CLIMAITE – manipulation med klimaet

På et hjørne af det militære øvelsesterræn ved Jægerspris er over de sidste par år skudt en større samling rør, gangbroer, kabler, vindmålere, terrassemarkiser og en gastank op. Disse, for stedet lidt mærkværdige indslag, er grundsten i et nyt forskningscenter, CLIMAITE, som med støtte fra Villum Kann Rasmussen fonden skal undersøge, hvordan klimatiske forandringer påvirker naturen og de biologiske processer. Forsøget er verdens største af sin art.

Claus Beier
Teis N. Mikkelsen
Anders Michelsen
Martin Holmstrup
Inger K. Schmidt
CLIMAITE

Menneskeskabte klimaforandringer forårsages af øget udslip af drivhusgasser til atmosfæren, primært kuldioxid (CO_2) fra afbrænding af fossilt brændsel. Drivhusgasserne virker som et drivhusglas, der tilbageholder en del af den langbølgede varmestråling fra solens opvarmning af jorden, som ellers tilbagestråles til atmosfæren. Det forøger den naturlige drivhuseffekt, og temperaturen stiger. Når temperaturen stiger, øges fordampningen af vand fra jord, vand og planter, det hydrologiske kredsløb forstærkes og nedbørsmønstret ændres. I fremtiden skal økosystemerne derfor fungere under vilkår, som vil være markant forandret på mindst 3 væsentlige punkter – CO_2-koncentrationen i luften vil være forøget, temperaturen vil være højere og nedbørsmængder og mønstre vil være ændret. CO_2, temperatur og vand er afgørende faktorer i reguleringen af biologiske processer og derfor vil disse forandringer få store konsekvenser for fremtidens økosystemer, og dermed også vores levevilkår.

Klimaforsøg

Over de seneste 2 årtier, har der derfor været gennemført en lang række videnskabelige undersøgelser rundt omkring i verden, som har skullet belyse de mulige effekter på økosystemerne af de forudsagte klimatiske forandringer. Helt grundlæggende kan dette gøres efter 3 forskellige principper:

"Space for time" substitution
Effekten af klimaforandringerne belyses ved at finde et økosystem, som allerede har de forhold, som vil herske i fremtiden – belysning af et fremtidigt varmere dansk klima kunne f.eks. ske ved at undersøge tilsvarende økosystemer i det sydlige Europa. Denne metode har været anvendt i nogen udstrækning, men lider under det problem, at det kan være svært at finde et økosystem, som er direkte sammenligneligt, og for CO_2's vedkommende, findes der ikke steder med højere CO_2, som man kan sammenligne med, bortset fra ganske få steder i verden, hvor naturligt forekommende CO_2 kilder medfører forhøjet CO_2.

Års-variation
De klimatiske forhold svinger fra år til år, og forskellene i f.eks. temperatur eller nedbør mellem forskellige år kan bruges som en slags eksperiment til at belyse hvordan ændringer i disse påvirker bestemte processer. Analyser af årstidsvariationer anvendes i dag i mange undersøgelser, men som med "space-for-time substitution" kan dette ikke give svar på effekter af øget CO_2. Desuden er det svært at isolere de enkelte faktorer, det er kun korttidseffekten der belyses, og man får ikke belyst effekten af den "konstante" ændring, som følger med klimaforandringerne – f.eks. en vedvarende forhøjet temperatur.

Eksperimenter
Eksperimenter med inddragelse af de relevante faktorer i laboratoriet, drivhuse eller ude i naturen kan anvendes til at undersøge effekterne. I forbindelse med klimaforandringer har sådanne undersøgelser været anvendt de seneste ca. 20 år. Hvis eksperimenter skal være brugbare, skal de være realistiske i forhold til det man vil undersøge. Dette kan være svært at opnå for eksperimenter udført i laboratorium og drivhuse, som er isoleret fra den virkelighed de skal belyse, og eksperimenter i felten lider under, at de kan være svære at kontrollere, variationen er stor og der opstår nemt uønskede sideeffekter.

CLIMAITE tilhører den 3. gruppe af metoder – eksperimentelle manipulationer i felten. Hovedparten af de klimaforsøg med eksperimenter, som har været gennemført indtil nu, har fokuseret på en enkelt af klimafaktorerne – f.eks. CO_2 eller forhøjet temperatur. På grund af den store variation i naturen kræver feltforsøg ofte mange replikater (gentagelser), og for hver ny faktor, man ønsker at inddrage,

Figur 1. *CLIMAITEs felteksperiment med udspændte markiser til opvarmning hhv. fjernelse af vand Foto: Poul Sørensen, Risø.*

Figur 2. *Forsøgsring med 4 felter. Den udkørte markise til højre dækker 2 felter, som derved bliver varmet op. Den hængende markise i forgrunden vil køre ud og dække 2 felter i tilfælde af regn og derved fjerne nedbøren i den periode, der ønskes tørke. I baggrunden ses den store CO_2-tank, som leverer CO_2 til de felter, hvor CO_2 niveauet skal forhøjes. CO_2 doseres gennem rørene der omgiver feltet.. Foto: Claus Beier, Risø.*

fordobles antallet af forsøgsfelter. Sådanne enkeltfaktorforsøg bidrager med vigtig viden om de biologiske processers påvirkelighed af den udførte faktor, og filosofien har så været, at viden fra disse enkeltfaktorforsøg ville kunne sammenstykkes til et helhedsbillede af de samlede effekter, f.eks. ved brug af matematiske modeller.

CLIMAITE – et multifaktorforsøg

For 3 år siden fremkom imidlertid resultater fra et forsøg i USA – Jasper Ridge Global Change Experiment /1/, som inddrog alle klimafaktorerne hver for sig og i kombination. Resultaterne viste, at interaktionerne mellem de forskellige faktorer kan være meget store, og at det derfor kan være svært, og i nogle tilfælde umuligt, at forudse, hvordan den samlede pakke af klimaforandringer vil påvirke natur og processer, selvom man kender effekten af de enkelte faktorer. Det ser især ud til, at samspillet med forhøjet CO_2 er vanskeligt at forudse. Der er derfor et meget stort behov for, at der nu udføres "multifaktorforsøg", hvor alle klimafaktorerne inddrages.

Dette er baggrunden for CLIMAITE. Vi udfører forsøg i et "naturligt" økosystem, med manipulation af de tre væsentligste klimafaktorer: CO_2, temperatur og nedbør. Til forsøget ved Jægerspris har vi valgt at "påtrykke" de forhold, som klimaforskerne forudser for Danmark anno 2075: 35 % forøgelse af CO_2 (510 ppm mod i dag 380 ppm), 2 grader højere temperatur og forlænget tørke om sommeren. Denne "biologiske tidsmaskine" blev igangsat i oktober 2005.

Den "biologiske tidsmaskine" i praksis

Ved design af eksperimenter i felten tilstræbes, at der opstår så få artefakter som muligt – når vi laver et temperatureksperiment vil vi altså helst kun påvirke temperaturen, og ikke samtidig lys, vand, vind osv. I CLIMAITE udføres følgende forsøg:

Forhøjet CO_2: Vores CO_2-eksperiment er et såkaldt FACE eksperiment (Free Air Carbon Enrichment), hvor CO_2 udblæses rundt langs kanten af forsøgsfeltet. Vinden hjælper med til at fortynde og sprede CO_2-gassen, og løbende målinger af koncentrationen inde i forsøgsfeltet bruges til at regulere doseringen og holde den ønskede koncentration. Fordelen ved dette system er, at felterne er helt åbne og de andre klimatiske faktorer påvirkes ikke. Metoden medfører dog stort CO_2 forbrug. Hvis vi i stedet havde opsat et kammer ville vi utvivlsomt have reduceret CO_2 forbruget, men til gengæld ville vi have påvirket alle mulige andre faktorer som lys, temperatur, nedbør, vind osv.

Opvarmning: Varme-eksperimentet sker med en passiv natopvarmnings-teknik, hvor forsøgsfelterne er åbne hele dagen, og om aftenen, når solen går ned, trækkes et refleksionsgardin hen over vegetationen. Dette reducerer tilbagestrålingen af varme til atmosfæren, og forsøgsfelterne opvarmes. Denne teknik er parallel til de "virkelige" klimaforandringer. Ulempen er, at vi ikke selv kan bestemme hvor meget opvarmning vi får. Regn- og dugsensorer sikrer at gardinerne automatisk fjernes under nedbør og dug, så den hydrologiske balance ikke påvirkes.

Tørke: Nedbørs-eksperimentet består ligeledes af automatiske gardiner, som styres af en regnsensor så forsøgsfelterne overdækkes i tilfælde af nedbør i de perioder, hvor vi ønsker tørkebehandling, typisk 4-8 uger i forårs/sommer månederne. Den øvrige del af året er tørkefelterne uden behandling. Det forudsagte nedbørsscenarium for Danmark ville desuden indebære nogle kraftige byger henover sommeren og øget tilførsel af vand i vinterperioden, så den samlede nedbørsmængde ikke blev ændret væsentligt (±10-20 %). Vi har valgt kun at lave tørkebehandlingen, fordi det ellers vil være vanskeligt at tolke, hvad der er årsag til evt. observerede effekter.

Alle kombinationer af disse 3 faktorer og en ubehandlet kontrol til sammenligning giver i alt 8 forsøgsfelter, som i CLIMAITE er udlagt i et split-plot design, hvor 2 forsøgsringe hver indeholder de 4 behandlinger "ubehandlet", varme, tørke og varme/tørke. Den ene ring er desuden udsat for forhøjet CO_2, mens den anden holdes ved naturligt CO_2, se figur 3. Hver behandling replikeres 6 gange, så CLIMAITE involverer i alt 48 forsøgsfelter fordelt på 12 ringe (6 CO_2 og 6 ambient), se figur 5.

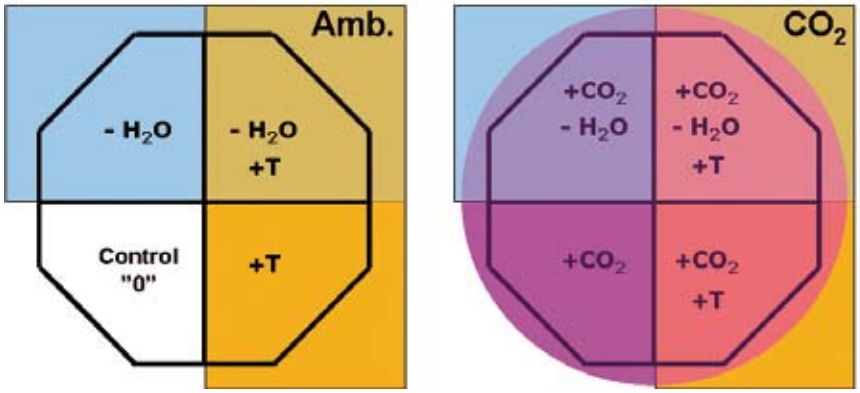
Målinger

I alle forsøgsfelter foretages en lang række målinger og registreringer, som dels har til formål at vise og dokumentere hvor meget,

Boks 1. CLIMAITEs forskningsteam består af:

Claus Beier[1], Teis N. Mikkelsen[1], Anders Michelsen[2], Martin Holmstrup[3] Inger K. Schmidt[4], Per Ambus[1], Sven Jonasson[2], Kim Pilegaard[1], Marie F. Arndal[4], Søren Christensen[2], Anders Priemé[2], Helge Ro-Poulsen[2], Per Gundersen[4], Kristian Albert[2], Louise C. Andresen[2], Kristine Maraldo[3], Merete B. Selsted[1], Karen Stevnbak[2], Jane Kongstad[4], Preben Jørgensen[1], Niels Bruun[2], Sven Danbæk[2], Poul Sørensen[1] og Torben Riis-Nielsen[4].

1 Forskningscenter Risø, DTU, Afd. for Biosystemer. claus.beier@risoe.dk
2 Københavns Universitet, Biologisk Institut, Andersm@bi.ku.dk
3 Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet, Afd. for Terrestrisk Økologi. mho@dmu.dk
4 Skov & Landskab, Københavns Universitet, iks@life.ku.dk



Figur 3. *Skitse over det grundlæggende princip i CLIMAITEs forsøgsopbygning. En forsøgsenhed består af 8 forsøgsplot, fordelt på 2 ringe, som hver er opdelt i 4 plots. Den ene forsøgsring får forhøjet CO_2 (+CO_2), mens den anden ring er under "naturligt" CO_2 niveau (Amb.). Inden for hver ring behandles 2 felter med opvarmning (+T) og 2 felter med tørke (-H_2O).*

de klimatiske forhold er blevet forandret af behandlingerne (f.eks. i luft og jord, jordfugtighed, CO_2-koncentration), dels at belyse hvordan de biologiske processer i økosystemet er blevet påvirket.

Økosystemer er komplekse, og effekterne af ændrede klimaforhold vil kunne påvirke direkte eller indirekte gennem en lang række af økosystemets enkelte komponenter. CLIMAITE involverer et bredt team af forskningsgrupper, som tilsammen dækker de væsentligste elementer i systemet – jord, vand, planter, mikroorganismer, næringsstoffer osv. og med fokus på alle niveauer i systemet fra organismer til samfund. Et eksempel på kaskaden af effekter og det komplekse samspil af processer i hele økosystemet ses i kulstofbalancen. Planterne optager CO_2 fra atmosfæren gennem fotosyntesen og bruger kulstoffet til plantevækst og andre processer i økosystemet. En del af den bundne CO_2 tabes igen til atmosfæren, når det døde organiske materiale nedbrydes. Økosystemet virker altså både som kilde og dræn for kulstof og bidrager selv til drivhuseffekten positivt eller negativt. Klimaforandringerne vil påvirke både optag og emission af CO_2 direkte, når de forandrede klimafaktorer påvirker vækst- og nedbrydningsprocesserne, men påvirkningen vil også ske indirekte og langsigtet, hvis forandringerne f.eks. påvirker plantearternes indbyrdes konkurrence og dermed økosystemets sammensætning af planter, som har forskellig vækst og omsætning af kulstof og næringsstoffer. Økosystemet vil herigennem selv påvirke klimaforandringerne positivt eller negativt afhængig af, om det er de emitterende eller optagende processer, der påvirkes mest (positiv og negativ feedback).

Figur 4. *Planternes vækst, dækningsgrad og indbyrdes konkurrence vurderes ved brug af såkaldt "pin point" målinger, hvor en "strikkepind" anvendes til registrering af planternes højde og art i et stort antal punkter. Foto: Claus Beier, Risø.*

Foreløbige resultater

Målingerne af behandlingernes effekt på klimaet i forsøgsfelterne i de første 7 måneder viser, at vi kan fastholde en CO_2-koncentration, som er meget tæt på de ønskede 510 ppm, at tørke eksperimentet effektivt fjerner regnvandet i den ønskede periode og at den tilgængelige vandmængde derved begrænses. Vi kan også fremkalde forhøjet temperatur med opvarmningseksperimentet, men desværre kun en forhøjelse på ca. 1 grad, og ikke de 2 grader, som var målsætningen.

Det første års målinger er ved at være afsluttet, og resultaterne er endnu kun behandlet i begrænset omfang. Der vil være stor forskel på, hvor hurtigt forskellige processer vil reagere lige fra omgående reaktion (f.eks. planternes kulstofoptag via fotosyntese) over ændringer indenfor sæsoner og år (f.eks. nedbrydning) til ændringer over meget lang tid (f.eks. ændret plantesamfund og jordstruktur). Målingerne af planternes fotosyntese det første år har grundlæggende vist, at forsøget fungerer. Planternes kulstofoptag er højere ved forøget CO_2 og falder ved tørke. Samtidig bevirker det forhøjede CO_2 niveau, at planterne reducerer deres fordampning af vand, fordi planternes spalteåbninger er mindre åbne ved det det forhøjede CO_2-niveau. Dermed er planterne mere tørkeresistente. Dette reducerer bl.a. mængden af dødt plantemateriale, der produceres, når tørke og CO_2 optræder sammen i sammenligning med tørke alene.

Sammenfatning

Klimaforandringer påvirker alle de mest basale faktorer, som styrer de biologiske processer, og vil som sådan kunne ændre økosystemernes struktur og funktion. Klimaforandringer kommer som en samlet pakke med samtidige ændringer af CO_2, temperatur og nedbør. Forudsigelse af effekterne af disse forandringer kan ikke ske alene på baggrund af forsøg med de enkelte faktorer, fordi interaktionerne mellem disse kan være stor og uforudsigelig – det vil i mange tilfælde

Boks 2. Forventninger - hypoteser

Vi har naturligvis opstillet en række hypoteser for forsøgets processer og behandlinger. For planternes vedkommende forventer vi, at øget vand, temperatur og CO_2 vil stimulere planternes vækst, at ændringer i tilgængeligheden af vand vil have størst betydning og at opvarmning og CO_2 kan spille en vigtig indirekte rolle gennem påvirkning af planternes vandforbrug. For de underjordiske processer forventer vi, at disse vil blive stimuleret af forhøjet temperatur, og hæmmet af reduceret vandtilgængelighed, mens både temperatur og CO_2 vil have en indirekte og modsat rettet effekt gennem påvirkning af økosystemets vandforbrug. Derimod har det vist sig at være ekstremt vanskeligt, at opstille hypoteser for det samlede system og responsen på den samlede pakke af behandlinger. Med tre samtidige faktorer er det nærmest umuligt at overskue interaktionerne, og måleprogrammerne tager derfor primært udgangspunkt i vore forventninger for effekterne af de enkelte faktorer.

Figur 5. *Luftfoto over CLIMAITEs felteksperiment ved Jægerspris med de 12 forsøgsringe (foto: Kastrup luftfoto).*

ikke være muligt at forudsige de samlede effekter, selvom man kender effekterne af de enkelte faktorer. Derfor er multifaktorforsøg væsentlige for at skaffe os viden om disse samspil. Se i øvrigt boks 2.

Multifaktorforsøg spiller dog også en anden vigtig rolle. De fleste eksperimentelle forsøg fungerer som modeller – forsøget ved Jægerspris er ikke lavet, fordi vi vil forstå lige netop økosystemet dér, men fordi det kan bruges som model for andre økosystemer. Resultaterne fra Jægerspris skal gerne kunne generaliseres gennem anvendelse af matematiske modeller, så vi kan skalere i både tid og rum. Forsøget skal således både bruges til at forbedre vidensgrundlaget for modellerne, men også som test af modellerne. Eksperimentelle manipulationer er unikke til netop dette formål, fordi vi kan lave det samme forsøg i modellen, som i virkeligheden, og se om modellen når frem til det rigtige resultat. Sådanne modeltest er essentielle til styrkelse af troværdigheden af modellerne

Referencer

/1/ Shaw,M.R.; Zavaleta,E.S.; Chiariello,N.R.; Cleland,E.E.; Mooney,H.A.; Field,C.B. 2002: Grassland responses to global environmental changes suppressed by elevated CO2, Science, 298, 1987-1990.

Yderligere information findes på www.climaite.dk

Claus Beier og Teis N. Mikkelsen, Forskningscenter Risø, DTU, Afd. for Biosystemer (claus.beier@risoe.dk).

Anders Michelsen, Københavns Universitet, Biologisk Institut (Andersm@bi.ku.dk).

Martin Holmstrup, Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet, Afd. for Terrestrisk Økologi (mho@dmu.dk).

Inger K. Schmidt, Skov & Landskab, Københavns Universitet (iks@life.ku.dk).

Nyhed i vandbranchen

Det rådgivende vand og miljø firma Watertech er fra den 1. maj 2007 blevet en del af Birch & Krogboe koncernen.

Watertech fortsætter dog med Business as ususal, i og med at Birch & Krogboe ikke har haft vand- og miljøaktiviteter i deres forretningsområde tidligere. Til gengæld har Birch & Krogboe sin styrke på bygge- og anlægsområdet, og som det seneste også indenfor byggeri og arbejdsmiljø. De to firmaer har gennem årene samarbejdet på forskellige felter, især i forbindelse med vandværksprojekter, hvilket nu styrkes yderligere til fordel for branchen – ligesom bredden i den faglige synergi får betydning.

Yderligere information:
www.watertech.dk; www.birch-krogboe.dk

EDJ