

ANVENDELSE AF HYDROLOGISKE MODELLER TIL VURDERING AF KLIMAÆNDRINGERS EFFEKTER PÅ GRUNDVAND OG VANDLØB

Forskningsprofessor, dr.scient. Jens Christian Refsgaard
Seniorforsker, ph.d Torben O. Sonnenborg
De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS)

ATV JORD OG GRUNDVAND
VINTERMØDE OM JORD- OG GRUNDVANDSFORURENING

VINGSTEDCENTRET
4. - 5. marts 2008

INDLEDNING OG FORMÅL

Undersøgelser af klimaændringer og deres betydning for vandkredsløbet i Danmark er tidligere blevet rapporteret (Sonnenborg et al., 2006a; van Roosmalen et al., 2007) og bl.a. præsenteret på ATV møder (Christensen, 2006; Sonnenborg et al., 2006b; Kronvang et al., 2006). De metoder, der benyttes mere eller mindre rutinemæssigt i dag, er baseret på en konvertering af klimascenarier ved hjælp af den såkaldte 'Delta Change' metode, hvorefter de nye klimadata puttes ind i de samme hydrologiske modeller, som vi i forvejen benytter til andre formål. De sidste par års erfaringer med klimaundersøgelser viser, at de metoder, vi benytter, er meget forsimplede i forhold til de udfordringer, vi står overfor.

Formålet med denne præsentation er at belyse, hvilke typer af problemer vi kan forvente at stå overfor med hensyn til klimaændringers effekter på det fremtidige hydrologiske regime, samt at informere om de forskningsaktiviteter, vi har igangsat på dette område.

KLIMAÆNDRINGERS EFFEKT PÅ VANDRESSOURCER - PROBLEMSTILLINGER

Samfundsmæssige udfordringer

Stort set al dimensioneringspraksis for infrastruktur er baseret på en forudsætning om, at klimaet ikke ændrer sig, således at vi kan benytte historiske tidsserier eller statistikker som fx regnrækker som grundlag for dimensioneringen. Den forudsætning holder ikke længere. Vi skal derfor til at tænke langt mere dynamisk og stille helt nye krav til bl.a. inputdata, modelvalideringer og usikkerhedsanalyser.

Et andet problem er, at mange infrastruktur- og miljøprojekter, som er planlagt med en tidshorisont på et par årtier eller mere, men uden hensyntagen til klimaændringer, bør revurderes. Det drejer sig eksempelvis om vandindvinding, vandmiljøplaner (N og P belastning), pesticidudvaskning og -nedbrydning, samt grundvandsbeskyttelse.

Hvilke mulige hydrologiske ændringer kan vi så forvente i et fremtidigt klima? Det spørgsmål kan vi ikke besvare præcist. Dels fordi der kun er lavet meget få undersøgelser heraf, og de undersøgelser er gennemført med dagens meget mangelfulde metoder. Og dels fordi vi i disse undersøgelser altid er begrænset af vores nuværende viden og forestillingsevne. De væsentligste udfordringer, som vi i øjeblikket har viden til at forestille os, at klimaændringer kan give på vandressourceområdet, er:

- Højere grundvandstand og saltvandsindtrængning visse steder langs kysten som følge af havvandsstigninger.
- Ændringer i grundvandsstand i områder langt væk fra kysten. For det meste højere grundvandsstand som følge af øget vinternefbør.
- Ændringer i vandføringen i vandløb. Det vil resultere i væsentlig øgede vinterafstrømninger og nogle steder lavere minimumsvandføringer om sommeren. Større vandføringer om vinteren vil nogle steder give anledning til behov for omdimensionering af konstruktioner

som fx broer og til forøgede oversvømmelser i lavtliggende områder tæt på vandløb. Lavere sommervandføringer vil påvirke vandløbenes økologiske tilstand.

- Ændringer i udvaskning og nedbrydning af næringsstoffer og pesticider på grund af ændrede temperatur- og nedbørsforhold.
- Ændret afstrømning fra befæstede områder (fx byer og veje) med behov for ændret dimensioneringspraksis.
- Oversvømmelser i bymæssige bebyggelser som følge af højere intensitet af nedbør.
- Oversvømmelser i bymæssige bebyggelser som følge af en højere grundvandstand, der kan være forårsaget af længere tids (vinter)nedbør eller af havvandsstigninger.

Derudover vil der i de kommende år givetvis opstå uforudsete begivenheder, som vi end ikke har overvejet i dag.

Videnskabelige udfordringer

Udover de rent meteorologiske udfordringer med at producere mere detaljerede og mere nøjagtige prognoser for de fremtidige klimaforhold, som vi ikke vil beskæftige os med her, er der en lang række udfordringer i at få omsat klimainformationen til pålidelig information om, hvordan vandkredsløbet påvirkes.

Nedskalering af klimadata

De globale klimamodeller opererer med beregningsnet på et par hundrede km. De hydrologiske modeller benytter typisk beregningsgrid på mellem 50 m og 1000 m. Der er derfor behov for at nedskalere klimadataene, så de er brugbare med en mindre opløsning. Der findes forskellige metodikker til nedskalering, hvoraf de to mest anvendte er (a) dynamisk nedskalering med anvendelse af regionale klimamodeller, og (b) statistisk nedskalering (Fowler et al., 2007).

Kobling mellem klimamodel og hydrologisk model

Klimamodeller og hydrologiske modeller køres i dag sekventielt, dvs. uden tilbagekobling fra den hydrologiske model. Vi ved ikke rigtigt, hvor meget det betyder, men der er et klart behov for at undersøge, hvor meget vi kan forbedre modellerne ved en direkte kobling.

Systematiske fejl i klimamodeller

Ligesom alle andre modeller er klimamodeller heller ikke perfekte. Det giver sig især udslag, når forholdene på lokal skala studeres. Selv regionale klimamodeller, som fx DMI's HIR-HAM med en stedlig opløsning på 12 km, kan ved simuleringer af det nuværende klima ikke beskrive nedbøren korrekt med hensyn til fordeling over landet eller antal nedbørsdage. Det betyder, at vi ikke kan benytte data fra klimascenarierne direkte. Vi har behov for at korrigere dem på en eller anden måde. Men systematiske fejl efterlader altid usikkerhed om, hvor god ekstrapolationen til et fremtidigt klima vil være.

Følgeændringer

Når vi får et ændret klima, vil mange ting ændre sig i oplandet. En ting er, at vi får en længere vækstsæson for planter, men hvilke afgrøder vil der stå på markerne? Hvor meget kan det betale sig at vande landbrugsafgrøder, og hvor store vandingstilladelser vil der blive givet? Hvad er en god økologisk tilstand under et ændret klima, og hvad er acceptable ændringer i

økosystemer? Hvordan ændres folks adfærd og værdinormer fx med hensyn til værdien af økosystemer?

Kan vi bruge de samme hydrologiske modeller som i dag?

Med et klima, der måske har 50% mere nedbør om vinteren og 20% mindre nedbør om sommeren, bliver det hydrologiske regime mere dynamisk og matematisk set mindre lineært. Det vil kunne betyde, at mange stationære og lineære modeller ikke vil fungere lige så godt som i dag. Endvidere vil empiriske modeller, som fx regressionsmodeller, ikke være flytbare til et nyt klima. Endvidere vil modeller, der indeholder indbyggede, måske indbyrdes kompenserende, vandbalancefejl, ikke kunne benyttes uden betydelig risiko for fejlslutninger. Det kunne tyde på, at der vil være større behov for modeller med gode processbeskrivelser.

Pålidelighed af modellerne i et ændret klima

Det er ikke muligt at lave en direkte validering af en models evne til at simulere effekten af klimaændringer, fordi der endnu ikke findes data at teste det på. Det eneste vi kan sige med en vis sikkerhed er, at modelprediktioner vil være mere usikre for det fremtidige klima end for det nuværende klima. Men hvor meget mere usikkert? Der er derfor behov for at udvikle mere sofistikerede test til indirekte validering.

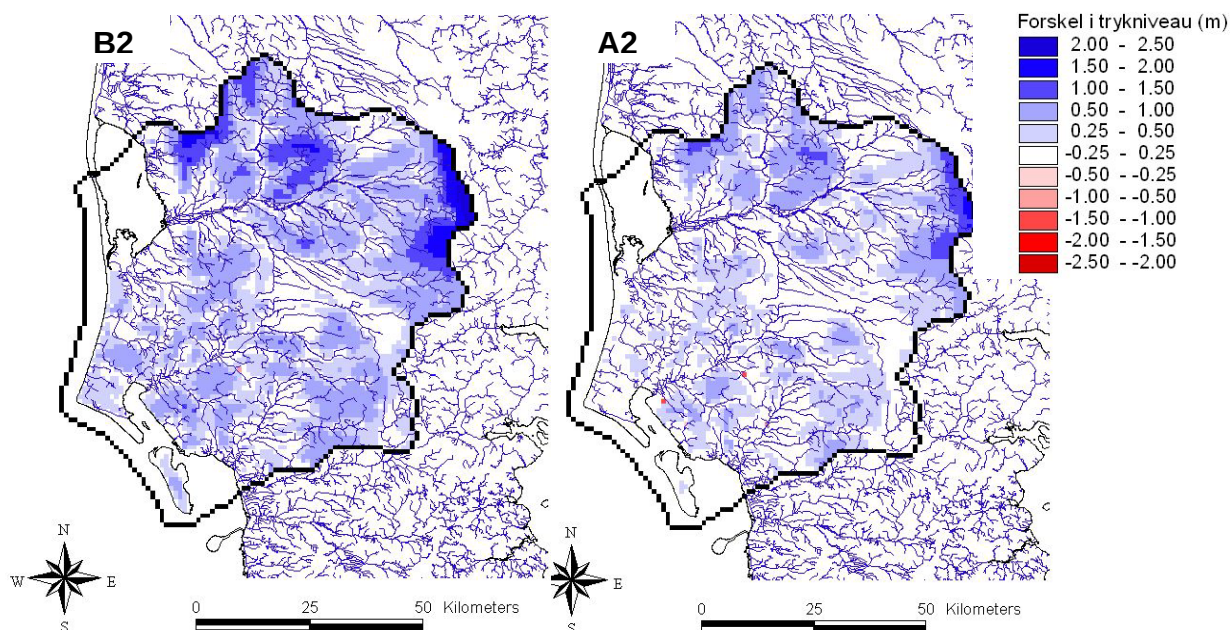
Usikkerhedsanalyser

Der er mange usikkerheder i kæden fra ændret klima til effekt på vandressourcer. Hvis vi fx vil vide hvad usikkerheden er på en forudsigelse om grundvandsdannelsen eller sommervandføringen i et givet vandløb om 50 år bør vi inddrage i hvert fald følgende usikkerhedskilder: (a) usikkerhed på CO₂-emissionsscenarier; (b) usikkerhed på klimamodellerne som producerer klimascenarierne; (c) usikkerhed på omsætningen fra globale klimamodeller til lokale hydrologiske modeller (nedskaleringen); (d) usikkerheden på den lokale hydrologiske model (inputdata, parametre, modelstruktur herunder geologi); og (e) menneskelige beslutninger om tilstanden i oplandet (arealanvendelse, vandløbsreguleringer, vandindvinding, mv).

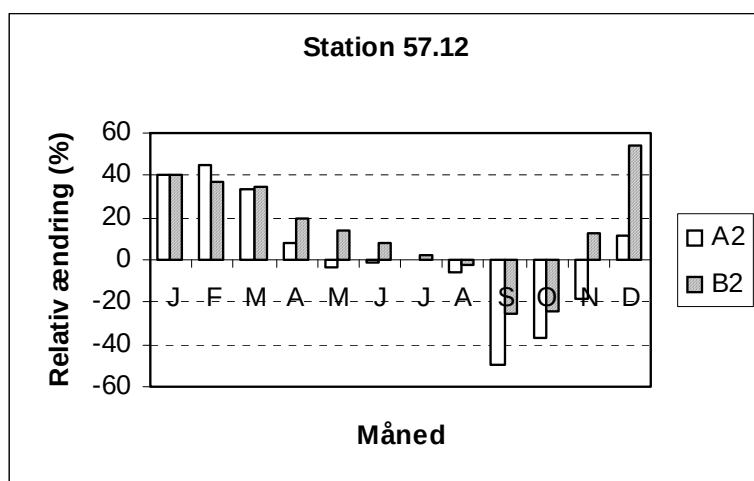
EKSEMPEL PÅ MODELBEREGNING AF EFFEKT PÅ GRUNDVAND OG VANDLØB

Sonnenborg et al. (2006a) gennemførte en mindre undersøgelse af klimaændrings betydning for vandkredsløbet i Danmark. Her blev der foretaget beregninger med GEUS' landsdækkende hydrologiske model (DK-modellen), som blev fodret med input fra DMI's klimascenarier A2 og B2. Resultaterne blev præsenteret på et ATV møde (Sonnenborg et al., 2006b). Figur 1 viser resultater for modelberegnete ændringer i grundvandsstand i Vestjylland og figur 2 viser modelberegnete ændringer i gennemsnitlige månedsafstrømninger i Susåen på Sjælland.

Resultaterne i figur 1 antyder, at grundvandets middeltrykkniveauer vil stige de fleste steder. Endvidere viste analysen at vinterafstrømningen i Vestjylland øges med af størrelsesorden 30%, og at de tilgængelige vandressourcer i Vestjylland generelt øges.



Figur 1. Forskel i middeltrykniveau i Vestjylland mellem det nuværende og to fremtidige klimascenarier (2071-2100). Resultaterne er fra lag 5 i DK-modellen beliggende mellem kote -10 m og 0 m. (Sonnenborg et al., 2006b)



Figur 2. Forskel i månedlige middelvandføringer for Susåen på Sjælland mellem det nuværende og to fremtidige klimascenarier (2071-2100). (Sonnenborg et al., 2006b)

Resultaterne i figur 2 antyder, at vintervandføringer i Susåen kan forventes at øges kraftigt, og at der kan forventes en markant forlængelse af sommerperioder med lave vandføringer.

NYE FORSKNINGSPROJEKTER

HYACINTS – Det Strategiske Forskningsråd

HYACINTS (HYdrological Modelling for Assessing Climate Change Impacts at different Scales) har til formål at udvikle nye og mere pålidelige metoder til at vurdere, hvordan klimaændringer vil påvirke vandressourcen. De udviklede værktøjer vil blive testet på områder i såvel Danmark som i tredje verdens lande.

Projektet vil opstille en fuldt integreret klima-hydrologi model for Danmark. Grundelementerne heri er DMI's regionale klimamodel HIRHAM og GEUS' nationale hydrologiske model DK-modellen. DMI benytter i dag HIRHAM til at lave prognoser over det fremtidige danske klima svarende til forskellige scenarier som FN's klimapanel har udarbejdet. GEUS benytter i dag DK-modellen til at lave nationale og regionale opgørelser over den bæredygtige grundvandsindvinding. DK-modellen er baseret på DHI's internationalt anvendte softwaresystem MIKE SHE. HYACINTS vil lave en kobling af de to beregningsprogrammer så tilbagekoblingen fra landoverfladen til atmosfæren kan tages direkte i betragtning. Det vil formentlig give mere pålidelige klimaprognoser.

Regionale klimamodeller benytter typisk et beregningsnet med gridstørrelser på 12 eller 25 km. Hydrologiske modeller benytter meget finere opløsninger, typisk mellem 50 m og 1000 m. HYACINTS vil derfor udvikle såkaldte 'nedskalerings algoritmer', hvorved klimamodelens resultater i fx 25 km net kan fordeles på hydrologimodellens net på fx 500 m. Et særligt problem i denne sammenhæng bliver en korrektion af systematiske fejl i klimamodellen før der foretages beregninger med den hydrologiske model.

For at forbedre mulighederne for at anvende stor-skala hydrologiske modeller, som fx DK-modellen, til at løse problemer på lokal skala vil HYACINTS udvikle nye metoder til forfining af beregningsgrid på lokal skala. En komplikation i den sammenhæng er, at geologien i en lokal model med et fint beregningsnet typisk er beskrevet meget mere komplekst og naturligt, end det er muligt i en regional model med et groft beregningsnet.

For at vurdere pålideligheden af modelberegninger er det vigtigt at analysere de involverede usikkerheder. HYACINTS vil lave omfattende usikkerhedsvurderinger af klimaændringers effekter på grundvands- og vandløbsforhold, hvor der tages hensyn til bl.a. usikkerheder på klimascenarier og klimamodeller og manglende detailkendskab til geologiske forhold.

HYACINTS' metoder og værktøjer forventes at have eksportpotentiale for den danske vandsektor. For at forstærke dette vil der blive udviklet nye metoder til estimering af nedbørsforhold ud fra remote sensing data, specielt i tredje verdens lande med ringe data og i områder, hvor topografiske forhold påvirker fordelingen af nedbør på lokal skala.

Projektet har deltagere fra universiteter (Københavns Universitet og Aarhus Universitet), forskningsinstitutioner (De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Danmarks Meteorologiske Institut og DHI), rådgivende firmaer (Alectia Aqua og GRAS), vandselskaber (Københavns Energi, Aarhus Kommune Værker og Odense Vandselskab) og statslige miljøcentre (Miljøcenter Roskilde og Miljøcenter Odense). Projektet lø-

ber i perioden 2008-2012 med en bevilling fra Det Strategiske Forskningsråd på 15 mio. kr. Jens Christian Refsgaard, GEUS er projektleder. Mere information kan findes på <http://www.hyacints.dk>

PRECIOUS - Miljøstyrelsen

PRECIOUS (Prediction of Climatic Impacts on Pesticide Leaching to the Aquatic Environments) er et projekt finansieret af Miljøstyrelsen. Det løber i perioden 2008-2010. Budgettet er 2,1 mio. kr. Projektdeltagerne er GEUS, DMI, DJF/AU med Torben Sonnenborg, GEUS som projektleder.

Formålet med PRECIOUS er at kvantificere fremtidige klimaændrings effekt på udvaskningen af pesticider til det akvatiske miljø. Projektet vil generere resultater, som kan belyse klimaændringernes påvirkning af pesticidbelastningen til grundvand og overfladevand. Specielt forventes det, at effekten af øget hyppighed og størrelse af ekstreme nedbørshændelser vil have en signifikant effekt på udvaskningen af pesticider. Desuden forventes ændringerne i afgrødevalg og pesticidanvendelsespraksis at kunne påvirke belastningen af pesticider til det akvatiske miljø markant. Projektet vil kunne kvantificere de individuelle effekter af et ændret klima og dermed kunne tilvejebringe en basis for fremtidig regulering af en bæredygtig pesticidanvendelse.

Fremtidsscenarier for den klimatiske udvikling bestemmes for perioden 2031-50, hvor der på baggrund af klimamodellsimuleringer udført med DMI's HIRHAM model bestemmes tidsserier for nedbør, referencefordampning og temperatur. De klimatiske ændringer forventes også at påvirke både arealanvendelse og pesticidanvendelse, hvor nye afgrøder vil blive introduceret og anvendelse af andre pesticider vil blive nødvendig. Baseret på studier af dyrkningspraksis i det centrale Europa (Frankrig, Tyskland og Holland) vil scenarier for både afgrødevalg og pesticidanvendelse i et fremtidigt klima blive estimeret.

De opstillede scenarier for klima, arealanvendelse og pesticidanvendelse benyttes efterfølgende som input til en rodzonemodell, hvor den resulterende ændring i udvaskningen af pesticider fra rodzonen fra hhv. et sandet og leret område bestemmes. Til dette formål benyttes rodzonemodellen MACRO, der benyttes som basis for godkendelsespraksis og regulering af pesticidanvendelse i Europa. For hver jordtype undersøges effekten af klimaændringer på forskellige pesticidtyper. Der udføres simuleringer for både nutidig og fremtidig arealanvendelse og pesticidanvendelse, således at effekten af de enkelte ændringer kan kvantificeres.

Efterfølgende benyttes resultaterne fra rodzonemodellen som input til den integrerede hydrologiske model MIKE SHE. Den hydrologiske model inkluderer både drænvandsafstrømning, grundvandsstrømning samt afstrømning via søer og vandløb, og kan derfor benyttes til kvantificering af pesticidernes videre skæbne i det hydrologiske system. Den hydrologiske model benyttes til at kvantificere effekten af klimaændringer på pesticidbelastningen af to oplande hhv. karakteriseret ved sandede og lerede jordtyper.

Oversvømmelse i Storåen - studenterprojekt

I et samarbejde mellem Institut for Geografi og Geologi, Københavns Universitet og GEUS er stud. scient. Marie Louise Mikkelsen i gang med et specialeprojekt, hvor hun med udgangs-

punkt i det nye nøjagtige digitale højdekort fra KMS, GEUS' DK-model og klimascenarier fra DMI vil undersøge hvorledes klimaændringer kan tænkes at påvirke muligheden for oversvømmelser i Storåen, bl.a. omkring Holstebro.

LITTERATUR

- Christensen OB (2006) Klimaændringer over Danmark. ATV Møde "Klimaændringers Betydning for Vandkredsløbet". 4. oktober 2006.
- Fowler HJ, Blenkinsop S, Tebaldi C (2007) Review – Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. *International Journal of Climatology*, 27: 1547-1578.
- Kronvang B, Andersen HE, Larsen SE, Ovesen NB, Hansen KM (2006) Vil fremtidens klima føre til udtørrede bække, oversvømmede enge og stigende tab af næringsstoffer fra marker. ATV Møde "Klimaændringers Betydning for Vandkredsløbet". 4. oktober 2006.
- Refsgaard JC, Sonnenborg TO, Christensen BSB, van Roosmalen L (2007) Hydrologiske modeller og klimaændringer – nye udfordringer. ATV Møde "Grundvandsmodeller for modelfork", 8. november 2007
- Sonnenborg TO, Christensen BSB, van Roosmalen L, Henriksen HJ (2006a) Klimaændringers betydning for vandkredsløbet i Danmark. GEUS rapport 2006/22. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Sonnenborg TO, Christensen BSB, Henriksen HJ, van Roosmalen L (2006b) Klimaændringers betydning for vandkredsløbet i Danmark. ATV Møde "Klimaændringers Betydning for Vandkredsløbet". 4. oktober 2006.
- van Roosmalen L, Christensen BSB, Sonnenborg TO (2007) Regional difference in climate change impacts on groundwater and stream discharge in Denmark. *Vadoze Zone Journal*, 6: 554-571.

