

Sammenligning af klimafaktorer udarbejdet af Spildevandskomiteen og KlimaAtlas og anbefaling af praksis for dimensionering og analyse af afløbssystemer

Ida Bülow Gregersen, Rambøll

Karsten Arnbjerg-Nielsen, DTU

Rasmus Anker Pedersen, DMI

Resumé

Dette fælles notat fra Spildevandskomiteen (SVK) og DMI sammenligner og forklarer forskellene på de klimafaktorer for ekstremnedbør, der findes i SVKs Skrift 30 og DMIs KlimaAtlas. Samlet set, anbefales det fortsat at benytte de branchespecifikke anbefalinger fra SVKs skrifter i forbindelse med dimensionering af afløbssystemer. Sammenligningen af klimafaktorerne viser, at SVKs nuværende anbefalinger i rimelig grad repræsenterer de nye udledningsscenerier fra KlimaAtlas. På lokal skala kan der være mindre forskelle mellem KlimaAtlas og SVKs Skrift 30; klimafaktorerne i SVKs anbefalinger er landsdækkende tal baseret på en samlet ekspertvurdering på tværs af udledningsscenerier og modelusikkerheder. Landsdækkende tal anbefales også for lokale projekter. DMI og Spildevandskomiteen vil løbende sikre at det bedst mulige videnskabelige grundlag for klimatilpasning indarbejdes i praksis, og resultaterne fra KlimaAtlas vil blive inddraget i en kommende opdatering af klimatilpasningsscenerierne fra Spildevandskomiteen.

Baggrund

Med DMIs KlimaAtlas er vores viden om klimaforandringeres effekt på bl.a. temperatur og nedbør i Danmark blevet styrket, f.eks. kan informationer om fremtidens klima hentes på kommunalt niveau. DMI og Miljøstyrelsen har i forbindelse med KlimaAtlas udgivet 'Vejledning i anvendelse af udledningsscenerier' (DMI 2018). Vejledningen indeholder generelle anbefalinger for hvordan klimafremskrivninger anvendes i forbindelse med planlægning af f.eks. infrastruktur i Danmark (herunder blandt andet fjernvarme, jernbaner og veje). Nærværende notat sammenligner de nye informationer fra det nationale KlimaAtlas med de hidtidige anbefalinger fra Spildevandskomiteen vedrørende klimafaktorer i forbindelse med dimensionering og analyse af afløbssystemer under kraftig regn. Formålet er at sikre, at klimafaktorer anvendes på en konsistent måde på tværs af forskellige aktører og forskellige typer af analyser. Notatet er udarbejdet i forbindelse med bl.a. det VUDP-støttede forsknings- og innovationsprojekt VÆRDI (DANVA 2020) og i dialog med og under godkendelse af både Spildevandskomiteens faglige udvalg og DMI.

Forskellen mellem udledningsscenerier og klimatilpasningsscenerier

Udgangspunktet for alle beregninger af fremtidens klima, er scenarier for den forventede fremtidige udledning af drivhusgasser i atmosfæren. Disse udledningsscenerier er baseret på forskellige bud på verdenssamfundets udvikling, herunder befolkningstilvækst samt økonomisk og teknologisk udvikling. De forskellige scenarier danner grundlaget for beregninger med en lang række modeller af klimasystemet, såkaldte klimamodeller. Modellerne adskiller sig ved, at de indeholder forskellige

matematiske formuleringer af centrale fysiske processer i klimasystemet, og deres beregninger af klimaet i Danmark kan derfor være forskellige. Modellerne har forskellige styrker og svagheder, men ved at kombinere resultaterne fra mange modeller opnår man bedre viden om klimaændringernes effekter, idet de forskellige modelresultater giver en indikation på, hvor sikker vores viden om klimaændringerne er for hvert udledningsscenario. Beslutninger træffes derfor ud fra et valgt udledningsscenario¹.

Ved opbygning af klimatilpasningsscenerier, f.eks. til brug for dimensionering af afløbssystemer, er der flere faktorer, der spiller ind på hvor sikker vores viden er. Den væsentligste ekstra faktor er, at klimatilpasningsscenerier ikke tager udgangspunkt i et enkelt konkret udledningsscenario, men kigger på variationerne i modelresultater på tværs af forskellige udledningsscenerier. Endvidere er anvendelsen af de to typer af scenarier grundlæggende forskellig: udledningsscenerier er rettet mod et fælles globalt reduktionsmål, mens man i forbindelse med klimatilpasning arbejder på mere lokal skala, hvor konkrete anlæg skal kunne holde til en bestemt belastning. I den situation er det mere vigtigt at beskrive hele spektret af mulige udfald på tværs af alle udledningsscenerierne. *Derfor består et klimatilpasningsscenario af en kombination af et eller flere udledningsscenerier samt en vurdering af, hvor sikker man kan være på, at det konkrete anlægs belastning overskrides.* Det gælder specielt for vurdering af ekstremregn, som modellerne har særdeles svært ved at beskrive, og hvor usikkerheden derfor er særligt stor.

I det følgende beskrives de anbefalinger der er lavet fra hhv. Spildevandskomiteen og fra DMI. Udgangspunktet for DMIs anbefalinger er at lave anbefalinger på tværs af alle dele af samfundet, mens Spildevandskomiteens anbefalinger er rettet specifikt mod afløbssystemer i byer. Det giver nogle mindre forskelle både i forhold til hvilke klimafaktorer der konkret anbefales og på hvilken baggrund de udvælges. Det skal dog understreges, at formålet i begge tilfælde er at sikre, at der hverken over- eller underdimensioneres, når klimaændringerne inddrages i vurdering af nuværende og fremtidige belastninger af konkrete anlæg.

Resultater fra Skrift 29 og 30

I 2008 udgav Spildevandskomiteen med Skrift 29 (Spildevandskomiteen 2008) de første direkte anbefalinger omkring valg af klimafaktorer i forbindelse med dimensionering af afløbssystemer. På det tidspunkt opererede FN's klimapanel IPCC med de såkaldte SRES-scenerier (se fodnoten side 1). Dengang var der færre simuleringer og klimamodellerne var stadig i et tidligt stadie. Skrift 29 var baseret på en statistisk analyse af en enkelt simulering af et ret kraftigt klimascenario (SRES A2) leveret af DMI som led i det europæiske PRUDENCE projekt (Christensen og Christensen 2007).

I 2014 udgav Spildevandskomiteen Skrift 30 (Spildevandskomiteen 2014) med opdaterede anbefalinger til valg af klimafaktorer i forbindelse med dimensionering af afløbssystemer bl.a. med resultaterne fra ENSEMBLES projektet (van der Linden og Mitchell 2009), der er baseret på SRES-scenariet A1B. Der blev dog også inddraget andre resultater, herunder modelkørsler baseret på

¹ Gennem tiden har klimamodellering taget udgangspunkt i forskellige sæt af udledningsscenerier. Der udkommer opdaterede scenarier med samme cyklus som IPCCs hovedrapporter; hver rapport baseres på et nyt sæt. Scenerierne, der blev udviklet til den fjerde hovedrapport fra 2007, kaldes SRES scenerierne (Nakićenović og Swart 2000), og bestod af 26 fremskrivninger samlet i 4 klasser, benævnt A1, A2, B1 og B2. I 2011 udgaves et nyt sæt scenarier kaldet RCP (Van Vuuren et al. 2011), navngivet efter ændringen i energibalancen ved toppen af atmosfæren i år 2100. Scenerierne benævnes RCP efterfulgt af ændringen i energien målt i W/m². Der arbejdes typisk med scenarier i intervallet RCP2.6 – RCP8.5. I den kommende serie af hovedrapporter anvendes et nyt sæt af scenarier, benævnt SSP (Riahi et al. 2017).

forskellige RCP-scenarier og et enkelt, meget pessimistisk scenarium hvor den globale temperaturstigning er på 6°C. Særligt modelusikkerheden, der er givet af forskelle i modellernes opbygning og parameterisering blev søgt illustreret og estimeret. Spredningen blandt modellernes projektering af ændringen i ekstremt regn er rigtig stor, og den stiger med gentagelsesperioden (se figur 1). Det var en vigtig erkendelse, at der ikke var viden nok til at beskrive en regional variation i klimaændringer på ekstremt regn i Danmark, fordi usikkerheden på viden om klimaforandringerne på lang planlægningshorisont og for sjældne regnhændelser var for stor. De resulterende klimafaktorer afhænger mere af hvilken model der anvendes end hvilket udledningsscenario som driver modellerne. På landsplan var det muligt at beskrive usikkerheden på klimaændringer på døgnnedbør på gentagelsesperioder op til ca. 0.2 år i form af en statistisk fordeling. For kortere varigheder og højere gentagelsesperioder var det muligt at skønne en middelværdi for ændringerne, ligesom det var muligt at beregne en usikkerhed på middelværdien. Det er ikke muligt at udregne den faktiske usikkerhed for kortere varighed og højere gentagelsesperiode, det er blot kendt at den er væsentligt større end usikkerheden på middelværdien. Det var ikke muligt at beskrive og kvantificere usikkerheden matematisk fordi den grundlæggende fysiske beskrivelse af processerne i klimamodellerne ikke var præcis nok.

Skrift 30 konkluderede, at de i Skrift 29 fastlagte faktorer stadig repræsenterede det mest kvalificerede bud på klimaændringerne indflydelse på ekstremregnen over en 100 års periode. Dog fastlagde Skriftet også høje faktorer, som bør anvendes både når konsekvenserne ved underdimensionering er uforholdsmæssigt høje, samt ved robusthedsanalyser. Disse to sæt af faktorer udgør dermed to sektorspecifikke klimatilpasningsscenarier for dimensionering af afløbssystemer, inklusiv terrænbaserede løsninger.

Resultater fra Klimaatlas

Klimaatlas indeholder en lang række indikatorer om fremtidens klima i Danmark. Med fokus på ekstremregn er der to relevante hovedspor i offentliggørelsen af data:

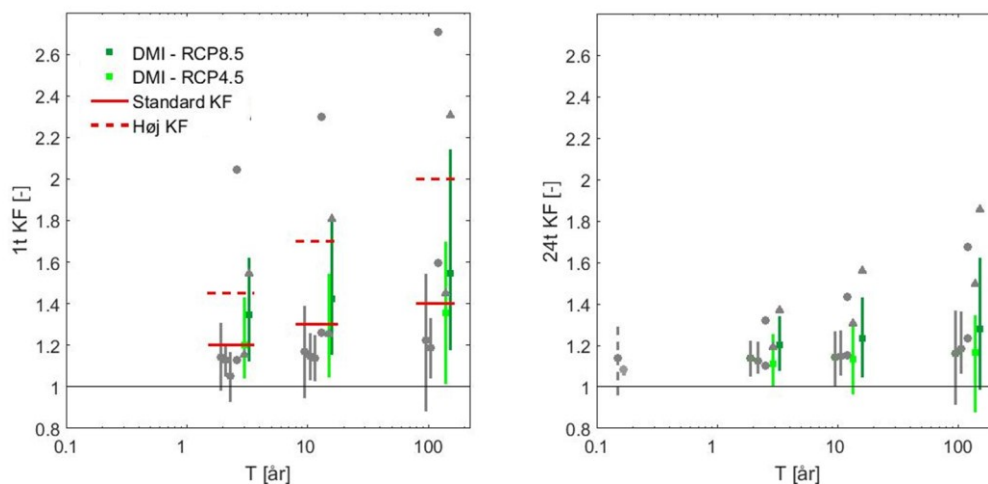
- 1) Klimafaktorer for ekstreme regnhændelser med gentagelsesperioder mellem 1 og 100 år, samt for varigheder på 1 time og 1 døgn, baseret på op til 57 forskellige modelberegninger og to forskellige udledningsscenarier.
- 2) En kommende opdatering vha. nye simuleringer, der inddrager ekstra detaljerede, højtopløste modeller, der er specielt egnede til at modellere ekstremregn.

Resultaterne for den første del er udgivet i 2019-20, mens de andre resultater forventes udgivet i slutningen af 2021.

De nye resultater vil, samlet set, give vigtig viden om ekstremnedbør og med stor sandsynlighed give anledning til at revurdere klimafaktorer også for afløbssystemer. De anvendte klimamodeller til beregning af 1) har samme grundlæggende struktur som tidligere, hvilket gør, at modellerne som udgangspunkt har vanskeligt ved at beregne ekstremregn. Der er i Klimaatlas udgivet klimafaktorer både nationalt og for hver kommune separat. I forbindelse med dimensionering af afløbssystemer anbefaler både DMI og Spildevandskomiteen, at de branchespecifikke anbefalinger fra Skrifterne anvendes, men resultaterne fra Klimaatlas vil blive inddraget i en opdateret vurdering af klimatilpasningsscenerierne i regi af Spildevandskomiteen. For andre sektorer henvises til DMI (2018) for en konkret anvisning i hvordan resultaterne anvendes.

Figur 1 nedenfor viser resultaterne af simuleringerne af de nye udledningsscenerier, der er udgivet i Klimaatlas. De er sammenlignet med de resultater der blev anvendt i forbindelse med anbefalingerne i Skrift 30 og er angivet på samme måde, dvs. hver simulering medfører et skøn på en

klimafaktor på nationalt plan. De nye simuleringer muliggør nu beregning af variationen i klimafaktorerne ved det høje udledningsscenarie (RCP8.5), ligesom det tidligere har været muligt at beregne variationen for det "gamle" A1B scenarium anvendt i skrift 30. Figuren viser at konfidensintervallerne for RCP 4.5 og det gamle scenarium A1B scenarium overlapper i meget høj grad, men der ses også et stort overlap mellem RCP 4.5 og RCP 8.5. Dette indikerer, at det ikke er lige så vigtigt for klimatilpasningsscenariet hvilket udledningsscenarium som man baserer sig på, det er vigtigere at have mange modelsimulationer for at kunne vurdere sikkerheden af viden på klimafaktorerne.



Figur 1: Klimafaktorer (KF) for ekstremregn af 1 times (venstre) og 24 timers (højre) varighed. Klimafaktorerne er opjusteret til en fremskrivningshorisont på 100 år under antagelse af en lineær sammenhæng mellem planlægningsperiodens længde og klimafaktoren. Datagrundlaget fra Skrift 30 (gråt), udvidet med de nyeste data fra KlimaAtlas (RCP 4.5 lysegrøn, RCP 8.5 mørkegrøn). De vandrette røde linjer er gældende anbefalinger fra Skrift 30. Konfidensintervallerne fra Skrift 30 (grå) og KlimaAtlas (grøn) repræsenterer hhv. 68% og 80% intervaller. Variationen repræsenterer hhv. klimamodellerne variation for landsgennemsnittet og variationen over landet af fraktillerne blandt klimamodellerne. For yderligere information henvises til baggrundsnotaterne.

Der er således god overensstemmelse mellem de overordnede anbefalinger på baggrund af DMIs KlimaAtlas og Spildevandskomiteens Skrift 30. Den primære forskel i klimafaktor synes at være hvorvidt disse beregnes og afrapporteres på kommuneniveau eller på nationalt niveau. Der henvises til Bilag 1 for en diskussion af klimafaktorens variation over Danmark samt mellem forskellige klimamodeller.

Konklusion og anbefaling

Det VUDP-støttede forsknings- og innovationsprojekt VÆRDI vil sammen med aktiviteterne i forbindelse med KlimaAtlas give anledning til en ny anbefaling af klimafaktorer for dimensionsgivende regn for afløbssystemer. Dette forventes udgivet i 2022. I forhold til disse fremtidige anbefalinger kan det på nuværende tidspunkt i forbindelse med dimensionering og analyse af afløbssystemer konkluderes:

- I forbindelse med fastlæggelse af klimafaktorer skal man udarbejde klimatilpasningsscenarier. Disse vil bestå af en kombination af et eller flere udledningsscenarier afhængigt af hvad der skal klimatilpasses. De klimafaktorer som Spildevandskomiteen anbefaler i dag, understøttes af de nye beregninger fra KlimaAtlas.
- Der er generelt god overensstemmelse mellem de anbefalinger som DMI og MST har udarbejdet til anvendelse på infrastruktur generelt og de anbefalinger som Spildevandskomiteen har udarbejdet til brug på afløbssystemer. De beregninger, der er

udført som led i Klimaatlas, bekræfter de antagelser som er blevet gjort hidtil af Spildevandskomiteen omkring fastsættelse af klimafaktorer. Den væsentligste forskel er at anbefalingen af klimafaktoren til infrastrukturprojekter sker på kommuneniveau i Klimaatlas men på nationalt niveau i Skrift 30.

- Det anbefales fortsat at anvende de landsdækkende faktorer som er udgivet af Spildevandskomiteen, til beregning af klimatilpasningstiltag til afløbssystemer. Det skyldes dels at vurderinger af den overordnede samfundsøkonomiske nytte af klimatilpasning af afløbssystemer er foretaget på nationalt niveau og dels at kommune- og vandoplandsgrænser i mange tilfælde gør det vanskeligt at vælge klimafaktorer til analyser af konkrete afløbssystemer.
- DMI og Spildevandskomiteen vil løbende sikre at det bedst mulige videnskabelige grundlag for klimatilpasning indarbejdes i praksis. Det betyder, at beskrivelsen af såvel det nuværende klima som klimaændringer løbende bliver revideret. Det betyder ikke at beslutninger om klimatilpasning bør udskydes, men tværtimod at der bør være fokus på, så hurtigt som muligt, at tage robuste beslutninger ud fra det bedst mulige grundlag, man kan tilvejebringe ud fra en afvejning af konsekvenserne af såvel under- som overdimensionering af tiltag.

Referencer

Christensen, J.H og Christensen O.B. 2007. A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century, *Climatic Change*, 81 (2007)

DANVA. 2020. VÆRktøjer og regndata til Dimensionering af fremtidens klimatilpassede afløbssystemer. Tilgået februar 2021 på

<https://www.danva.dk/viden/vudp/projektuddelinger/værdi/>

DMI. 2018. Vejledning i anvendelse af udledningsscenarioer. Udarbejdet af DMI i samarbejde med MST. September 2018, København. Downloaded februar 2021 fra

https://www.dmi.dk/fileadmin/user_upload/Bruger_upload/Raadgivning/Vejledning_i_anvendelse_af_udledningsscenarioer.pdf

Hansen, E.S.R. 2020. Geographical variation in climate model simulations of changes in extreme precipitation in Denmark. MSc-thesis, Technical University of Denmark. Lyngby.

Nakicenovic, N. og R. Swart (eds.). 2000. Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 pp

Riahi, K. et al. 2017. The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42, 153-168.

Spildevandkomiteen. 2008. Forventede ændringer i ekstremregn som følge af klimaændringer.

Downloaded februar 2021 på https://ida.dk/media/2960/svk_skrift29_final.pdf

Spildevandkomiteen 2014. Opdaterede klimafaktorer og dimensionsgivende regnintensiteter.

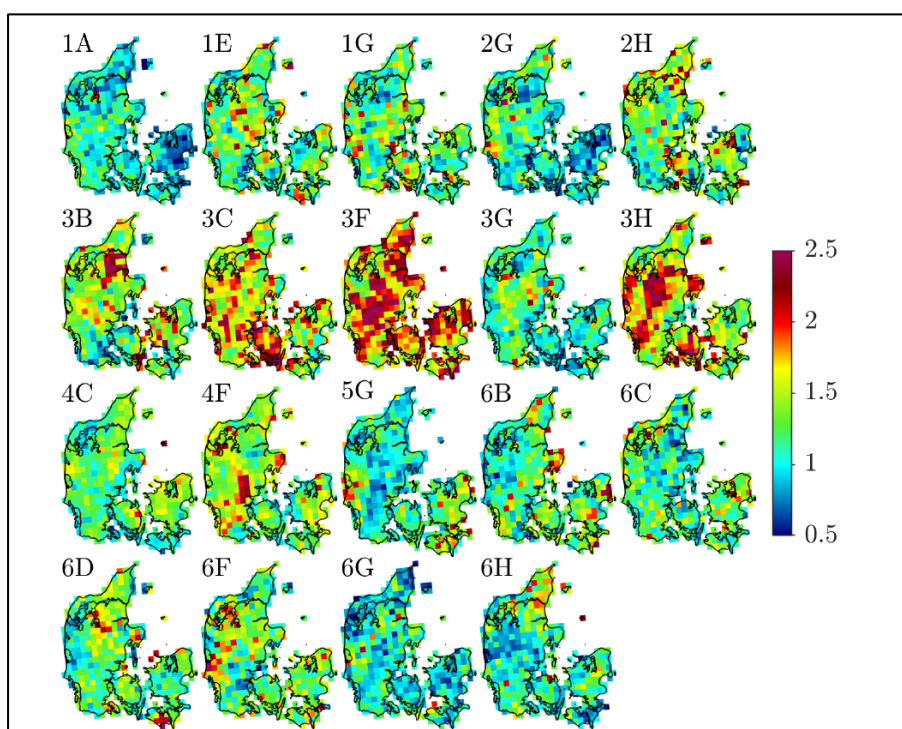
https://ida.dk/media/2994/svk_skrift30_0.pdf

van Vuuren, D.P. et al. 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109(1-2), 5-31.

van der Linden, P. og Mitchell, J.F.B. (Eds) (2009). ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Center. Exeter, UK.

Bilag 1: Eksempel på beregnede klimafaktorer

På figur 2 er angivet et eksempel på beregnede klimafaktorer for Danmark for 19 klimamodeller. Der er store variationer også på korte afstande og samlet set indikerer figuren, at klimafaktorerne mere afhænger af den konkrete modelkørsel end af forskelle imellem forskellige geografiske lokaliteter indenfor hver modelsimulering. Det samlede gennemsnit for klimafaktorerne for de 19 klimamodeller er i øvrigt præcist 1,3, svarende til Spildevandskomiteens anbefaling.



Figur 2. Eksempel på beregnede klimafaktorer for 1 times varighed for 10 års gentagelsesperiode for 19 klimamodeller for et udledningsscenario svarende til RCP8.5. Fremskrivningshorisont fra 1981-2005 til 2075-2099. Der ses at være en væsentlig forskel på resultaterne, både i form af den regionale fordeling og i form af variation mellem modellerne. Forskellen mellem modelsimuleringerne ser dog ud til at være større end forskellen mellem lokaliteter for en given modelsimulering. Figuren er kopieret fra Hansen (2020).