

FRA KLIMAMODELLER TIL HYDROLOGISKE MODELLER OG KLIMAEFFEKTER. HVOR LIGGER DE STØRSTE USIKKERHEDER?

Professor Jens Christian Refsgaard
GEUS
jcr@geus.dk

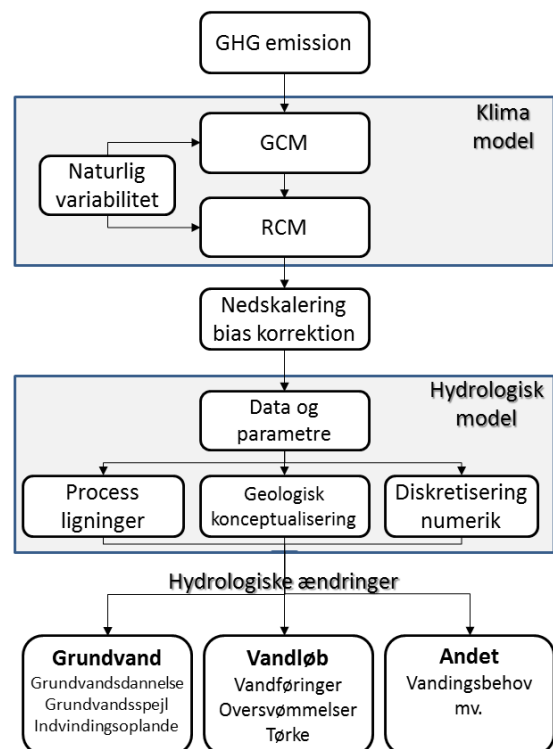
Baggrund og formål

Formålet med indlægget er at præsentere viden om hvordan klimaeffekter på vandressourcer kan beregnes og hvor de vigtigste usikkerhedskilder ligger. Indlægget er baseret på erfaringer og resultater fra en række nyere forskningsprojekter.

Resultater

De vigtigste skridt i beregninger af ændringer i fremtidige hydrologiske forhold forårsaget af ændringer i udledning af drivhusgasser er følgende (se figuren):

- Der skal tages udgangspunkt i et eller flere scenarier for udledning af drivhusgasser (benævnt Representative Concentration Pathways i den nye IPCC Assessment Report fra 2013). Et typisk valg har hidtil været A1B.
- Klimamodeller, bestående af en global model (GCM) som driver en regional model (RCM), benyttes til at lave projektioner af det fremtidige klima svarende til et emissions-scenarium. Klimaprojektionerne vil indeholde en betydelig naturlig klima-variabilitet, ligesom det nuværende klima gør.
- Output fra klimamodeller indeholder en betydelig bias sammenlignet med det observerede klima. Samtidig har klimadata typisk en rumlig opløsning på 25-50 km. Derfor er det nødvendigt at nedskalere og bias korrigerer klimamodellers output, før de benyttes som input i hydrologiske modeller. Der findes en række forskellige metoder hertil, hvoraf to principielt forskellige typer er i) *indirekte metoder* der benytter klimamodellerne til at beregne ændringer i klima, som så multipliceres/adderes til observerede klimadata; og ii) *direkte metoder* der benytter data fra klimamodellerne, men korrigerer dem ud fra den bias, der er fundet ved sammenligning med observationer.
- En hydrologisk model benyttes til at simulere grundvand, vandføringer, mv. med input fra det nuværende klima og det fremtidige klima. Herfra beregnes effekten af klimaændringer.



I praksis foretages ikke beregninger af alle elementer i alle studier. Hydrologiske studier benytter fx oftest bias korrigerede klimaprojektioner, som er produceret i tidligere forskningsprojekter. Seaby (2013) har fx genereret datasæt på 10 km grid for bias korrigerede klimadata for 11 klimamodeller fra ENSEMBLES projektet, som har været og fortsat kan anvendes til

hydrologiske studier i Danmark.

Alle beregningsskridt indeholder kilder til usikkerhed, som forplanter sig ned gennem beregningerne. I forbindelse med anvendelse af hydrologiske modeller vil der derfor være de sædvanlige usikkerheder på data, modelparametre, procesbeskrivelser (ligninger), geologisk konceptualisering og numeriske approksimationer, som kommer oveni usikkerhederne fra klimamodeller og metoder til bias korrektion. Forplantningen af usikkerheder gennem beregningselementerne fra emissionsscenarioer til hydrologiske ændringer bliver derfor ofte benævnt usikkerhedskaskaden. Erfaringerne viser, at forskellige usikkerhedskilder kan være dominerende i forskellige situationer. Ofte vil usikkerheder fra klimamodeller være den væsentligste, men i nogle situationer vil den geologiske usikkerhed være dominerende og klimausikkerheden være uden praktisk betydning.

Konklusion og perspektivering

Vi har nu tilstrækkelig viden til, at der kan gennemføres meningsfulde analyser af klimaeffekter på vandressourcer, og der findes derfor ikke længere gyldige faglige argumenter for at undgå at lave sådanne vurderinger.

Studier af klimaeffekter og mulige klimatilpasningstiltag er fundamentalt forskellige fra traditionelle analyser af forhold under det nuværende klima, fordi usikkerhederne får større betydning. På kort sigt (de næste 30 år) vil den mest markante effekt ofte være større usikkerhed. Derfor er det afgørende vigtigt at inkludere usikkerheder i analyserne. Eftersom det ikke er praktisk muligt altid at analysere for usikkerheder i alle beregningselementer i usikkerhedskaskaden, er det væsentligt at vurdere hvad der er de dominerende usikkerheder i konkrete situationer.

I langt de fleste situationer vil den væsentligste usikkerhedskilde være, at forskellige klimamodeller genererer meget forskellige projektioner af det fremtidige klima. Derfor bør der altid benyttes resultater fra flere klimamodeller.

Litteraturhenvisninger

- Hawkins E, Sutton R (2011) The potential to narrow uncertainty in projections of regional precipitation change. *Climate Dynamics*, 37, 407-418.
- Henriksen HJ, Højberg M, Olsen M, Seaby LP, van der Keur P, Stisen S, Troldborg L, Sonnenborg TO, Refsgaard JC (2012) Klimaeffekter på hydrologi og grundvand (Klimagrundvandskort). GEUS Rapport 2012/116 <http://www.klimatilpasning.dk/media/340310/klimagrundvandskort.pdf>.
- Kidmose J, Refsgaard JC, Troldborg L, Seaby LP, Escrivà MM (2013) Climate change impacts on groundwater levels: ensemble modelling of extreme values. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17, 1619-1634 (*open access*).
- Rasmussen J, Sonnenborg TO, Stisen S, Seaby LP, Christensen BSB, Hinsby K (2012) Climate change effects on irrigation demands and minimum stream discharge: impact of bias-correction method. *Hydrology of Earth System Science*, 16, 4675-4691 (*open access*).
- Refsgaard JC, Arnbjerg-Nielsen K, Drews M, Halsnæs K, Jeppesen E, Madsen H, Markandya A, Olsen JE, Porter JR, Christensen JH (2013) The role of uncertainty in climate change adaptation strategies – A Danish water management example. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18(3), 337-359 (*open access*).
- Seaby LP (2013) Uncertainty in Hydrological Change Modelling. PhD thesis. University of Copenhagen. Kan downloades fra www.hyacinths.dk efter 22.11.2013.
- Seaby LP, Refsgaard JC, Sonnenborg TO, Stisen S, Christensen JH, Jensen KH (2013) Assessment of robustness and significance of climate change signals for an ensemble of distribution-based scaled climate projections. *Journal of Hydrology*, 486, 479-493.
- Seifert D, Sonnenborg TO, Refsgaard JC, Højberg AL, Troldborg L (2012) Assessment of hydrological model predictive ability given multiple conceptual geological models. *Water Resources Research*, WR011149.