

Vandressourcer i en 6 graders varmere verden

Udledningen af drivhusgasser er nu så voldsom, at det ikke længere er utopi at forestille sig et fremtidigt klima med markante temperaturstigninger. Det er derfor relevant at belyse, hvordan vandkredsløbet påvirkes af ekstreme klimatiske ændringer. I det følgende beskrives, hvordan vandbalancerne for grundvand, vandløb og rodzonen påvirkes, hvis den globale middeltemperatur stiger med over 6 grader.

TORBEN O. SONNENBORG, IDA B. KARLSSON, JENS CHRISTIAN REFGAARD & KARSTEN HØGH JENSEN

seks grader celsius. Herefter fastholdes CO₂-koncentrationen og den globale temperatur stabiliserer sig gradvist til en værdi, der ligger 6,5 grader celsius over den præ-industrielle temperatur. For at få en bedre rumlig beskriv-

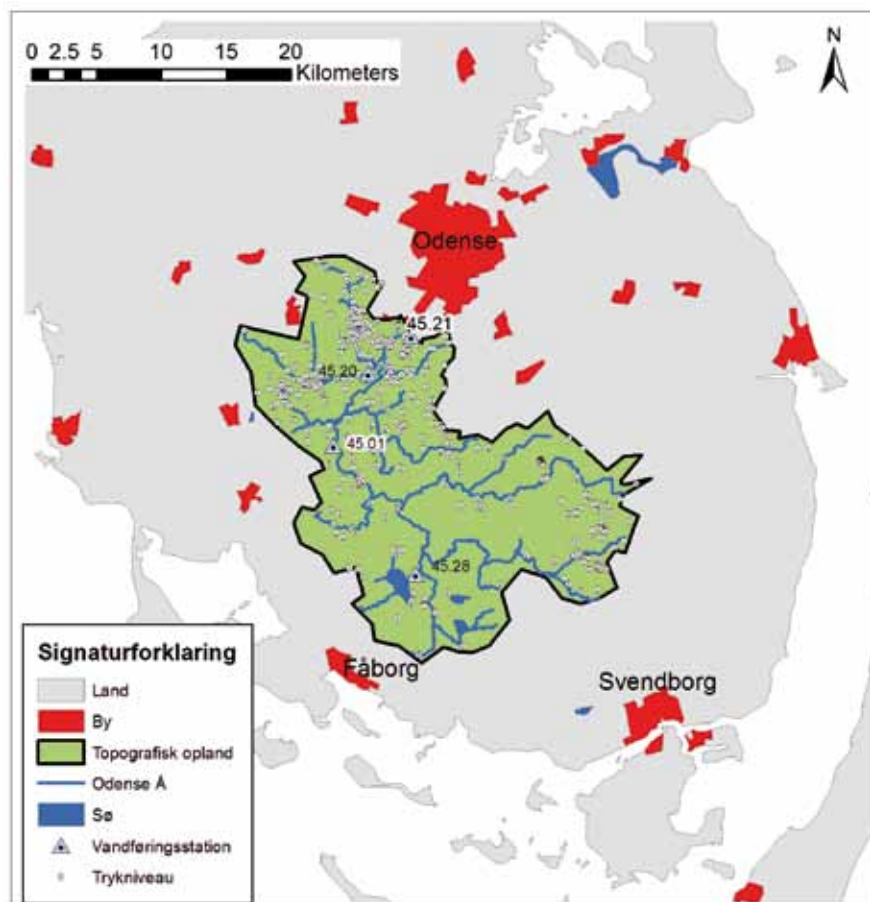
else af klimaet er der efterfølgende lavet en beregning med den regionale klimamodel HIRHAM5, som dækker Europa og den nordligste del af Afrika. Denne model har en rumlig opløsning på ca. 25 km og kan dermed

Introduktion

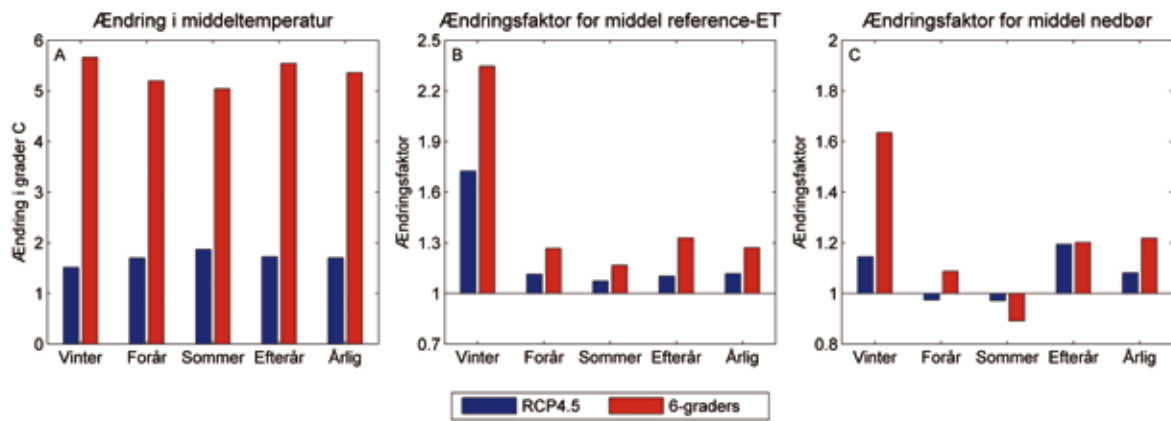
Det er umiddelbart vanskeligt at forestille sig, hvordan det hydrologiske kredsløb i Danmark vil reagere på et klima, som er karakteriseret ved en global temperaturstigning på 6 grader celsius. En så stor temperaturstigning vil give mulighed for, at luften kan indeholde langt mere vanddamp end under nuværende forhold, hvilket kan resultere i både mere fordampning og mere nedbør. Endelig kan en så dramatisk ændring i den globale temperatur også formodes at give anledning til signifikante ændringer i vejrsystemerne, som vil påvirke vandkredsløbet markant. Her vil vi med et eksempel fra Fyn exemplificere hvordan vandressourcerne i Danmark påvirkes af et 6-graders scenarie. Ud over effekten på grundvand og vandløbsafstrømning vil effekten på jordvandsindholdet også blive beskrevet. Til dette formål introduceres et indeks for jordvandsindhold, som giver en rumlig beskrivelse af fugtighedsforholdene i et opland med en tidlig opløsning på ugebasis.

Klimaet i et 6-graders scenarium

De klimaresultater, som anvendes i dette studie, er baseret på den globale klimamodel EC-Earth /1/. CO₂ koncentrationen er specificeret til at stige med 1 % om året, indtil den globale middeltemperatur er steget med



Figur 1 Opland på Fyn som er beskrevet af den hydrologiske model.



Figur 2 Ændringer i temperatur, reference-fordampning og nedbør for RCP4.5 og 6 graders scenarierne for Fyn.

beskrive de geografiske karakteristika for eksempelvis Danmark. Fremtidssceneriet svarer ikke til en bestemt tidsperiode, men til en mulig tilstand en gang i fremtiden, som i værste fald allerede kan indtræffe i dette århundrede, hvis de varmeste klimamodeller har ret /2/. Til sammenligning er resultater for emissionssceneriet RCP4.5 for perioden 2080-2099 også medtaget.

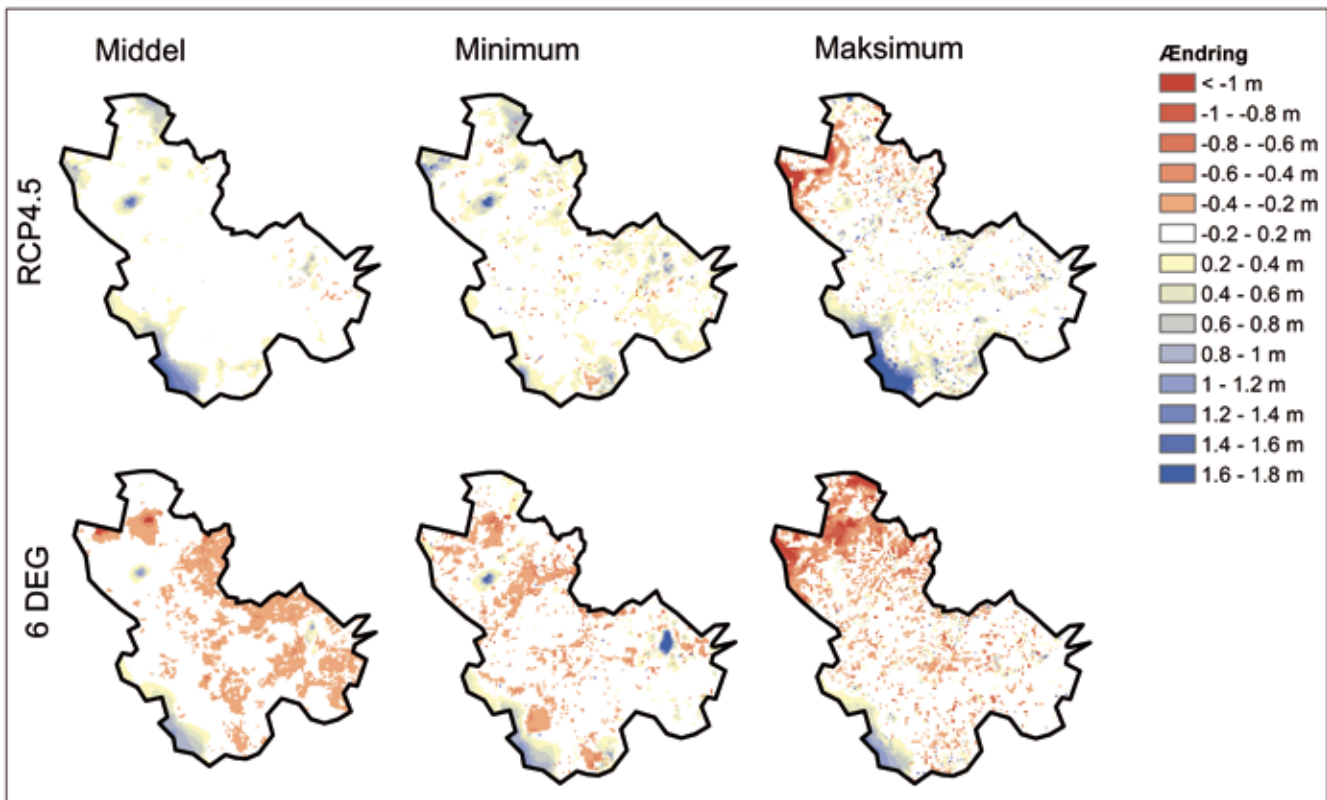
Resultaterne fra HIRHAM5 er trukket ud for et opland midt på Fyn (Figur 1). Klimamodelens resultater er herefter blevet fejlkorrigeret, således at der er overensstemmelse mellem målte og beregnede værdier af nedbør, fordampning og temperatur for perioden 1991-2005. I Figur 2 ses, hvordan de to klimascenarier påvirker temperatur, fordampning og nedbør for fremtidsperioden 2080-2099. Tem-

peraturen stiger ikke overraskende markant i 6-graders scenariet, hvor der findes stigninger på ca. 5,5 grader det meste af året. Der er tale om betydeligt større temperaturstigninger end der findes i RCP4.5 scenariet. For referencfordampningen (Figur 2b) findes der ændringsfaktorer på næsten 1.3 på årsbasis for 6-graders scenariet, dvs. referencefordampningen stiger med ca. 30% om året. I de tre vinter måneder optræder der en betydelig større relativ stigning, op til en faktor 2,4, men det skal bemærkes, at fordampningen i vinterhalvåret under nuværende klima er relativ beskedent, så selv med en stigning på en faktor 2,4 vil referencefordampningen stadig være relativ lav. Til gengæld kan stigningerne i sommerhalvåret med en faktor 1.2-1.3 have en betydelig effekt på, hvor meget vand der tabes til at-

mosfæren. I Figur 2c ses ændringerne i nedbør. For 6-graders scenariet sker den største ændring om vinteren, hvor der findes en stigning på 60%. Ændringerne i den resterende del af året er forholdsvis begrænsede, men det bemærkes, at sommernedbøren falder med ca. 10%.

Effekter på vandressourcer

Klimaændringernes effekt på vandressourcerne er blevet bestemt for hhv. vandløbsafstrømning, grundvandsstand og vandindhold i rodzonen. Til det formål er der anvendt en hydrologisk model. Modellen er baseret på MIKE SHE systemet og er opsat på baggrund af Danmarksmodellen /3/, som er opbygget under anvendelse af så mange informationer som muligt fra oplandet, f.eks. geologiske



Figur 3 Ændringer i middel, minimums og maksimums grundvandsstand for hhv. RCP4.5 og 6 graders scenarierne.

Boks 1 Definition af tørkeindekset SMDI

Jordvands-deficit-indeks /4/, SMDI, bestemmes på baggrund af ugentlige værdier for vandindholdet i rodzonen. Jordvands-deficittet, SD, for en bestemt uge j bestemmes som:

$$SD_j = \frac{SW_j - MSW_j}{MSW_j - MSW_j^{min}} * 100, \quad SW_j \leq MSW_j$$

$$SD_j = \frac{SW_j - MSW_j}{SW_j^{max} - MSW_j} * 100, \quad SW_j > MSW_j$$

hvor SW_j er vandindholdet i rodzonen (i mm) i uge j, og MSW_j er medianværdien af rodzonens vandindhold for den pågældende uge, f.eks. uge 25 (baseret på historiske data). SW_j^{max} og SW_j^{min} er hhv. det største og mindste vandindhold i den betragtede uge (baseret på historiske data). Jordvands-deficittet SD kan variere mellem værdier på -100 og +100, som repræsenterer meget tørre og meget våde betingelser. På basis af jordvands-deficittet defineres jordvands-deficit-indekset som

$$SMDI_j = \frac{SD_j}{50} + 0.5 * SMDI_{j-1}$$

hvor $SMDI_{j-1}$ repræsenterer jordvands-deficit-indekset i ugen før den, som evalueres. SMDI varierer mellem -4 og +4, hvor -4 svarer til den tørreste uge i den historiske data serie mens +4 svarer til den mest våde uge.

Når SMDI anvendes på fremtidige perioder er det valgt at bestemme MSW , SW_j^{max} og SW_j^{min} på basis af de historiske data. Herved kan indekset umiddelbart sammenlignes med nutidens forhold. I det aktuelle tilfælde findes værdier for SMDI næsten helt ned til -8 for den fremtidige periode.

Fordampnings-deficit-indekset, ETDI, er baseret på en tilsvarende algoritme, hvor der i stedet for vandindholdet i rodzonen er defineret et vand-stress givet ved $WS = (PET - AET) / PET$, hvor PET er den potentielle fordampning og AET er den aktuelle fordampning. ETDI varierer også mellem -4 og +4 for den historiske periode, mens der for den fremtidige periode kan findes indeks-værdier uden for dette interval.

borehulsbeskrivelser til etablering af en geologisk model, jordtyper i rodzonens A, B og C horisonter, samt vandløbsplacering og -geometri. Modellens parametre er justeret på plads ved at kalibrere mod observationer af grundvandsstand og vandløbsafstrømning (se figur 1 for placering).

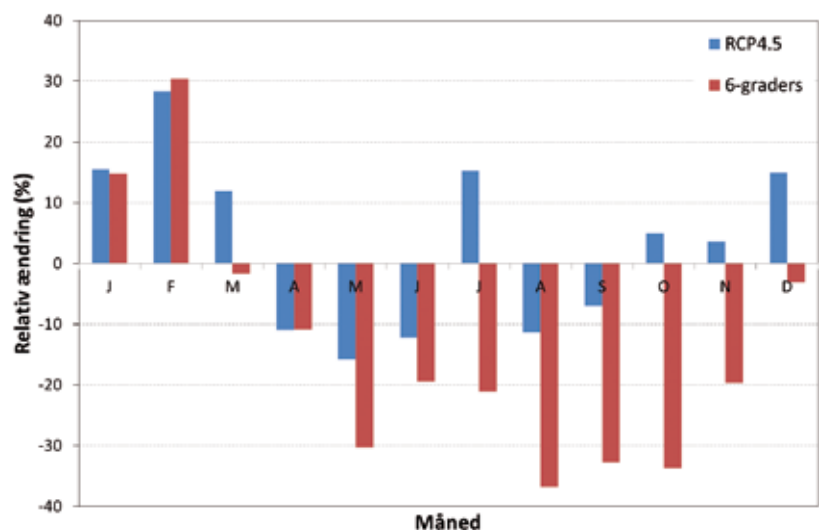
Figur 3 viser påvirkningen på middel-, minimum- og maksimumsgrundvandstand i de to scenarier. For 6-graders scenariet sker de største fald i grundvandsstanden i den østlige og nordlige del af oplandet, men på de fleste steder er ændringerne forholdsvis begrænsede. Stigningen i vinternedbør resulterer i en større grundvandsdannelse i vinterhalvåret som delvist opvejer reduktionen i nedbør og stigningen i referencefordampning gennem sommerperioden. Den samme tendens ses for vandløbsafstrømningen, Figur 4, som er vist for udløbet fra oplandet. Her ses, at vandløbsafstrømningen stiger betydeligt (op til 30 %) i januar og februar. Til gengæld findes ganske markante fald i afstrømningen i perioden marts til november, hvor der observeres fald på over 35% i nogle måneder. Det ses, at udtørringen er betydeligt større i 6-graders sce-

narier i forhold til RCP4.5 scenariet.

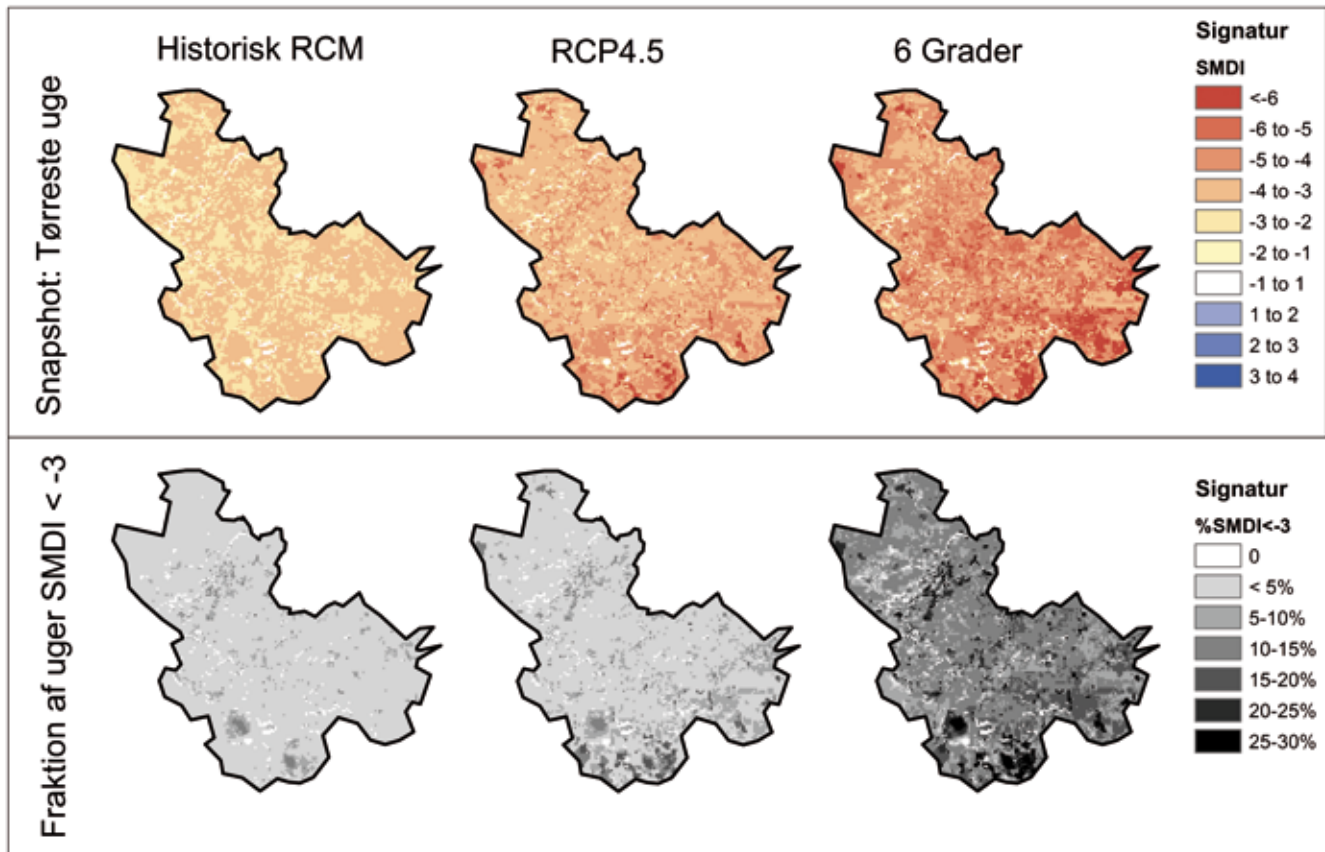
Effekten af klimaændringerne på rodzonen er beskrevet vha. indekset SMDI (Soil Moisture Deficit Index – se Box 1. Her vil en værdi på -4 svare til den værste tørkesituation (laveste vandindhold), som der har været oplevet i "kontrol"-perioden 1991-2005. En værdi på +4

vil omvendt svare til den vådeste situation, som der er oplevet historisk. Værdien 0 svarer til, at vandindholdet er lig medianværdien af vandindholdet i den historiske periode.

På Figur 5 ses værdier for SMDI, hvor den øverste række viser den tørreste uge i hhv. det historiske klima (1991-2005), RCP4.5 scenariet



Figur 4 Relativ ændring i middel månedlig vandløbsafstrømning for hhv. RCP4.5 og 6-graders scenarierne.



Figur 5 SMDI indeks i hhv. historisk periode, RCP4.5 scenarieret og 6-graders scenarieret. Øverst ses den tørreste uge i de tre scenarier, mens der nederst er vist, hvor stor en procentdel af tiden at SMDI < -3.

og 6-graders-scenariet. I perioden 1991-2005 findes generelt værdier på mellem -2 og -4, og i 62 % af området er SMDI-værdien på under -3. Situationen bliver forværret i RCP4.5, hvor 91% af arealet har en SMDI-værdi på under -3, men hvor der også findes SMDI-værdier ned til ca. -5. Det mest markante respons findes for 6-graders scenariet, hvor 96% af oplandet har SMDI-værdier på under -3 og hele 70% ligger på værdier under -4, svarende til den tørreste situation under de aktuelle klimaforhold. De laveste SMDI-værdier kommer helt ned under -7 og karakteriserer en meget markant tørkesituation. I den nederste række i figuren ses hvor stor en del af tiden, at SMDI er under -3. I den historiske periode er SMDI under -3 i under 5% i tiden i den største del af oplandet. Denne andel stiger moderat i RCP4.5 scenariet mens der i 6-graders scenariet findes en markant stigning. Her ligger store dele af oplandet med SMDI under -3, svarende til en kritisk tørkesituation.

Konklusioner

Mens effekten af det ekstreme 6-graders klimascenarie er forholdsvist begrænset, når det drejer sig om grundvand, så er effekten på vandløbsafstrømning og jordvandsindhold i sommerperioden markant. En reduktion af vandløbsafstrømningen i Odense Å på 30%

eller mere i perioden, hvor den laveste vandføring optræder under nuværende klima, må forventes at have signifikant negativ effekt på den økologiske tilstand i vandløbet. Det vil yderligere presse systemet, at vandløbsafstrømningen er lav i en relativ lang periode. En tilsvarende effekt ses på landbrugsarealerne, hvor der vil ske en markant udtørring af rodzonen sammenlignet med nuværende forhold. Ifølge /3/ er der god korrelation mellem SMDI indekset og afgrødernes udbytte. Alt andet lige må det derfor forventes at udbytterne falder drastisk i den situation. Motivationen for at benytte kunstvanding, baseret på oppumpning af grundvand, vil derfor stige markant. Det vil imidlertid være problematisk at indvinde vand fra grundvandsmagasinerne i et 6-graders scenarium. Dels vil der allerede uden en stigning i oppumpningen af grundvand ske et fald i grundvandsstanden, og det er derfor ikke usandsynligt at yderligere oppumpning vil resultere i en uholdbar situation. Især vil vandløbsafstrømningen, som specielt i sommerperioden er afhængig af grundvandstilstrømning, være sårbar overfor grundvandsindvinding. Man kan derfor let forestille sig, at presset på grundvandsressourcerne stiger markant i fremtiden.

Det skal bemærkes, at beregningerne foretaget i nærværende analyse er foretaget ud fra

en forudsætning om "alt andet lige". Det er med andre ord kun klimaet, som er specificeret til at ændre sig. Der er ikke taget forbehold for eksempelvis ændringer i befolkningsstørrelse med tilhørende vandbehov, ændringer i afgrødesammensætning eller ændringer i landbrugsarealets størrelse.

Referencer

- /1/ Christensen, J.H. et al. (2014), RCP scenarier, Vand & Jord, dette nummer.
- /2/ Christensen, J.H. et al. (2014), Usikkerhed på fremtidsscenerier, Vand & Jord, dette nummer.
- /3/ Henriksen, H.J., L. Trolborg, P. Nyegaard, T.O. Sonnenborg, J.C. Refsgaard, and B. Madsen (2003), Methodology for construction, calibration and validation of a national hydrological model for Denmark, Journal of Hydrology, 280, 52-71.
- /4/ Narashimhan, B. & R. Srinivasan (2005), Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring, Agricultural and Forest Meteorology, 133, 69-88.

TORBEN OBEL SONNENBORG (iso@geus.dk), IDA B. KARLSSON, og JENS CHRISTIAN REFSGAARD er hhv. senior forsker, phd-studerende og forskningsprofessor ved GEUS. KARSTEN HØGH JENSEN er professor ved Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet.