skøn ved levetiden 0 og 100 år.

Det skal bemærkes, at Skrift 27 er begrænset til at definere god praksis i forbindelse med stuvningsberegninger i byområder under regn. For andre anvendelser, herunder beregninger af aflastningsmængder og -hyppigheder, gælder anbefalingerne fra tidligere skrifter fortsat. Det indebærer blandt andet, at beregninger af miljøbelastninger generelt udføres uden usikkerhedstillæg.

1.4 Tilgængeligt datamateriale for Danmark

Analysen benytter to typer af data: dels historiske målinger af nedbør i høj opløsning i tid og sted, og dels simuleringer af "status" og "fremtid" udført ved hjælp af en klimamodel.

De historiske målinger af nedbør er genereret af Spildevandskomiteens regnmålersystem, svarende til den bearbejdning, der er foretaget i Skrift 28 (Arnbjerg-Nielsen *et al.*, 2006).

De tilgængelige klimasimuleringer er udført med HIRHAM4-modellen med en opløsning på 12*12 km og 1 time. Modellen er beskrevet i Christensen *et al* (1998). Modellen indeholder en simulering af (primært) Nordvesteuropa. Randbetingelserne til modellen er taget fra en global klimamodel, benævnt HadAM3H AGCM.

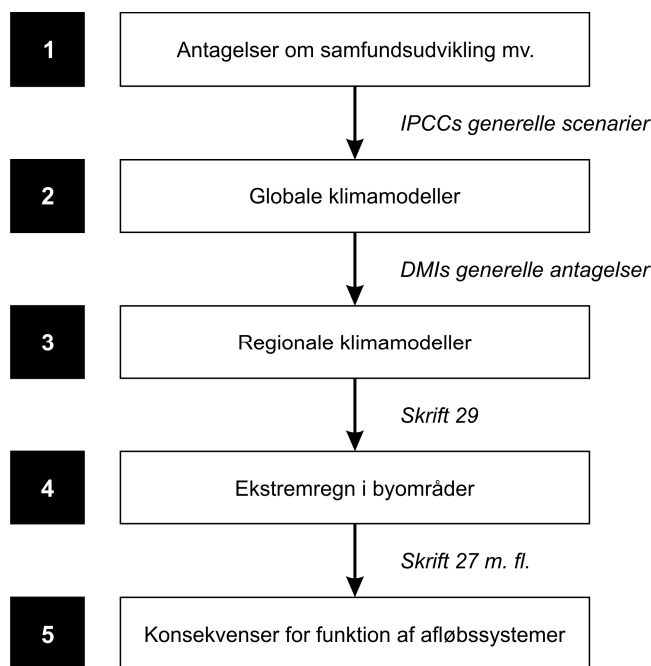
Simuleringerne er udført for en statusperiode (1961-90) og et fremtidsscenario (2071-2100). Fremtidsscenariet er baseret på IPCC's klimascenario A2, der beskriver en høj-middel udledning af drivhusgasser i en heterogen verden med lav økonomisk integration, voksende befolkning og langsom teknologisk udvikling.

Det tilgængelige datamateriale indebærer, at der kun betragtes en enkelt fremskrivningshorisont for klimafaktoren (ca. 100 år) og et enkelt scenarium (IPCC scenarium A2).

2 Beskrivelse af klimarelaterede ændringer i ekstremregn

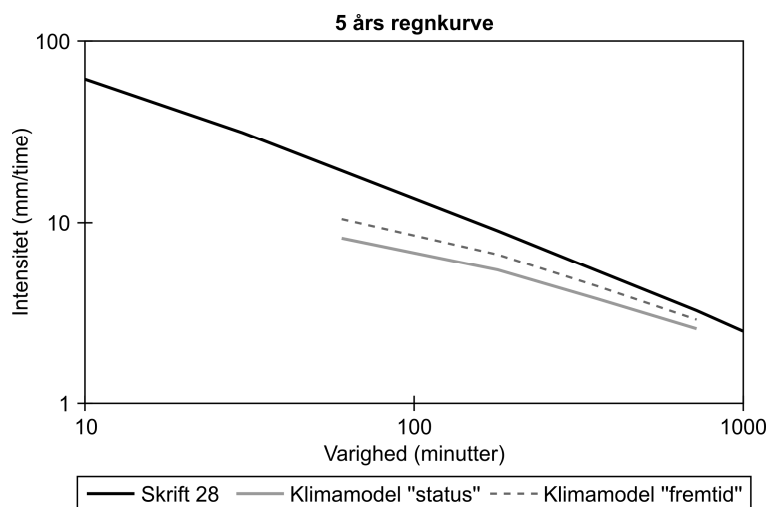
2.1 Paradigme

På figur 2 er angivet de nødvendige trin for at kunne beskrive, hvilke konsekvenser det har for afløbssystemernes funktion, at mennesker påvirker det naturlige kredsløb. Denne rapport fokuserer på at undersøge, hvordan man kommer fra trin 3 til trin 4 under givne antagelser om trin 1, 2 og 3. Beskrivelsen af, hvordan man kommer fra trin 4 til trin 5 er fastlagt i Spildevandskomiteens øvrige skrifter, især Skrift 27.



Figur 2 De nødvendige trin for at kunne beskrive, hvilke konsekvenser det har for afløbssystemernes funktion, at mennesker påvirker det naturlige klima på jorden.

Problemstillingen kan synes meget enkel, men i praksis er der stor forskel på målinger af ekstremværdier af nedbør i punkter og output fra klimamodeller som er gennemsnit over større arealer. Forskellen er illustreret på nedenstående figur 3.



Figur 3 Der er stor forskel mellem punktmålinger af nedbørsintensiteter fra SVKs regnmålersystem (Skrift 28) og output fra regionale klimamodeller. Forskellene varierer som funktion af bl.a. varighed.

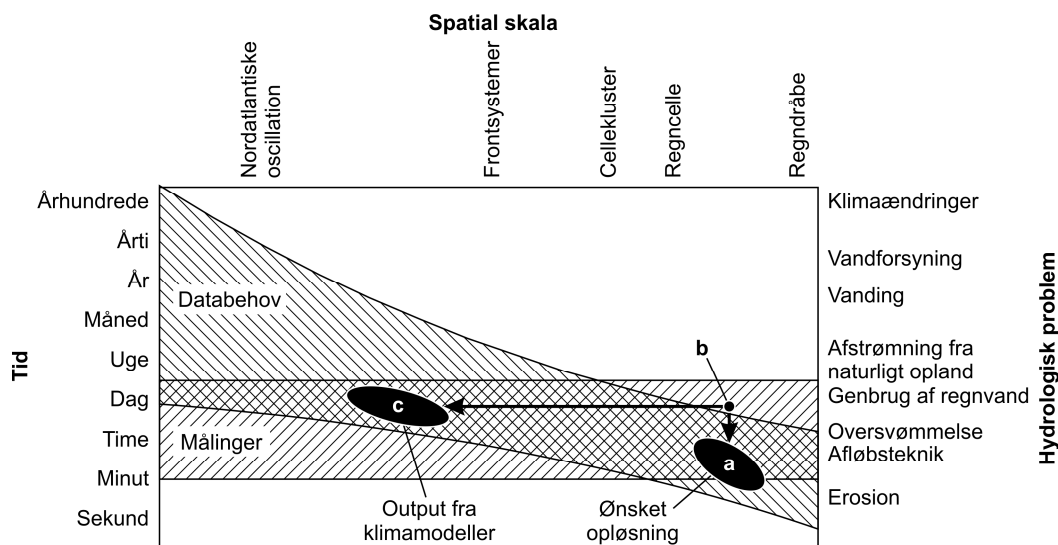
2.2 Metoder

2.2.1 Fremgangsmåde ved anvendelse af klimamodeller

Der er i et indledende litteraturstudie (Arnbjerg-Nielsen, 2006) identificeret en række metoder til at skalere resultater fra klimamodellerne, så det er muligt at vurdere effekterne på funktionen af afløbssystemer. Såfremt der benyttes klimamodeller til forudsigelse af fremtidens ekstremregn, benytter metoderne samme grundlæggende fremgangsmåde:

- Karakteriser egenskaber ved nedbøren i punktmålingerne på baggrund af en historisk regnserie
- Karakteriser forskellen i de tilsvarende egenskaber ved en regional klimamodel, der dækker det relevante område og kvantificer forskellen mellem "status" og "fremtid".
- Etabler en entydig og dækkende sammenhæng mellem den historiske regnserie og klimamodellens "status"-simulering. Denne sammenhæng benyttes til at beskrive punktmålinger af nedbør i et fremtids-scenarie.

De tre trin er illustreret i nedenstående figur 4.



Figur 4 De nødvendige tre trin ved beskrivelse af klimarelaterede ændringer i ekstremregn til brug for analyse af afløbssystemer. Figuren er udarbejdet på baggrund af Berndtsson og Niemczynowicz (1988).

De hidtidige bearbejdnings (f.eks. Jørgensen *et al*, 2006) har taget udgangspunkt i at estimere en klimafaktor direkte på baggrund af simulerede nedbørsintensiteter fra klimamodellen. Denne metode kan være usikker at benytte, primært på grund af den stærkt forsimplede beskrivelse af ekstrem nedbør i klimamodellerne. Derfor vil der i nærværende rapport blive fokuseret på to modeller, der beskriver nedbør ved hjælp af parametre. De to modeller kan kort karakteriseres således:

- PDS-model af ekstremhændelser (Skrift 26/28). Det er denne model, der benyttes i Skrift 26 og Skrift 28 til at beskrive ekstrem nedbør i Danmark. Der er i alt 4 parametre, som kan gives en semi-fysisk fortolkning. Metoden og resultaterne gennemgås kort i kapitel 3.
- Parametrisk beskrivelse af hele regnserier i tidsmæssig opløsning på 1 time kombineret med metoder til at skalere nedbør til højere tidsmæssig opløsning. Metoden har været anvendt til at generere kunstige regnserier i Storbritannien igennem de seneste år med rimelig succes. Modellen benytter i alt 120 parametre. Metoden og resultaterne gennemgås kort i kapitel 4.

De klimarelaterede ændringer for en parameter, a , beskrives ud fra følgende formel:

$$k_{a,\Delta t} = \frac{a_{t+\Delta t, \text{punkt}}}{a_{t, \text{punkt}}} = \frac{a_{t+\Delta t, \text{areal}}}{a_{t, \text{areal}}}$$

Ved sammenligning med definitionen af klimafaktoren i afsnit 1.2 ses, at der i praksis er tale om, at der defineres en klimafaktor for hver parameter i modellen og at det antages, at denne klimafaktor er den samme for modeller opstillet for hhv. punktmålinger og arealmæssige gennemsnit. På

baggrund af denne antagelse er det dermed muligt at beregne den samlet klimafaktor ved at anvende de fundne faktorer på hver af parametrene i modellen for de historiske dimensioneringsregn.

2.2.2 Fremgangsmåde uden anvendelse af klimamodeller

Som afløbstekniker står man ofte i den situation, at man mangler gode regndata for en specifik lokalitet. I den forbindelse benyttes kvalitative vurderinger af, hvilke af en række tilgængelige regndata der bedst vil kunne repræsentere den pågældende lokalitet. Det gælder i Danmark ved valg af historiske regnsrækker (Mikkelsen *et al.*, 1999), og det gælder internationalt i en lang række tilfælde.

Metoden kan også anvendes i forbindelse med klimaændringer, idet der udvælges en lokalitet med regndata, der aktuelt har det klima, som det forventes, at den specifikke lokalitet forventes at få som følge af klimaændringer. Metoden og resultaterne gennemgås kort i kapitel 5.

2.3 Antagelser og usikkerheder

Der er ganske væsentlige usikkerheder forbundet med beskrivelsen af hver eneste "kasse" og hver eneste pil mellem kasserne i figur 2. Nedenfor diskuteres de væsentligste antagelser kortfattet for hver af kasserne.

2.3.1 Klimascenarium

Antagelser omkring den samfundsmæssige udvikling er taget fra det internationale klimapanelers scenarium A2. Det er et scenarium med høj-middel udledning af drivhusgasser i en heterogen verden med lav økonomisk integration, stigende befolkning og langsom teknologisk udvikling. Det er et scenarium, der indebærer kraftigere klimaændringer end det, der er vedtaget at bruge generelt i EU-sammenhæng. Det indebærer, at de beregnede ændringer i ekstremværdierne af ekstremregn alt andet lige må formodes at være på den sikre side. Betydningen af valg af klimascenarium er genstand for mange diskussioner. Der henvises til speciallitteraturen, herunder IPCCs klimascenarier.

2.3.2 Klimamodel, generel beskrivelse

En klimamodel (både en regional og en global model) beregner atmosfærens tilstand ud fra de fysiske ligninger, der beskriver forholdene i atmosfæren. Modellen kan ikke beskrive forholdene i atmosfæren helt nøjagtigt, både fordi de eksakte sammenhænge ikke er kendte, og fordi det er nødvendigt at lave forsimplede beskrivelser af de (er)kendte sammenhænge af hensyn til beregningstiden for en simulering med klimamodellen. Endvidere er det ikke muligt at beskrive en

række processer direkte. Det gælder bl.a. for meget kraftige tordenbyger, hvor der er meget store variationer i nedbørsintensiteterne over et område, som beskrives med en gennemsnitsintensitet i simuleringer i klimamodellen.

Resultater af klimamodeller fremkommer altid i form af simuleringer af mulige vejrforhold. Det indebærer bl.a., at den samme klimamodel vil generere forskellige resultater, hvis der udføres flere simuleringer med samme udgangspunkt. Det betyder også, at resultatet af en enkelt simulering ikke er en eksakt forudsigtelse, men derimod skal forstås som en forudsigtelse af vejrets statistiske egenskaber. Variationen mellem forskellige simuleringer af årlig nedbør over større områder er meget lille, men jo mindre område, jo højere tidsopløsning og jo sjældnere hændelser der vurderes desto større usikkerhed er der på udfaldet af en enkelt simulering.. DMI har udført analyser af flere simuleringer med ens randbetingelser og har i nogle tilfælde konstateret forskelle på op til 50% i den estimerede døgnnedbør for en gentagelsesperiode på 10 år i nogle beregningspunkter alene forårsaget af tilfældige variationer i simuleringerne.

2.3.3 Klimamodel, beskrivelse af nedbør

Den atmosfæriske cirkulation over det nordlige Atlanterhavet og Europa bliver om vinteren bestemt af den såkaldte Nordatlantiske Oscillation (NAO), der beskriver trykforskellen mellem højtrykket omkring Azorerne og lavtrykket ved Island. Når denne forskel er stor (den positive fase af NAO), dannes der mange kraftige storme over Atlanterhavet, som rammer Europa, når de bevæger sig østpå. Men når denne forskel er lille (den negative fase), udvikler sig betydeligt færre kraftige storme over Atlanterhavet. Derfor medfører den positive fase af NAO mange og kraftigere nedbørshændelser i Danmark, mens den negative fase giver betydelig færre og svagere nedbørshændelser.

Om sommeren bliver vejret i Europa stort set bestemt af, om der etablerer sig et stabilt højtryk over kontinentet eller ej. Dette afhænger ikke kun af forholdene i atmosfæren, men også meget af vandforholdene i jordbunden. Er jordbunden relativt tør, fordamper mindre vand, og lufttemperaturen er varmere, så betingelserne for at etablere et stabilt højtryk er mere favorable. Omvendt er betingelserne mindre favorable, når jordbunden er ret våd. Et stabilt højtryk medfører meget få nedbørshændelser, mens der er betydeligt flere nedbørshændelser, når dette højtryk ikke etableres, og flere lavtryk rammer Europa.

Disse overordnede vejrsystemer har en væsentlig naturlig variation fra år til år. Denne variation har betydning for den nøjagtighed, hvormed det er muligt at beskrive ændringer i nedbørsmønstre. Endvidere betyder beskrivelsen af nedbør, at ekstreme nedbørsmængder alt andet lige underestimeres af klimamodeller, specielt for de korte varigheder.

3 Bestemmelse af klimafaktor til dimensioneringsregn (Metode 1)

I Skrift 28 (Arnbjerg-Nielsen *et al*, 2006) anvendes en model med fire parametre til at beskrive ekstremregn. Modellens parametre er beskrevet i tabel 1. Denne model kan fungere som trin a i afsnit 2.2.1. Præcis den samme model vil blive benyttet på output fra klimamodellerne som trin b. Trin c i metoden består derefter i at beregne en faktor for hver af parametrene og på den baggrund udregne en samlet klimafaktor ved at anvende de fundne faktorer på hver af parametrene i modellen for de historiske dimensioneringsregn.

Tabel 1 Forklaring af de parametre, der indgår i modellen af de ekstreme hændelser. Hver af nedbørsvariablene beskrives ved hjælp af nedenstående fire parametre. Den ene parameter vælges til en fast værdi hvorefter de øvrige tre estimeres ved hjælp af statistiske metoder.

Parameter	Forklaring
z_0	<i>Afskæringsniveau</i> Denne parameter vælges af den, der konstruerer modellen. Afskæringsniveauet er en subjektiv vurdering af, hvad en ekstrem hændelse er – populært sagt gælder det om at skære de ikke-ekstreme hændelser fra, da de ikke passer ind i den statistiske model, men på den anden side at medtage så mange hændelser som muligt for at bestemme modellens parametre så godt som muligt. Afskæringsniveauet er det samme for alle regnserier i hele landet for såvel "status" som "fremtid". Niveauet vælges, så der er et passende antal observationer, typisk 1 - 4 overskridelser om året.
λ	Gennemsnitligt antal årlige overskridelser For hver regnserie bestemmes, hvor mange gange om året det valgte afskæringsniveau overskrides. En høj værdi af λ betyder, at de ekstreme hændelser forekommer hyppigere.
μ	Middelværdien af overskridelserne For hver regnserie bestemmes, hvor store overskridelserne er i gennemsnit. En høj værdi af μ betyder, at de ekstreme hændelser generelt er store.
κ	Formparameteren for overskridelserne For hver regnserie bestemmes, hvordan overskridelserne fordeler sig omkring middelværdien af overskridelserne. Jo mindre værdien af κ er, jo mere skæv er fordelingen, og desto hurtigere vokser ekstremhændelsen som funktion af gentagelsesperioden. κ kan være både positiv og negativ.

3.1 Bearbejdning af data fra klimamodel

Afskæringsniveauet for de ekstreme hændelser, z_0 , vælges konstant for hele landet for en given varighed i både status- og fremtidsscenario. Der vælges et niveau, der giver mellem 50 og 150 observationer for hvert beregningspunkt i klimamodellen. For hvert beregningspunkt estimeres herefter de tre parametre beskrevet i tabel 1.

Hver af de tre øvrige parametre er undersøgt for regionale variationer, ligesom i Skrift 28. Det har dog ikke været muligt at finde nogen entydig tendens til regional variation, hvorfor variationerne er antaget at være konstante over hele landet.

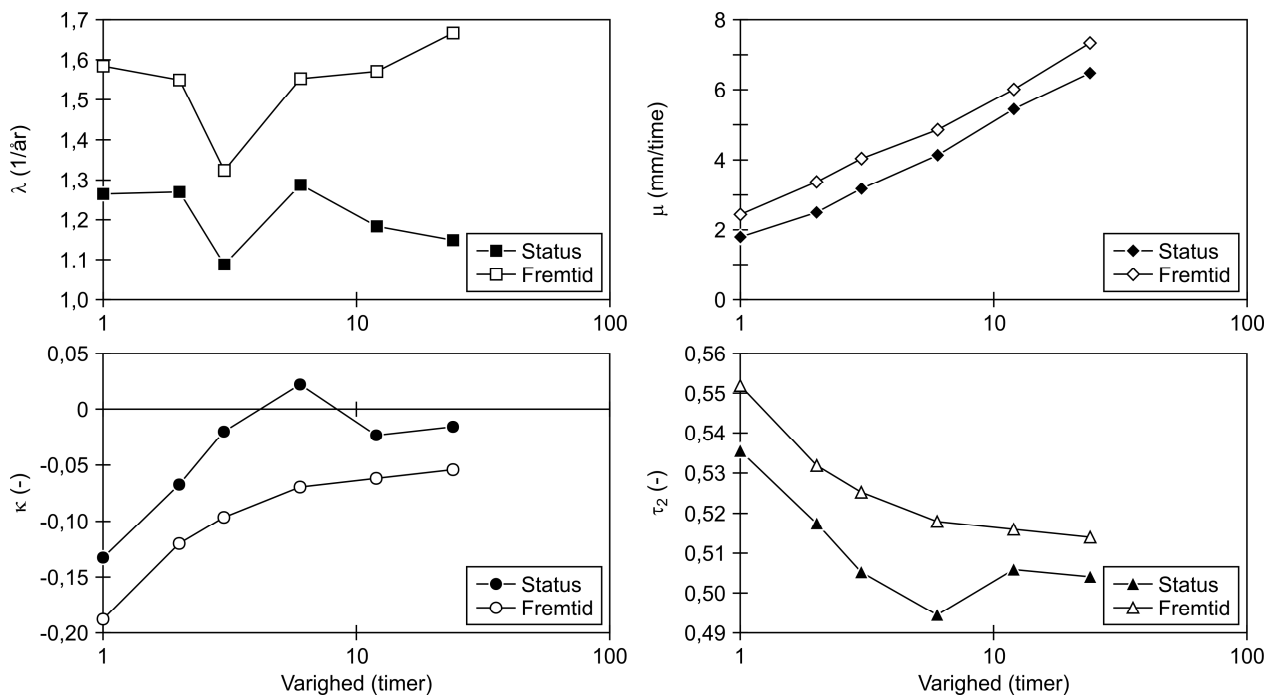
De landsdækkende gennemsnit af parametrene for "status" og "fremtid" er angivet i figur 5. Som det fremgår af figuren, vil det være vanskeligt at bestemme en faktor for κ , fordi parameteren i nogle tilfælde skifter fortegn. Derfor bestemmes faktoren på baggrund af en transformation af κ , givet ved:

$$\kappa = \frac{1}{\tau_2} - 2$$

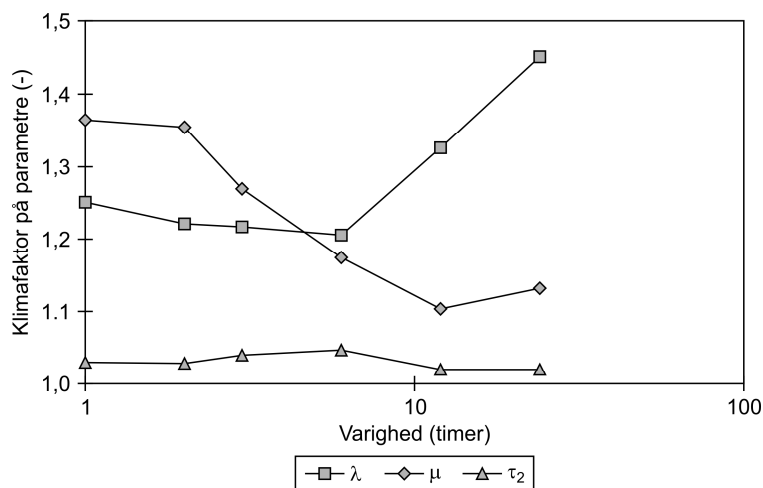
Transformation er valgt, fordi τ_2 er den parameter der faktisk estimeres på baggrund af data, mens κ primært benyttes fordi den giver en "pænere" formel. De statistiske egenskaber af τ_2 samt beskrivelsen af transformationen er beskrevet i Madsen (1998). Med denne transformation kan klimafaktoren for parametrene bestemmes for hver af de tre parametre på baggrund af output fra de regionale klimamodeller. Resultaterne er angivet i Figur 6. Parameterestimerne for klimafaktorerne er angivet i tabel 2.

Tabel 2 Parameterestimer for klimafaktoren for hver af de tre parametre i modellen for dimensioneringsregn.

Varighed (timer)	Klimafaktor, λ	Klimafaktor, μ	Klimafaktor, τ_2
1	1,252	1,365	1,030
3	1,218	1,269	1,040
6	1,205	1,175	1,047
12	1,326	1,103	1,020
24	1,451	1,132	1,020



Figur 5 Landsdækkende gennemsnit af parametrene i DMIs klimamodel for status og fremtid. τ_2 er en transformation af κ som er mere velegnet som grundlag til at beregne klimafaktoren.

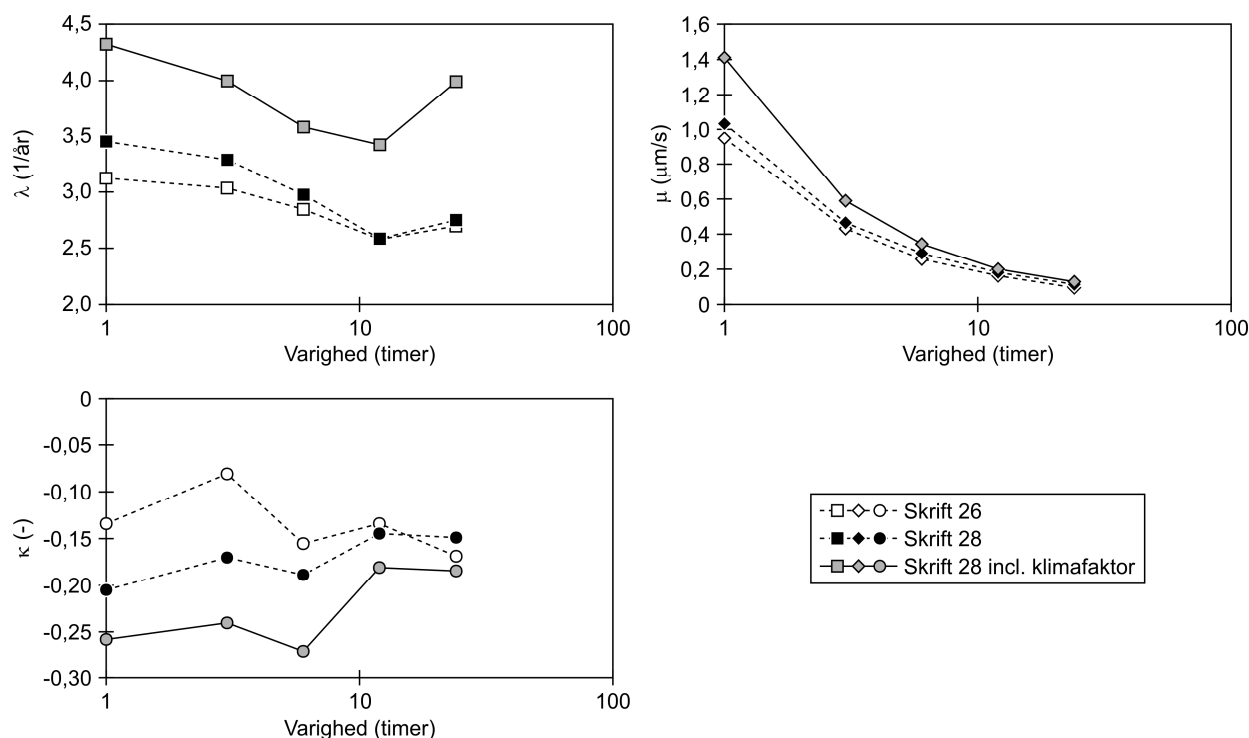


Figur 6 Beregnede klimafaktorer for parametrene for hver varighed på baggrund af output fra de regionale klimamodeller.

På figur 5 er vist et eksempel på de endelige parameterestimater for ekstremregn i fremtidsscenarioet. Ændringerne betyder i korte træk følgende:

- Antallet af kraftige hændelser vil fortsat stige.
- Størrelsen af de kraftige hændelser vil generelt blive større.
- De rigtig store hændelser vil blive væsentligt større.

Det er en tendens, der allerede er konstateret i opdateringen af dimensionsgivende nedbørsintensiteter fra Skrift 26 (Mikkelsen *et al*, 1999) til Skrift 28 (Arnbjerg-Nielsen *et al*, 2006). Den gode overensstemmelse mellem udviklingen i de observerede ekstremhændelser og de modellerede fremtidige ændringer kan benyttes som en gensidig verifikation af, at de beregnede ændringer er realistiske, og at de observerede ændringer de sidste 10 - 15 år er udtryk for en tendens, der vil fortsætte. Forskellen mellem hver af parametrene angivet i: a) Skrift 26, b) Skrift 28, og c) ”fremtid” beregnet på baggrund af Skrift 28 er angivet i figur 7



Figur 7 Parameterverdier baseret på hhv. Skrift 26, Skrift 28 og Skrift 28 incl. fremskrivning med klimafaktor på hver af parametrene. Parametrene er vist for en årsmiddelnedbør på 650 mm i det østlige Danmark udenfor Storkøbenhavn.

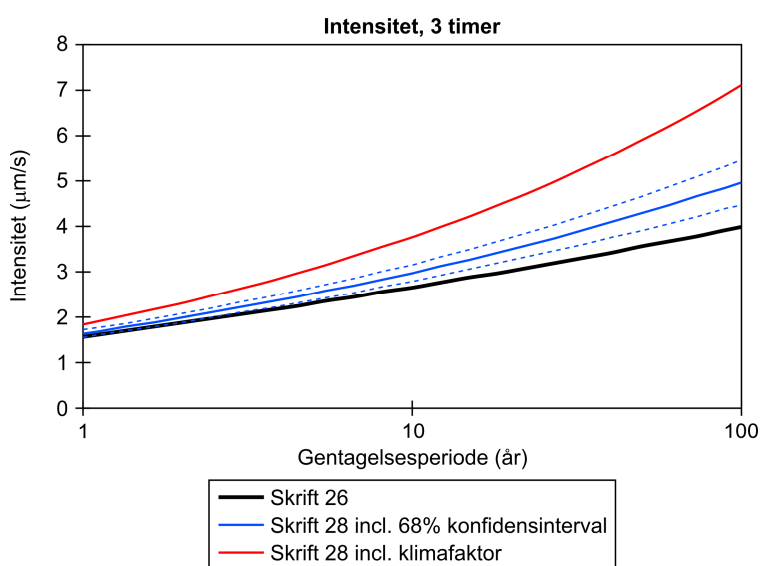
3.2 Skøn over klimafaktor baseret på model for dimensioneringsregn

Klimafaktoren er per definition konstant for hver af parametrene i modellen. I Skrift 28 er der mindre forskelle på parametrene afhængigt af årsmiddelnedbør og region. Det indebærer også, at

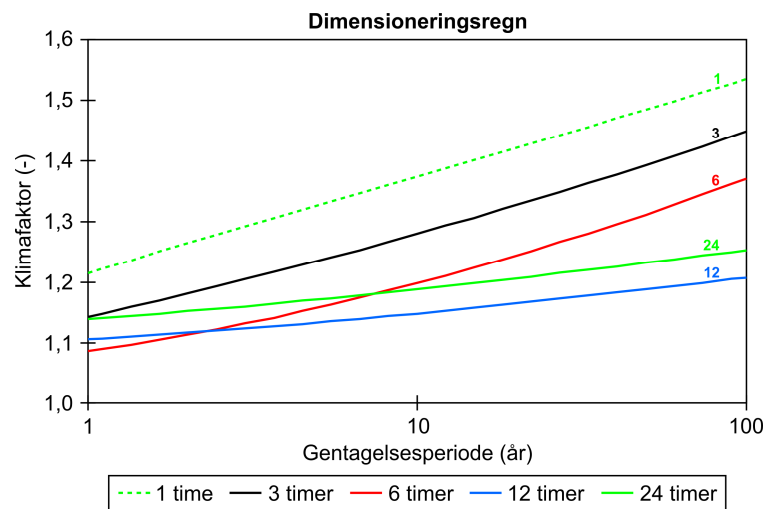
den samlede klimafaktor beregnet som angivet i afsnit 1.2 varierer lidt som funktion af årsmiddelnedbør og region. Denne variation er meget lille i forhold til usikkerheden og der er derfor set bort fra den i det følgende, idet alle figurer mv. er baseret på en årsmiddelnedbør på 650 mm i det østlige Danmark.

Den samlede betydningen af parameterændringerne er anskueliggjort i figur 8. Tendensen er, at de beregnede ændringer for de relativt korte varigheder (1 - 6 timer) er ca. dobbelt så stor, som ændringen fra Skrift 26 til Skrift 28 var for en gentagelsesperiode på 10 år. For de lange varigheder er der tale om større ændringer, primært fordi forskellen mellem Skrift 26 og Skrift 28 er relativt lille.

De beregnede klimafaktorer er angivet på figur 9. Det fremgår, at der er en væsentlig variation mellem estimerne afhængigt af varigheden og gentagelsesperioden. Der er en tendens til stigende klimafaktor for højere gentagelsesperiode og lavere varighed. Af figuren fremgår det, at klimafaktoren for en gentagelsesperiode på 10 år varierer mellem 1,15 og 1,35.



Figur 8 Ekstreme regnintensiteter for 3 timers varighed estimeret ud fra Skrift 26, Skrift 28 samt "fremtid", dvs. Skrift 28 inklusive klimafaktor.



Figur 9 Beregning af klimafaktor for varighederne 1, 3, 6, 12 og 24 timer. Der ses at være tale om en klimafaktor på 1,1 - 1,5, afhængigt af varighed og gentagelsesperiode.

4 Bestemmelse af syntetiske regnserier i fremtidsscenario (Metode 2)

4.1 Model for historiske regnserier

Den her beskrevne model har været anvendt til generering af "kunstige historiske regnserier" i Storbritannien i mange år. Metoderne og resultaterne er beskrevet mere indgående i Onof og Arnbjerg-Nielsen (2008) samt Arnbjerg-Nielsen (2006). Her gives kun en meget kort og summarisk gennemgang.

Metoden er baseret på en model, der beskriver en regnserie med en tidsmæssig opløsning på 1 time ved hjælp af 8 variable, der hver især varierer med årstiden. De 8 variable karakteriserer tilsammen tiden mellem regnhændelser, antallet af nedbørsceller samt cellernes tidsmæssige udstrækning og intensitet.

For at opnå en højere tidsopløsning suppleres modellen med en skaleringsmodel, der, baseret på nedbørs egenskaber, opdeler 1 times nedbørsvolumener på minutbasis inden for den pågældende time.

Ældre udgaver af modellerne er indbygget i TSRSim, et kommercielt tilgængeligt software, der kan benyttes til at generere kunstige regndata i Storbritannien i høj opløsning under hensyntagen til forskellige klimaeffekter (Wallingford, 2005).

Metoden for anvendelse af modellen for historiske serier i nærværende bearbejdning er præcis den samme som for dimensioneringsregn. Hver af variablene er estimeret på historiske regnserier samt på såvel klimamodellens "status" som "fremtid". På baggrund af klimamodellens output udregnes klimafaktorer for hver variabel. Skaleringen beregnes udelukkende på den historiske regnserie. Det antages, at skaleringen er uændret af klimaændringer.

4.2 Bearbejdninger af data fra klimamodel

Der er udført en lang række simuleringer baseret på separat opstillede modeller for 7 lokaliteter i Danmark. Baseret på dette arbejde kan følgende konkluderes:

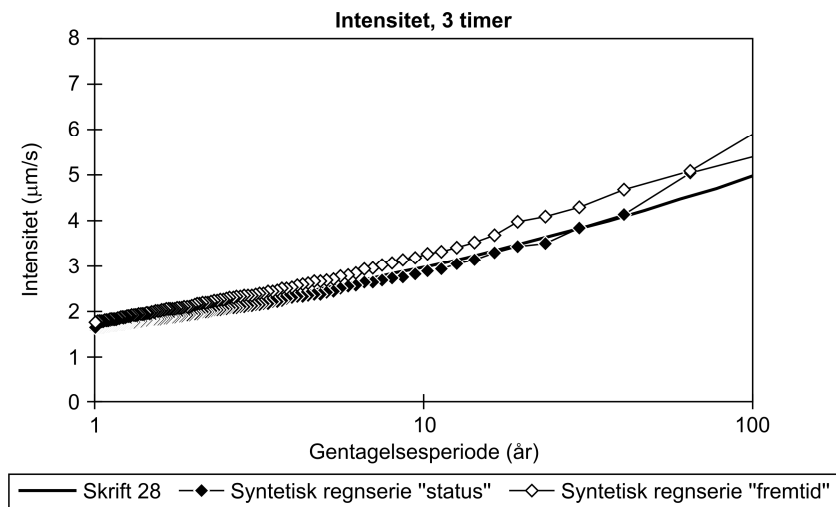
- Der er en væsentlig årsvariation af parametrene, som er i overensstemmelse med den fysiske tolkning, man kan give parametrene. Forskellen mellem parametrene for "status" og "fremtid" tyder på, at der er en markant forskel på intensiteten af nedbørscellerne i sensommeren, og at det er denne forskel, der har størst betydning for de kraftigere ekstremregn i scenariet "fremtid".
- Der er kun information i klimamodellen til én samlet national klimamodel (præcis samme konklusion som under analysen af dimensioneringsregn).
- Skaleringen er ikke særligt god, idet specielt de ekstreme intensiteter for varigheder under 1 time undervurderes systematisk for "status". Klimafaktoren for korte varigheder må derfor beregnes under den antagelse, at skaleringen virker lige dårligt for "status" og "fremtid".

De fleste afløbssystemer har en koncentrationstid på under 1 time. Det sidste punkt indebærer derfor, at det ikke er særlig relevant at benytte de genererede regnserier til typiske afløbstekniske beregninger, fordi den maksimale belastning vil blive undervurderet systematisk.

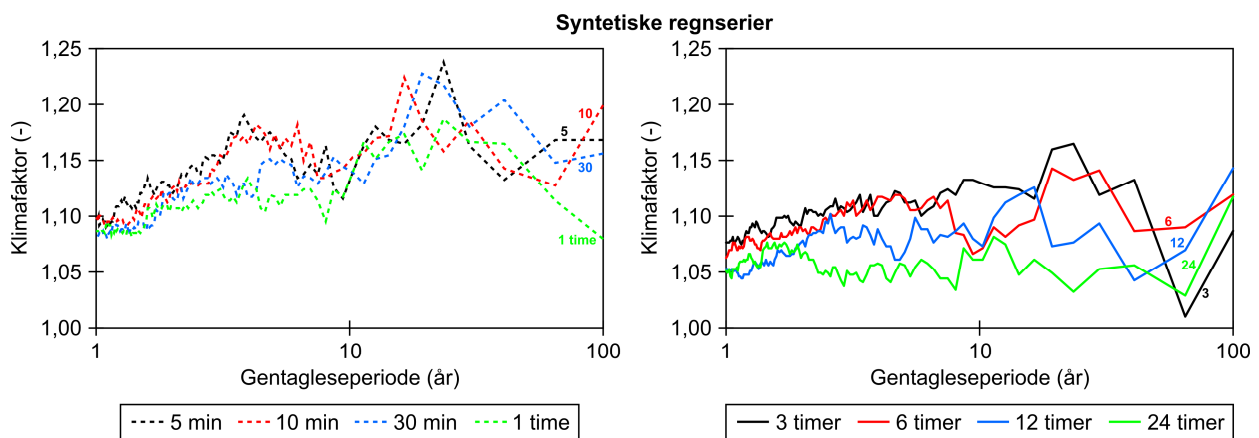
4.3 Skøn over klimafaktor baseret på model for historiske regnserier

Klimafaktorerne beregnes direkte ved at bestemme gentagelsesperioder for de syntetiske regnhændelser i serierne "status" og "fremtid" for de ønskede varigheder på samme måde som hændelserne bearbejdes i f.eks. Skrift 26. For såvel "status" som "fremtid" beregnes den dimensionsgivende intensitet som medianen af 20 simuleringer med modellen, hver af 100 års varighed. Varighederne vælges til at være de samme som for dimensioneringsregnen (metode 1), suppleret med varigheder i kortere tidsopløsning. Resultatet er anskueliggjort i figur 10 for varigheden 3 timer. Da de syntetiske hændelser har præcist samme gentagelsesperiode kan klimafaktoren beregnes for hver af observationerne direkte.

Det fremgår af figur 11, at de beregnede klimafaktorer generelt ligger mellem 1,07 og 1,15 med en skønnet middelværdi for alle varigheder på omkring 1,1. Generelt er der en tendens til, at varigheder under 1 - 3 timer har højere klimafaktor end varigheder over 1 - 3 timer. Denne tendens kan dog godt være forårsaget af, at modellen for skalering ned til de korte varigheder er baseret på historiske målinger af regn med varighed op til 3 timer. Når klimafaktorerne for 1 og 3 timer er højere end de længere varigheder, må det derfor forventes, at også de kortere varigheder vil have højere klimafaktorer. Derfor skal denne tendens tolkes med forsigtighed og behøver ikke nødvendigvis være udtryk for en fysisk egenskab ved nedbøren. Resultatet er dog i overensstemmelse med metode 1.



Figur 10 Medianen af dimensionsgivende nedbørsintensitet for de 20 syntetiske regnserier der repræsenterer hhv. "status" og "fremtid". Endvidere er angivet den dimensionsgivende intensitet på baggrund af Skrift 28. Figuren svarer til figur 8 for metode 1.



Figur 11 Oversigt over beregnede klimafaktorer baseret på regnserier for forskellige varigheder og gentagelsesperioder. Klimafaktoren ses generelt at være højst for de korte varigheder.

5 Analoge klimaområder (Metode 3)

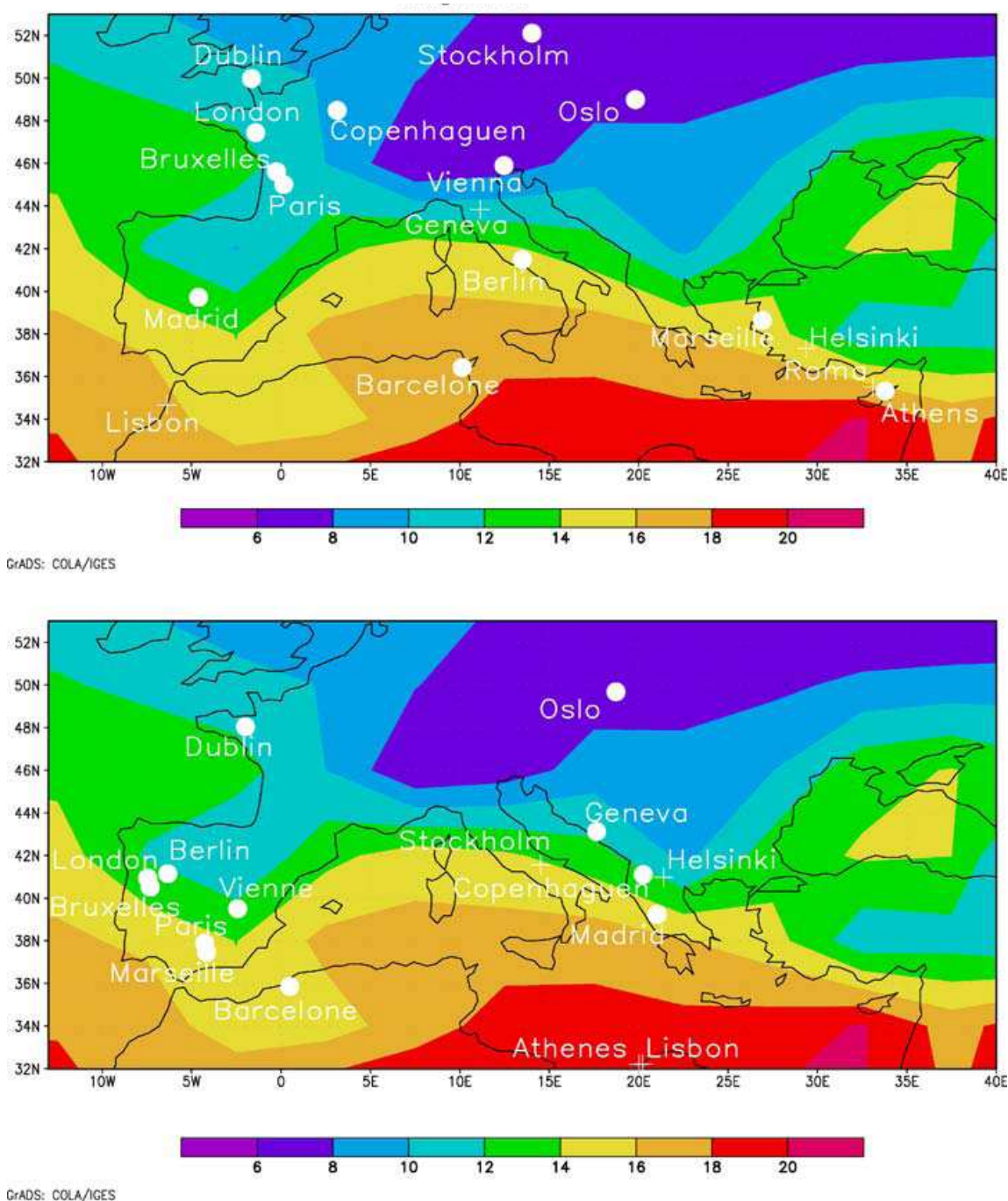
Et analogt klimaområde er et område eller region, der i dag har klima svarende til det, som Danmark forventes at have omkring år 2100. Målet er at bestemme sådanne områder med henblik på at bestemme en klimafaktor mellem den aktuelle ekstremregn i det analoge klimaområde og den aktuelle ekstremregn i Danmark. Metoden svarer dermed omtrent til den metode der anbefales i Skrift 28 til at vælge regnserier til dimensionering på lokaliteter uden lokal regnmåler.

Analoge klimaområder udvælges primært ud fra følgende informationer:

- Danmark er kystnært og lavtliggende område
- Forventede ændringer i temperatur og nedbør

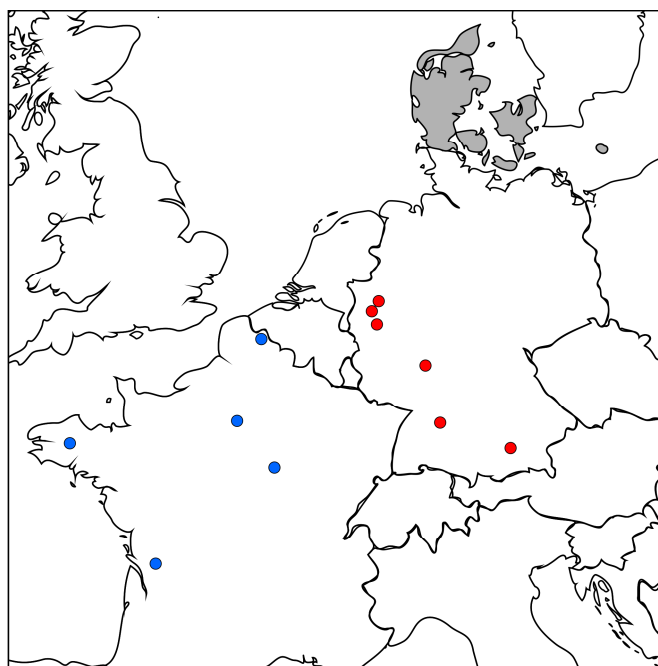
I Hallegatte *et al* (2007) er der udpeget analoge klimaområder for en række hovedstæder i Europa baseret på månedsværdier af temperatur og nedbør. Der er benyttet to klimamodeller, der medfører ret forskellige resultater, se figur 12. Som supplement til informationen i Hallegatte *et al* (2007) er der med den regionale klimamodel der er benyttet under metode 1 og 2 udpeget analoge klimaområder baseret på ekstremnedbør, i praksis en 1 års hændelse.

Der er to regioner, som ud fra klimamodellerne er potentielle kandidater til at være analoge klimaområder. Det ene er de lavtliggende områder i Tyskland, Frankrig, Holland og Belgien mens det andet område er et mere højtliggende område omkring Serbien, Montenegro og Albanien. Den bedste af disse regioner vurderes at være den første, både fordi den er lavtliggende og tæt på Nordsøen og fordi det vil være nemmere at fremskaffe dimensionsgivende regndata fra denne region.



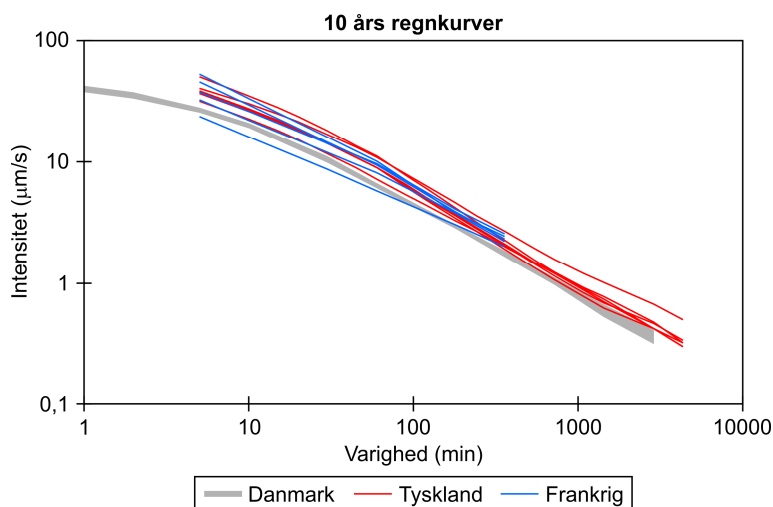
Figur 12 Angivelse af det bedste analoge klima til en række byer baseret på to klimamodeller. En cirkel indikerer at analogen er baseret på både temperatur og nedbør, mens et kryds indikerer, at det ikke har været muligt at finde en sådan analog. Krydset markerer da den bedste analog baseret på temperaturen (Hallegatte et al, 2007).

Der er indsamlet regndata fra områder i Tyskland og Frankrig i samarbejde med einfalt & hydrotec GbR og Insa-Lyon. Materialet fra einfalt & hydrotec GbR er baseret på det tyske forskningsprogram på ekstremregn KOSTRA (Malitz, 2005), mens data fra Frankrig hovedsageligt er baseret på bearbejdningsdata fra 1980'erne opsamlet af Coste og Loudet (1987). De regnsrækker, som er skønnede at være egnede til at indgå i vurderingen, er vist i figur 13. Det drejer sig om følgende lokaliteter: Cognac, Auxerre, Rostrenen, Paris, Lille, Essen, Köln, Düsseldorf, Frankfurt, Stuttgart og Muchen.

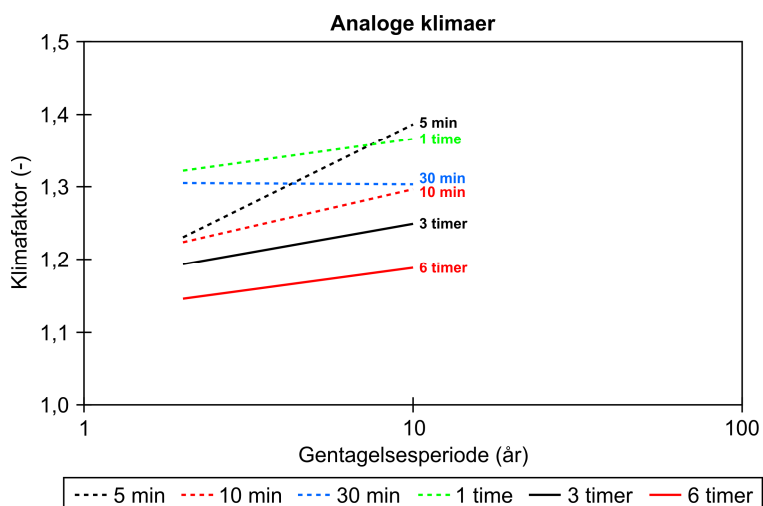


Figur 13 Nedbørsdata fra disse områder indgår i beregningen af klimafaktorer for analoge områder.

Der er generelt kun fremskaffet information svarende til regnrækker for lokaliteterne og kun for gentagelsesperioderne 2 og 10 år. På figur 14 er vist de resulterende regnrækker for gentagelsesperioden 10 år. Det ses, at der generelt er tale om regnrækker, der er moderat højere end det, der generelt gælder for Danmark. På figur 15 er den gennemsnitlige klimafaktor for de forskellige varigheder vist for de to gentagelsesperioder for alle de "analoge regnrækker".



Figur 14 Regnkurver for lokaliteter i Danmark (Skrift 28), Tyskland (røde kurver) og Frankrig (blå kurver) for 10 års gentagelsesperiode



Figur 15 Klimafaktor beregnet baseret på forskellene mellem regnrækkerne i Danmark og i områder med analoge klimaer.

Det fremgår af figur 15, at der for en gentagelsesperiode på 10 år beregnes en klimafaktor på 1,15 - 1,40 afhængigt af varigheden af den dimensionsgivende hændelse.

6 Opsummering og diskussion af resultater

I nærværende kapitel sammenstilles resultaterne fra de tre metoder med henblik på at opnå en samlet vurdering af, hvilke klimafaktorer der bør anvendes for hvilke varigheder og gentagelsesperioder. I tabel 3 er alle de beregnede klimafaktorer opsummeret.

Tabel 3 Skøn over klimafaktorer ved brug af de tre metoder som funktion af gentagelsesperiode og varighed.

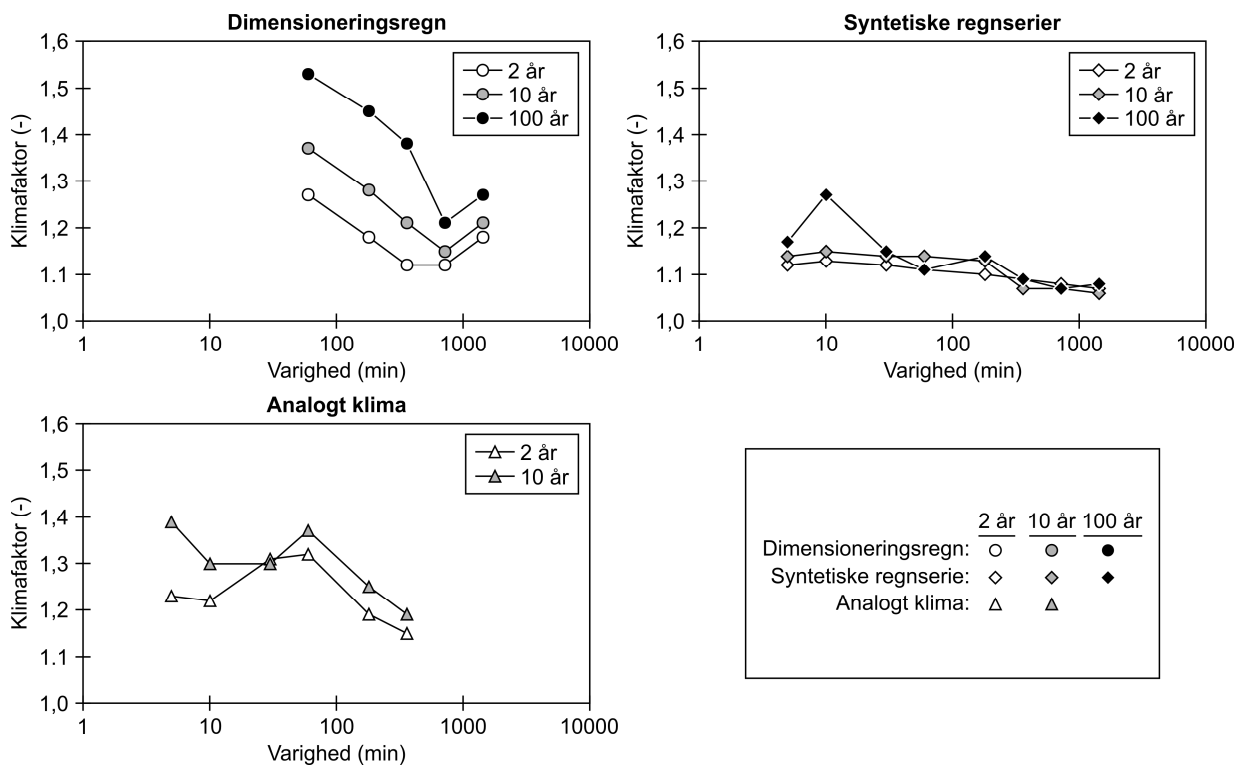
	2 års gentagelsesperiode			10 års gentagelsesperiode			100 års gentagelsesperiode		
	1) Dim.-regn	2) Regn-serier	3) Analogt klima	1) Dim.-regn	2) Regn-serier	3) Analogt klima	1) Dim.-regn	2) Regn-serier*	3) Analogt klima
5 minutter	-	1,12	1,23	-	1,14	1,39	-	1,17	-
10 minutter	-	1,13	1,22	-	1,15	1,30	-	1,27	-
30 minutter	-	1,12	1,31	-	1,14	1,30	-	1,15	-
1 time	1,27	1,11	1,32	1,37	1,14	1,37	1,53	1,11	-
3 timer	1,18	1,10	1,19	1,28	1,13	1,25	1,45	1,14	-
6 timer	1,12	1,09	1,15	1,21	1,07	1,19	1,38	1,09	-
12 timer	1,12	1,08	-	1,15	1,07	-	1,21	1,07	-
24 timer	1,18	1,07	-	1,21	1,06	-	1,27	1,08	-

* Klimafaktorer for 100-års gentagelsesperiode for regnserier er meget usikre, idet resultatet er baseret på at dividere to tal, der hver især er meget usikre, med hinanden. Faktoren er derfor skønnet ud fra en vurdering af klimafaktoren for de højeste fire hændelser i en 100 års simulering.

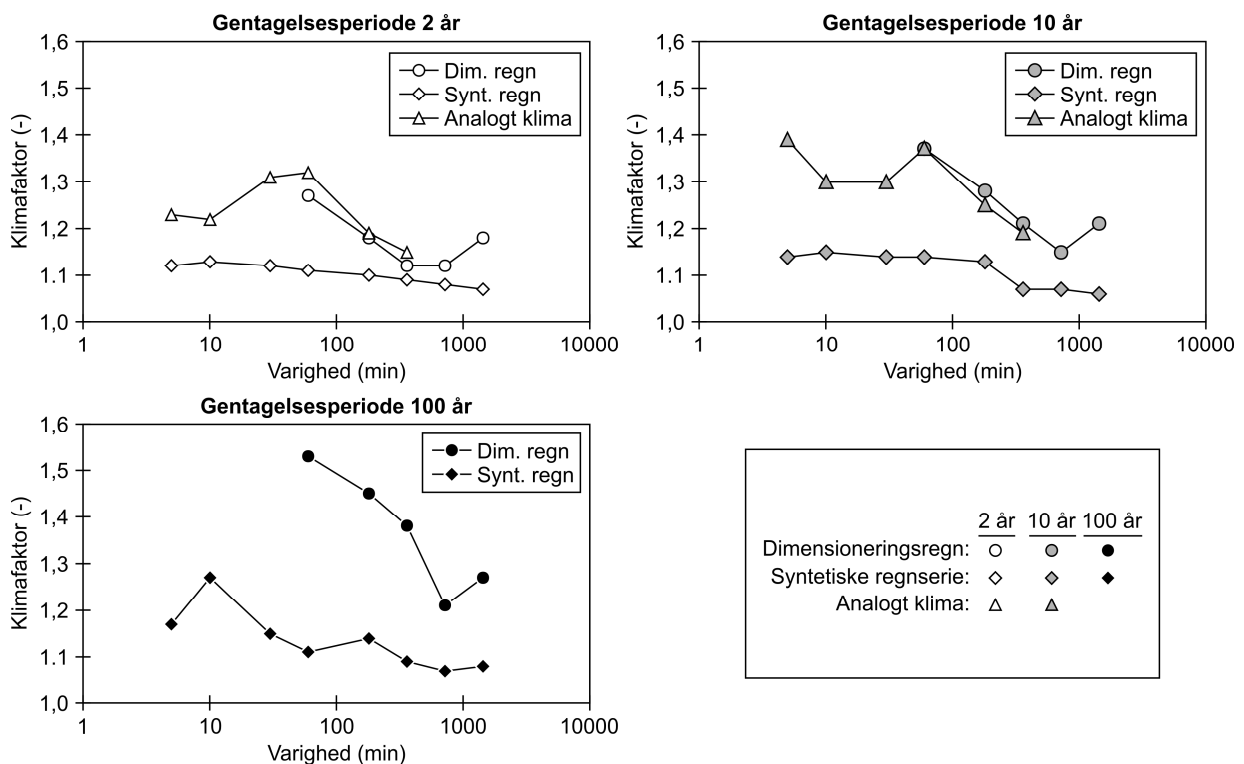
For at hjælpe tolkningen af tabellen er der udarbejdet to sæt af figurer, der viser klimafaktorerne som funktion af henholdsvis gentagelsesperiode og metode, se figur 16 og figur 17.

Figureerne giver følgende informationer:

- Der er systematiske forskelle imellem de tre metoder, således at brug af modellen for dimensioneringsregn generelt giver de højeste klimafaktorer, og brug af modellen for regnserier generelt giver de laveste klimafaktorer.
- Der er generelt god overensstemmelse mellem de beregnede klimafaktorer for modellen for dimensioneringsregn og "analoge klima" metoden.



Figur 16 Klimafaktorer som funktion af varighed opgjort på metode.



Figur 17 Klimafaktorer som funktion af varighed opgjort på gentagelsesperiode.

- Der er generelt en tendens til lavere klimafaktor for stigende varighed. Tendensen er svagere end variationen mellem metoderne og forskellen mellem gentagelsesperioderne.
- Klimafaktoren beregnet på baggrund af regnserier har mindre afhængighed af gentagelsesperiode og varighed end de to øvrige metoder.

Den forskel som optræder mellem de forskellige metoder er udtryk for scenarieusikkerhed. Variationen mellem de resultater der fremkommer ved brug af de forskellige metoderne er derfor udtryk for (en del af) den usikkerhed som er uundgåelig når fremtidens ekstremregn skal beskrives ud fra den nuværende viden.

Der er vanskeligt at foretrække en af metoderne frem for de to andre på baggrund af egenskaber i metoderne. Kvalitativt kan man argumentere for, at en model for en regnserie fokuserer mest på det gennemsnitlige nedbørsmønster og derfor måske bør prioriteres lavt, når formålet er specifikt at bestemme faktorer til ekstreme hændelser. Tilsvarende må det konstateres, at udvælgelsen af "analoge klimaer" pr. definition er subjektiv. Det indebærer indirekte, at hvis der skal fremhæves en metode, der måske er lidt bedre end de andre, må det blive at bruge dimensioneringsregn til at beregne klimafaktorerne.

Der er en tendens til, at klimafaktoren varierer både som funktion af ekstremhændelsens varighed og gentagelsesperiode. Det er vanskeligt at håndtere i forbindelse med afløbstekniske beregninger, specielt ved brug af historiske regnserier. I den forbindelse tyder resultaterne på, at det vil give mere realistiske beregninger af afløbstekniske forhold at anvende metode 3) Analoge klimaområder til at identificere egnede regnserier til afløbstekniske beregninger end at anvende metode 2) syntetiske regnserier.

Som en operationel tilnærmelse foreslås det, at der ved typiske beregninger af afløbssystemers funktion anvendes en enkelt klimafaktor. Klimafaktoren fastlægges ud fra et skøn over afløbssystemets udformning samt det serviceniveau som afløbssystemet skal leve op til. I særlige tilfælde kan man udføre beregninger med varierende klimafaktorer.

På baggrund af undersøgelsen foreslås det generelt at anvende de klimafaktorer, som er angivet i tabel 4. De foreslåede klimafaktorer er et vægtet gennemsnit af resultatet af undersøgelsen, idet der er lagt mest vægt på varighederne 1 og 3 timer.

Tabel 4 Forslag til klimafaktorer ved dimensionering og analyse af afløbssystemer i henhold til metoderne i Skrift 27 for en fremskrivningshorisont på 100 år.

	2 år	10 år	100 år
Alle varigheder	1,2	1,3	1,4

7 Konklusion

Undersøgelsens resultater kan sammenfattes således:

1. Problemstillingen er undersøgt så godt som muligt med de usikkerheder, der er uundgåelige ud fra den nuværende viden om regns egenskaber og klimaændringer.
2. De usikkerheder, der er knyttet til den regionale klimamodel, betyder, at det ikke er muligt at beskrive forskelle i klimaændringerne imellem forskellige dele af landet. Anbefalingerne på baggrund af undersøgelsen bliver derfor i form af nationale estimater for klimaændringer for ekstremregn.
3. Alle de afrapporterede resultater er baseret på simuleringer med en enkelt klimamodel. Når der fremkommer flere klimamodeller, bør undersøgelsens resultater verificeres.
4. Klimafaktoren stiger med stigende gentagelsesperiode og faldende varighed af hændelsen. Betydningen af gentagelsesperiode er størst.
5. Under antagelse af, at den anvendte klimamodel er retvisende, er det rimeligt sikkert, at klimafaktoren ligger i intervallet 1,1 - 1,5 for gentagelsesperioder mellem 2 år og 100 år og varigheder mellem 10 minutter og 24 timer. Den anbefalede værdi for undersøgelser af kloakkers funktionspraksis vil ofte være 1,3.

I konkrete anvendelser bør man fastsætte klimafaktoren i forhold til den tilgængelige information af formålet med det konkrete projekt, herunder hvor lang en tidshorisont der planlægges efter. I tabel 5 er angivet forslag til klimafaktorer ved typiske anvendelser under antagelse af en tidshorisont på 100 år. Det er valgt ikke at medtage en beskrivelse af afhængigheden af varighed fordi den vil være vanskelig at håndtere i praksis, især ved analyser med regnserier.

Tabel 5 Forslag til klimafaktorer ved dimensionering og analyse af afløbssystemer i henhold til metoderne i Skrift 27 for en forventet teknisk levetid på 100 år.

	2 år	10 år	100 år
Klimafaktor	1,2	1,3	1,4

8 Referencer

- Arnbjerg-Nielsen, K. (2006): Klimaeffekters betydning for ekstremregn og dermed funktionen af afløbssystemer. Litteraturstudie. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 9, 2006. ISBN 87-7052-001-1
- Arnbjerg-Nielsen, K., Madsen, H., og Mikkelsen, P.S. (2006): Regional variation af ekstremregn i Danmark - ny bearbejdning (1979-2005). Skrift 28. Spildevandskomiteen, Ingeniørforeningen i Danmark.
- Arnbjerg-Nielsen, K. og Onof, C. (2006): Quantification Of Climate Change Impacts On High Resolution Design Rainfall For Urban Areas. Paper presented at 7th International Workshop On Precipitation In Urban Areas. Extreme Precipitation, Multisource Data Measurement and Uncertainty. 7-10 December, 2006, St. Moritz, Switzerland.
- Berndtsson, R., og Niemczynowicz, J. (1988): Spatial and temporal scales in rainfall analysis – some aspects and future perspectives. *Journal of Hydrology*, 100, 293-313.
- Christensen, O.B., Christensen, J.H., Machenauer, B. and Botzet, M. (1998): Very-high resolution regional climate simulations over Scandinavia – present climate. *Journal of Climate*, 11, 3204-3229.
- Coste, C. and Loudet, M. (1987): *L'assainissement en milieu urbain ou rural - Tome 1 : Les réseaux et les ouvrages de retenue*. Paris (France): Editions du Moniteur, 240 p. ISBN 2.281.11094.X.
- Hallegatte, S., Hourcade, J.C., Ambrosi, P. (2007): Using climate analogues for assessing climate change economic impacts in urban areas. *Climatic Change*, 2007, 82, 47-60.
- Harremoës, P., Pedersen, C.M., Laustsen, A., Sørensen, S., Laden, B., Friis, K., Andersen, H.K., Linde, J.J., Mikkelsen, P.S. og Jakobsen, C. (2005): Funktionspraksis for afløbssystemer under regn. Skrift 27, Spildevandskomiteen, Ingeniørforeningen i Danmark. Downloaded fra www.ida.dk september 2007.
- Jørgensen, A.T., Linde, J.J., Christensen, O.B. and Mikkelsen, P.S. (2006): Future Extreme Precipitation In Denmark: An Analysis Based On Future Climate Scenario Simulation With A 12x12 Km Regional Climate Model. Paper presented at 7th International Workshop On Precipitation In Urban Areas. Extreme Precipitation, Multisource Data Measurement and Uncertainty. 7-10 December, 2006, St. Moritz, Switzerland

- Madsen, H. (1998): Ekstremregn i Danmark. Statistisk bearbejdning af nedbørsdata fra Spildevandskomiteens regnmålersystem 1979-96. Institut for Strømningsmekanik og Vandressourcer og Institut for Miljøteknologi, Danmark Tekniske Universitet. ISBN: 87-89220-40-4.
- Malitz, G. (Ed.) (2005): KOSTRA-DWD-2000. Starkniederschlagshöhen für Deutschland (1951 – 2000) - Grundlagenbericht. Abteilung Hydrometeorologie, Deutscher Wetterdienst.
- Mikkelsen, P.S., Madsen, H., Arnbjerg-Nielsen, K., Jørgensen, H.K., Rosbjerg, D. og Harremoës, P. (1999): Regional variation af ekstremregn i Danmark. Skrift 26, Spildevandskomiteen, Ingeniørforeningen i Danmark. ISBN 87-89220-49-8
- Onof, C. og Arnbjerg-Nielsen, K. (2008): Quantification of anticipated future changes in high resolution design rainfall for urban areas. Submitted to *Atmospheric Research*.
- Wallingford (2005): TSRSim. Statistical Time Series Rainfall Data Software. Produktbeskrivelse downloaded fra <http://ftp.hrwallingford.co.uk/software/tsrsim.html>, september 2007

Bilag A Organisatorisk ramme

Nærværende skrift er en sammenfatning af et udviklingsprojekt, der er udført af en arbejdsgruppe bestående af følgende personer:

Karsten Arnbjerg-Nielsen,	COWI A/S (Efter 1/2- 2008 Institut for Vand og Miljøteknologi, DTU)
Christian Onof,	Imperial College, London
Wilhelm May,	Danmarks Meteorologiske Institut.

Udviklingsprojektet var finansieret af følgende organisationer:

DANVA (via F&U kontoen, projekt 4/2006)
Københavns Energi
Odense Vandselskab
Aalborg Kommune
Århus Kommune Vand og Spildevand
Hillerød Kommune
Helsingør Kommune.

Arbejdet har været fulgt og resultaterne fremlagt og godkendt af en styregruppe med følgende sammensætning:

Morten Haugaard Thomsen,	DANVA (Indtil sommeren 2007)
Niels Bent Johansen,	Københavns Energi
Per Hallager,	Odense Vandselskab
Bo Laden,	Aalborg Kommune
Anne Laustsen,	Århus Kommune Vand og Spildevand
Per Sulsbrück,	Hillerød Kommune (Indtil sommeren 2007)
Dines Thornberg,	Helsingør Kommune (Indtil sommeren 2007)
Kristian Friis,	DANVA (Fra sommeren 2007)

Heidi Taylor,	Hillerød Kommune (Fra sommeren 2007)
Mette Lorenzen,	Helsingør Kommune (Fra sommeren 2007)
Mogens Kaasgaard,	Miljøstyrelsen
Dan Rosbjerg,	Danmarks Tekniske Universitet
Carsten Jacobsen,	Krüger
Karsten Arnbjerg-Nielsen,	COWI (sekretær)-

I forbindelse med udarbejdelsen af skriftet har rapporten været forelagt Spildevandskomiteens forretningsudvalg og Regnudvalget. Regnudvalget har generelt kommenteret rapporten og har specielt udpeget to personer til at kommentere skriftet mere detaljeret, blandt andet for at sikre konsistens med tidligere skrifter. Disse personer er:

Peter Steen Mikkelsen, Institut for Vand og Miljøteknologi, DTU

Carsten Jacobsen, Krüger A/S