

ØKOSYSTEM- MODELLER

– processer, prognoser og usikkerheder

Statistiske økosystemmodeller hjælper os med forstå betydningen af økologiske processer og menneskeskabte påvirkningsfaktorer i naturområder. Derudover gør de os i stand til at lave troværdige prognoser for udviklingen af naturområderne.

Den danske natur undergår betydelige forandringer på grund af ydre menneskeskabte påvirkningsfaktorer. For eksempel medfører husdyrhold og afbrænding af fossilt brændstof, at betydelige mængder kvælstof tilføres naturarealer fra luften. Denne kvælstofdeposition vil favorisere hurtigt-voksende, høje urter, som kan udkonkurrere mere nøjsomme urter, som er tilpasset et miljø med mindre tilgængeligt kvælstof. Et ændret klima, invasive arter og ophør af græsning forventes ligeledes at favorisere nogle arter frem for andre.

Danmark er forpligtiget af blandt andet EU's habitatdirektiv til at bevare naturen i en god tilstand, og det er derfor vigtigt at kunne bestemme den mest hensigtsmæssige pleje af konkrete naturområder. For at kunne gøre det er det nyttigt at kunne forudsige, hvilken effekt forskellige påvirkningsfaktorer og plejetiltag vil have på udviklingen af specifikke naturområder. Typisk vil et naturområde med en given geografi, jordbund og historie være

påvirket af flere påvirkningsfaktorer, som ændrer sig over tid, og for at forstå det komplicerede samspil mellem de forskellige faktorer og lave prognoser af deres effekter er vi nødt til at opstille økosystemmodeller.

Økologiske modeller

Ofte har vi en generel og kvalitativ viden om de vigtigste processer i forskellige økosystemer, men den kvantitative betydning af de enkelte processer og samspillet mellem dem er typisk ukendt. Det er derfor vigtigt at syntetisere den eksisterende viden af de økologiske processer i en økosystemmodel og sammenholde eller "fitte" modellen til økologiske data.

I de senere år er der udviklet kraftfulde og fleksible statistiske metoder til at kombinere generel økosystemforståelse med kvantitative målinger af økologiske variable. Ved hjælp af strukturelle ligningsmodeller, som fittes til økologiske data, er det muligt at estimere den kvantitative betydning af de enkelte processer og samspillet mellem dem, samt at

adskille den observerede varians i henholdsvis måleusikkerhed og procesusikkerhed. Her er procesusikkerheden den usikkerhed, som skyldes manglende viden om de kausale sammenhænge eller effekten af variable, man ikke har målt. Dette er vigtigt, idet en bestemmelse af procesusikkerheden gør det muligt at lave en kvantitativ bestemmelse af usikkerheden i de økologiske prognoser, hvilket kan være med til at øge deres troværdighed. Sammenlign for eksempel med moderne vejrudsigter, hvor det nu er standard at vise nedbørsprognoser som sandsynlighedsfordelinger af den forventede nedbør.

I et projekt støttet af Åge V. Jensen fonden arbejder vi nu på opstille sådanne strukturelle ligningsmodeller for lysåbne økosystemer (som strandenge, våde heder, og højmoser) og fitte disse modeller til data indsamlet inden for det ambitiøse naturovervågningsprogram NOVANA. Vi forventer, at disse modeller vil kunne anvendes til at forudsige effekterne af at reducere kvælstofdeposition på et givet na-

Forfatteren



Christian Damgaard er professor, dr. scient. ved Institut for Bioscience, Aarhus Universitet. Han arbejder med Plante-populationsbiologi og den matematiske og statistiske modellering af planteøkologiske processer. cfd@bios.au.dk



Prøvetagning i NOVANA. Det grå stativ forrest i billedet er en "pin-point ramme". Foto: Knud-Erik Nielsen.

Økologiske data - NOVANA

Økologiske processer foregår i tid, og ligesom man ikke kan måle hastigheden af en bil ud fra et billede, men er nødt til at vide, hvor bilen er til mindst to tidspunkter; således er det også nødvendigt at have økologiske tids-seriedata for at undersøge økologiske processer.

I Danmark har først amterne og derefter staten siden 2004 indsamlet økologiske data fra lysåbne naturtyper (som strandenge, våde heder, og højmoser) i et ambitiøst naturovervågningsprogram kaldet NOVANA. Hver naturtype er repræsenteret ved adskillige naturområder, og i hvert område er økologiske data fra cirka 10 prøvefelter blevet indsamlet gentagne gange. Positionen af de enkelte prøvefelter bliver genfundet med GPS-usikkerhed (det vil sige mindre end 10 meter). I begyndelsen blev prøvefelterne besøgt hvert år, men besøgsfrekvensen blev siden nedsat til tre år og er for nuværende seks år.

I NOVANA indsamles der overvejende data om vegetationen og jordbunden, fordi økosystemers funktion og

bevaringstilstand ofte kan karakteriseres og måles ved hjælp af dækningen af de dominerende plantearter. Her måles dækningen som det relative areal, planterne "dækker". Rent praktisk foregår det ved hjælp af "pin-point metoden", hvor man sænker en tynd pind ned i vegetationen og noterer, hvilke arter som rører pinden. Hvis en art røres af otte ud af seksten pinde, så er dækningen 0,5.

Det egentlige formål med at indsamle de økologiske data er at afrapportere bevaringstilstanden af de forskellige naturtyper som bestemt i EU's habitatdirektiv. Men derudover er de indsamlede data en værdifuld kilde til at forstå de økologiske processer i de lysåbne naturtyper.

Beskrivelser af alle de indsamlede økologiske data i NOVANA samt statistiske analyser af deres geografiske fordeling og ændringer over tid kan findes på hjemmesiden: novana.au.dk

turområde eller forskellige naturplejetiltag. I første omgang har vi undersøgt effekten af blandt andet kvælstofdeposition og græsning for de våde heder.

Våde heder

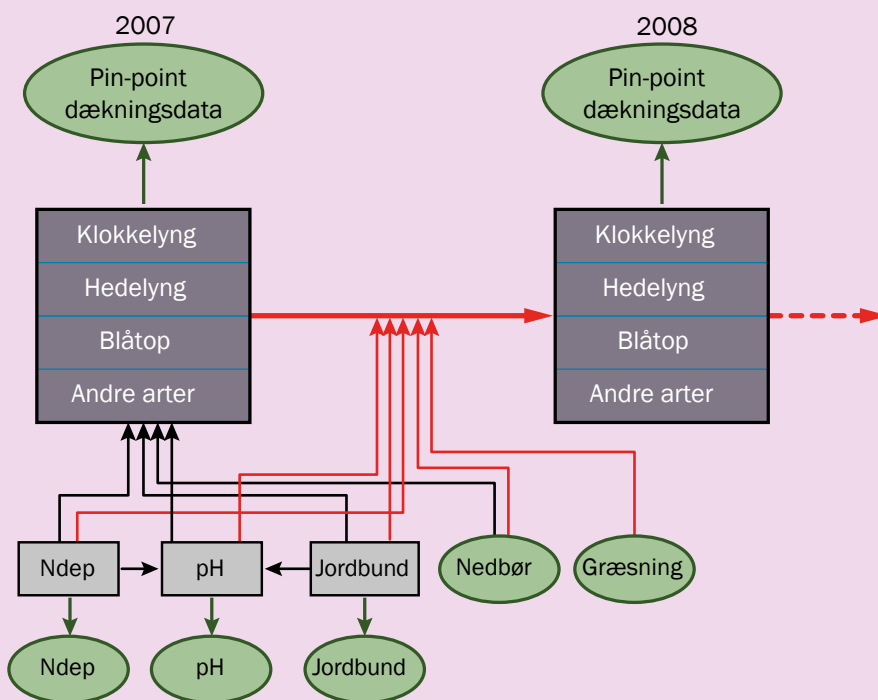
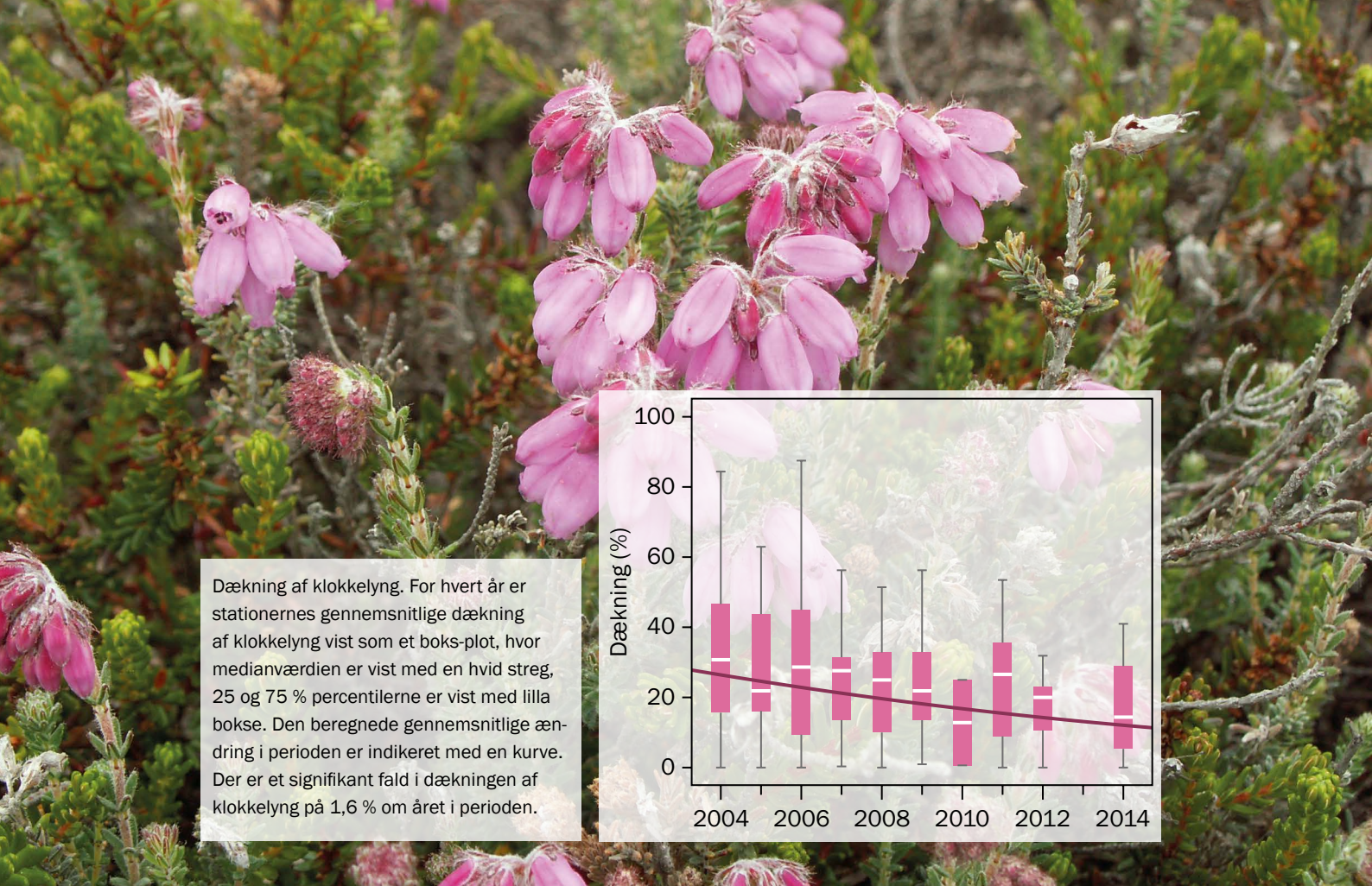
Våde heder findes på fugtige til våde næringsfattige arealer og har en vegetation, som er præget af

dværgbuske. Dværgbusken klok-kelyng er en karakteristisk art for naturtypen, og denne art er gået signifikant tilbage siden 2004. I bestræbelserne på at bevare de våde heder i en gunstig tilstand er det derfor vigtigt at forstå, hvorfor klok-kelyng er i tilbagegang.

For at kunne opstille en strukturel

ligningsmodel for de våde heder er det nødvendigt at udvælge de vigtigste økologiske processer og variable. Denne udvælgelse er baseret på vores eksisterende viden af, hvilke processer som forventes at være de vigtigste, men også hvilke data vi har tilgængelige.

Når det gælder de våde heder ved



Figuren viser en strukturel ligningsmodel for de våde heder. Den rumlige variation af dækningsgraderne for klokkelyng, hedelyng, blåtop, og andre plante arter er modelleret ved kvælstofdeposition (Ndep), jordens pH (pH), jordens tekstur (Jordbund) og nedbør. Den årlige ændring i dækningsgraderne fra 2007 til 2014 (kun et enkelt år er vist i figuren) er modelleret ved de samme parametre samt græsning. Kasserne repræsenterer

skjulte variable (de sande, men ukendte middelværdier for variabelen), og de grønne ovaler repræsenterer data. De sorte pile repræsenterer rumlige processer, de røde pile repræsenterer ændringer over tid, og de grønne pile repræsenterer måleusikkerheden. Modellen fittes til data ved hjælp af Bayesianske numeriske metoder (læs mere om bayesiansk statistik i *Aktuel Naturvidenskab* nr. 4/2016).

vi, at de hydrologiske forhold må spille en vigtig rolle for, hvilken vegetation vi forventer at finde på de våde heder. Men desværre har vi i Danmark ikke gode hydrologiske data for de øverste jordlag, og den mulige effekt af den hydrologiske variation på plantearternes dækning kan vi derfor kun modellere som en del af den generelle procesusikkerhed.

Model forklarer observationer

Der var kun små forskelle mellem de observerede ændringer i dækningen af de forskellige arter og de forventede værdier, som den fittede model fandt frem til. Det vil sige, at den observerede ændring af vegetationen på de våde heder var godt forklaret af den fittede økosystemmodel. Dækningen af de to dværgbuske, klokkelyg og hedelyng, blev øget ved relativt høj kvælstofdeposition, høj pH, sandet jord, lav nedbør og fravær af græsning. Den observerede positive sammenhæng mellem øget dækning af dværgbuskene og øget

kvælstofdeposition er lidt overraskende, idet man generelt forventer, at græsser har en konkurrencefordel i forhold til dværgbuske, når der er meget kvælstof tilgængeligt. Vi vil derfor i den nærmeste fremtid gerne teste netop dette resultat i et manipuleret og kontrolleret forsøg.

Vi fandt ikke, at kvælstofdeposition havde en signifikant effekt på jordens pH, men derimod at sandede jorde generelt havde et lavere pH. Dette betyder, at der både var en direkte effekt af en relativt sandt jord på ændringen af vegetationen, samt en indirekte effekt medieret via en lavere pH.

Den observerede geografiske variation i vegetationen var kun tilnærmelsesvis forklaret af modellen, og modellen blev derfor udvidet med geografiske skjulte variable, som modellerer eventuelle forskelle mellem forskellige geografiske regioner. Denne analyse viste, at de våde heder i Syd-

jylland havde en mindre dækning af dværgbuske ved det samme niveau af påvirkningsfaktorerne end de våde heder i resten af Danmark. En nærmere undersøgelse af, hvad der karakteriserer de sydjyske våde heder vil i fremtiden kunne bruges til at generere nye hypoteser for økosystemprocesserne i de våde heder.

Lokale prognoser

Som nævnt kan den fittede økosystemmodel bruges til at forudsige effekterne af for eksempel at reducere kvælstofdeposition eller forskellige naturplejetiltag på et lokalt naturområde. Til dette formål skal man indsamle de økologiske data, som anvendes i modellen på det lokale naturområde. I forhold til omkostningen ved de forskellige plejetiltag vil det være relativt billigt, og det vil nu være muligt at forudsige effekterne af de forskellige plejetiltag på vegetationen med en kendt usikkerhed ved at anvende den fittede økosystemmodel. ■

Videre læsning:
Clark J. S. (2007). Models for Ecological Data. An Introduction. Princeton University Press.

Pearl, J. (2009). Causality. Cambridge University Press.

HAR DU EN INGENIØRSPIRE I DIN AFGANGSKLASSE?

Har du elever, der er i tvivl om, hvilken ingeniøruddannelse de skal vælge? Så husk dem på, at det stadig er muligt at besøge ingeniøruddannelserne på SDU.

Den **17. maj i Sønderborg** og **22. maj i Odense** kan dine elever møde studerende fra ingeniøruddannelserne i de to studiebyer og få en faglig rundvisning.

Mere information og tilmelding på:
www.sdu.dk/tek/faellesarrangement

Hvis din elev opfylder adgangskravene på den ønskede ingeniøruddannelse, kan han eller hun søge ind via kvote 1 allerede i år. Ansøgningsfristen er **torsdag den 5. juli kl. 12.00**.

Se alle vores forskellige ingeniøruddannelser på:
www.sdu.dk/ing

