

4

ØKOLOGISK RUM SOM RAMME FOR BIODIVERSITETEN

PLANTER SOM INDIKATORER FOR RESTEN AF BIODIVER- SITETEN

Rasmus Ejrnæs

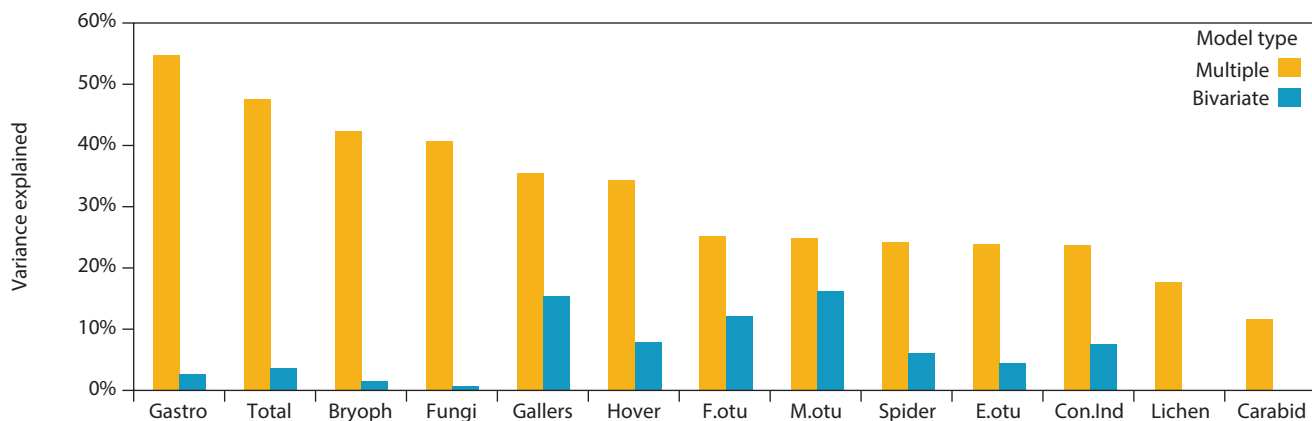
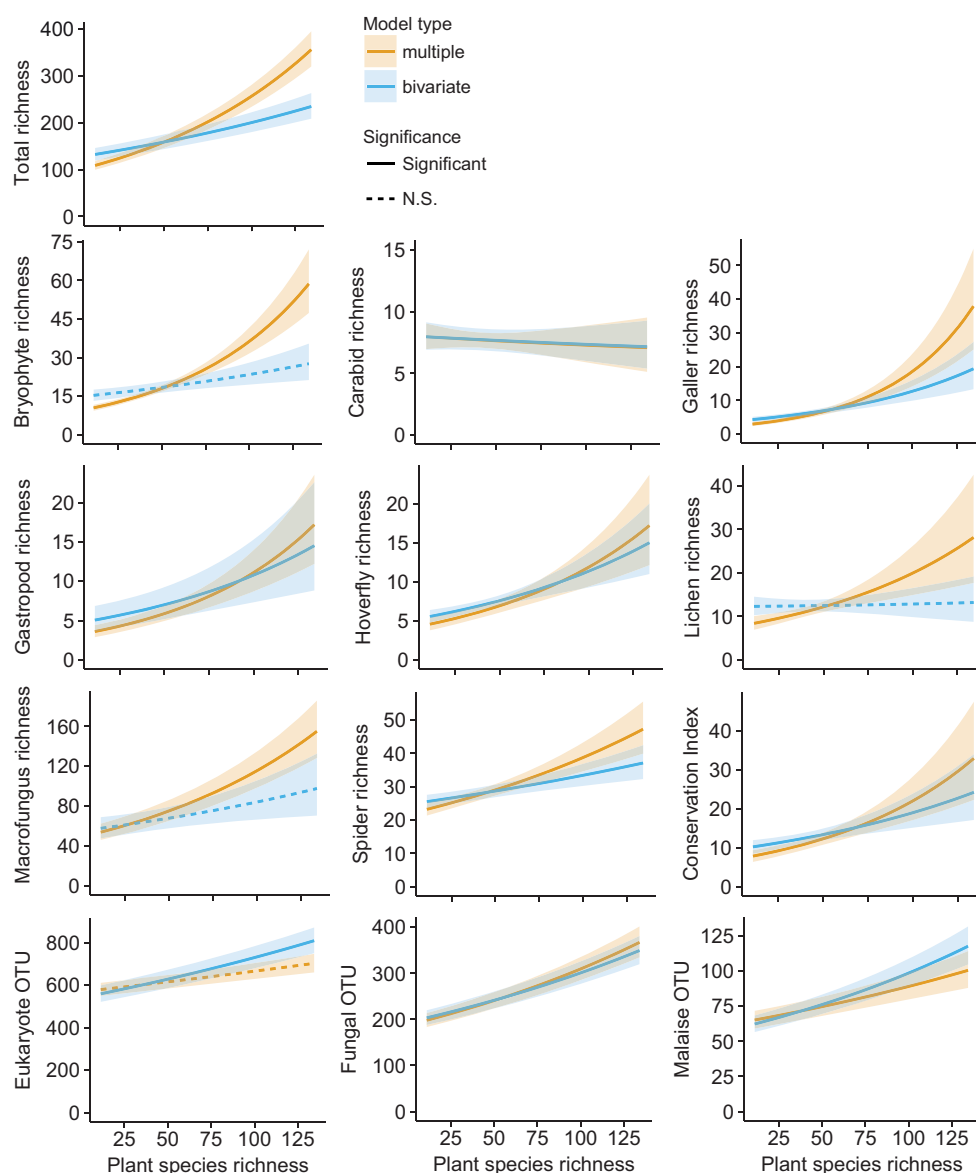
Et af de spørgsmål som meldte sig i Biowide, var om planterne måske kan forklare en del af diversiteten af de efterfølgende led i fødekæden – eksempelvis de dyr og svampe, som ikke selv kan opbygge organisk stof ved fotosyntese. Spørgsmålet var både relevant i forbindelse med forståelsen af hvordan økologisk rum skal defineres, men også i en mere anvendt kontekst, idet planter udgør kernen i de fleste programmer for kortlægning og overvågning af natur og biodiversitet.

Biowide-data er som skabt til at undersøge dette spørgsmål, og vi opdeltede analysen på dyregrupper med forskellig levevis og udvidede analysen til også at omfatte tre genetiske mål for artsrigdom, nemlig antallet af OTU-sekvenser af svampe og eukaryoter fra jordbunden og insekter fra malaiseprøverne (flyvende insekter fanget i teltfælder). Endelig indgik også et indeks over rødlistede arter fra alle andre grupper end planter.

Resultatet af analyserne var at antallet af plantearter ikke er nok til at udtale sig generelt om artsrigdommen af andre grupper. Derfor inkorporerede vi planternes indikatorværdi for miljøforhold som pH, fugtighed, lys og næringsstatus i modellerne. Disse indikatorværdier er sat i system for Europas flora i form af de såkaldte Ellenberg-tal for planternes foretrukne vækstforhold, og ved at tage gennemsnitlige Ellenbergværdier for planterne i en prøveflade, kunne vi bygge modeller hvor artsrigdommen af andre grupper blev en funktion af dels miljøforholdene og dels planternes artsrigdom. Disse multiple regressionsmodeller kunne forklare mellem 12 og 54% af variationen i artsrigdommen af andre artsgrupper og væsentligt mere end de bivariate modeller, hvor kun planteartsrigdom indgik. Desuden viste planteartsrigdom sig at være en generelt positiv og signifikant indikator for rigdommen af andre arter efter at miljøet var taget med i modellen. Kun for løbebiller og eukaryot OTU-rigdom var der ikke en positiv effekt af planteartsrigdom.

Brunbjerg, A.K., Bruun, H.H., Dalby, L., Fløjgaard, C., Frøslev, T., Høye, T.T., Goldberg, I., Læssøe, T., Hansen, M.D.D., Brøndum, L., Skipper, L., Fog, K. & Ejrnæs, R. (2018). Vascular plants are strong predictors of multi-taxon species richness. *bioRxiv*, 252999.

Figur 1. Effekten af planteartsrigdom på rigdommen af forskellige artsgrupper - inklusive rigdommen af OTU'er (Operational Taxonomic Units) fra DNA-sekvensering og på et Conservation Index over rødlistede arter. Blå linie viser effekten estimeret fra en bivariate regression, og gul linie viser effekten estimeret fra en multiple regression. Stiplede linier er ikke signifikante effekter, fuldt optrukne er signifikante.



Figur 2. Samlet forklaret variation fra de bivariate og multiple regressionsmodeller.

HVILKE PLANTEARTER GIVER STØRST DIVERSITET AF SVAMPE OG INSEKTER?

Hans Henrik Bruun & Rasmus Ejrnæs

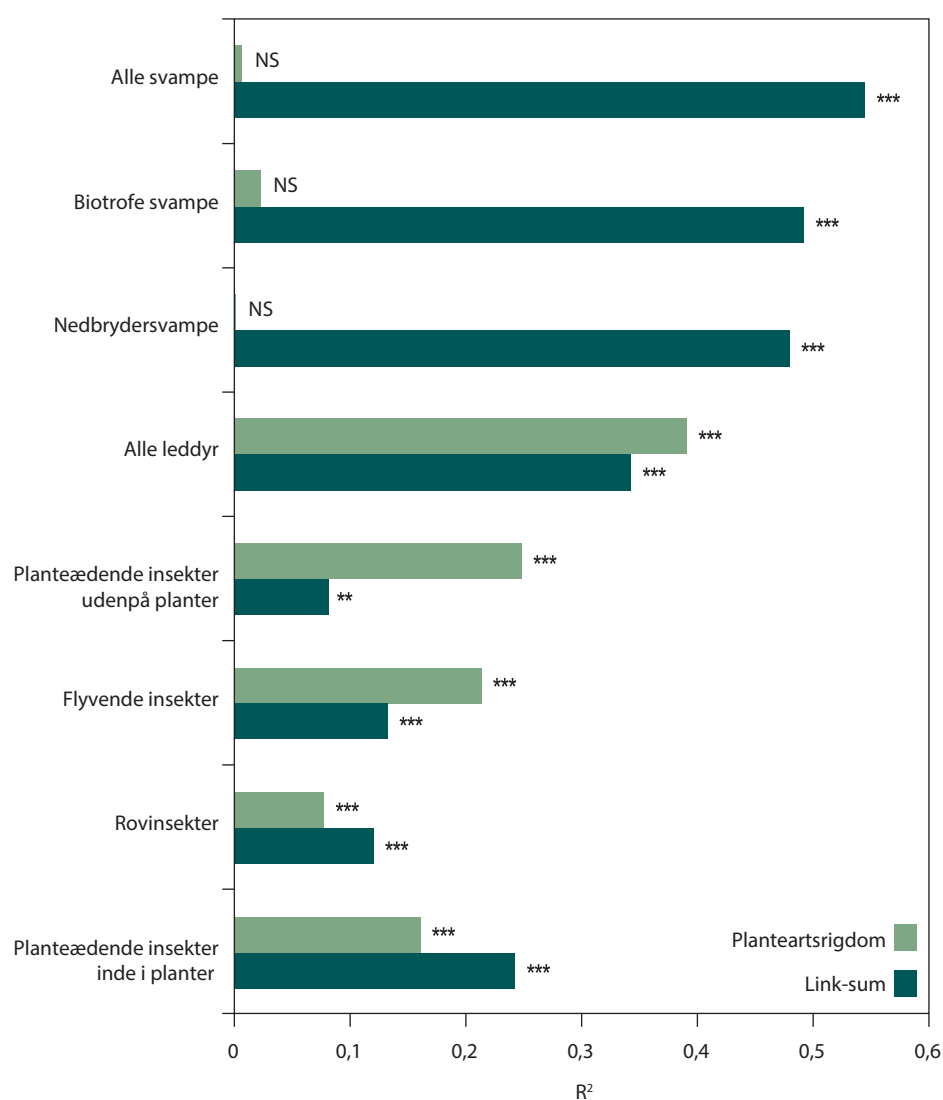
Vi har fundet ud af at planternes artsrigdom indirekte kan fortælle os en masse om mangfoldigheden af insekter og svampe. Men fra litteraturen ved vi også, at visse plantearter understøtter mængder af tilknyttede bestøverinsekter, planteædende insekter, mykorrhizasvampe o.s.v., mens andre arter kun har få arter tilknyttet. Ydermere er hovedparten af de planteædende insekter og mider knyttet snævert til en enkelt art eller slægt af planter. Hver plantearart udgør altså i sig selv et specialiseret levested, men for et meget variabelt antal specialister, fra mindre end en håndfuld insekter på enebær til over hundrede på hassel. Det rejser spørgsmålet om vi ud fra en planteartsliste kan opstille en endnu bedre indikator for den samlede biologiske mangfoldighed ved at tage højde for forskelle i den artspulje af specialiserede insekter og svampe der er knyttet til hver slags plante.

Der er en mængde mulige grunde til at visse plantearter har en større tilknyttet artspulje end andre, fx størrelse og livslængde. Man ved at der er flere arter knyttet til store træer, der også kan blive meget gamle, end der er knyttet til en lille enårig art af siv. Plantearter der er vidt udbredte, lokalt talrige og som har været i landet i årtusinder, har – alt andet lige – også flere arter af insekter og svampe tilknyttet.

Vi har brugt data indsamlet i Biowide-fladerne til at efterprøve de beskrevne hypoteser. Data for hvor mange svampearter der er knyttet til hver plantearart fik vi fra Svampeatlas, mens vi hentede data for planteædende insekter og mider i en stor nordeuropæisk database. Fra dette udgangspunkt afprøvede vi to forskellige veje. Dels sammentalte vi blot antallet af kendte insekt- og svampearter knyttet til de plantearter, der var til stede i hver prøveflade. Dels beregnede vi – ud fra plantearternes karaktertræk (størrelse, livslængde, udbredelse og hyppighed o.s.v.) – en forudsagt artsrigdom af tilknyttede arter. Det gjorde vi blandet andet for at vise om metoden kunne virke i en anden egn af verden, hvor databaser som de nævnte ikke findes.

De foreløbige resultater ser meget lovende ud. Hvor planternes artsrigdom slet ikke viste nogen sammenhæng med svampenes artsrigdom, så kan planterigdommen vægtet med antallet af tilknyttede svampearter lede frem til en ganske fin forudsigelse af den svamperigdom vi faktisk har fundet i prøvefladerne (se figur). Og det gælder både for mykorrhizasvampe og for nedbrydersvampe. For de planteædende insekter og mider virker vores model knap så godt som for svampene, og bedst for galledannende og minerende dyr. For omkringflyvende insekter og for planteædere der sidder udenpå planterne var der ikke noget vundet ved at kende artspuljen af tilknyttede insektarter. For dem virkede den rå artsrigdom af planter udmærket.

Vi er på denne måde kommet et skridt videre i forståelsen af hvordan planternes artsrigdom og deres diversitet af størrelser og livsformer udvider det økologiske rum for plante-tilknyttede svampe og dyr.



Figur 1. Vi har bygget modeller til forudsigelse af antallet af forskellige grupper af svampe og insekter som funktion af enten artsrigdommen af planter eller summen af mulige links (værtsskaber for dyr og svampe) for de plantearter der fandtes i hver af de 130 prøveflader. Søjlerne viser R^2 , altså et udtryk for hvor meget af den variation i artsrigdom vi finder mellem Biowide-fladerne som kan forklares af henholdsvis planteartsrigdom og link-sum. Fungi = Alle svampe, Symbionts = biotrofe svampe, Decomposers = Nedbrydersvampe, Arthropods = Alle leddyr, Ext. herbivores = Planteædende insekter udenpå planter, Flyers = flyvende insekter, Predators = rovinsekter, Int. herbivores = Planteædende insekter inde i planter (galler og miner). NS= Ikke signifikant, ** = $p < 0,01$, *** = $p < 0,001$.

Ejrnæs R., Brunbjerg, A.K., Frøslev, T.G., Høye, T.T., Heilmann-Clausen, J., Dalby, L. & Bruun, H.H. Predicting local consumer biodiversity from plant niche space. Manuscript in preparation.

ARTSRIGDOM I DET ØKOLOGISKE RUM

– FORSKNING I PROCES!

Rasmus Ejrnæs & Lars Dalby

Den store lakmestest i Biowide består i at repræsentere alle aspekter af det økologiske rum med indsamlede data, og dernæst undersøge om det kan bruges til at forklare variationen i artsrigdommen af forskellige organismegrupper. Dette projekt er endnu i en uafsluttet proces, og delresultaterne ser lovende ud. Ecospace konceptet fungerer som den overordnede metamodel. Med udgangspunkt i den har vi startet dette arbejde med at opstille en kausal model med forlæg i det som hedder Structural Equation Modelling (SEM). Her definerer man forskellige typer af relationer mellem variabler – fx kan næringsstatus, som er en del af en prøveflades "position", have betydning for produktionen af biomasse og sammensætningen af planter, som igen kan påvirke artsrigdommen af svampe eller leddyr. Vores arbejdsmodel for en SEM kan ses i nedenstående figur.

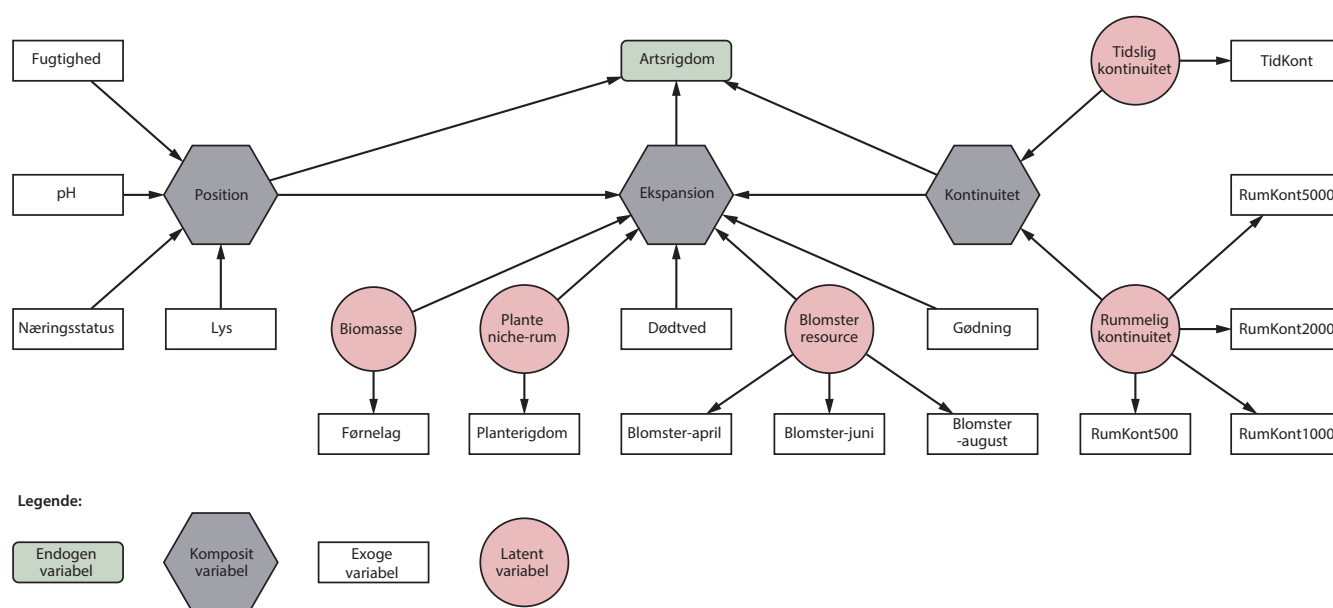
Vi forsøgte at bruge en SEM til at modellere karplanternes artsrigdom med, men idet planterne selv udgør de centrale dele af *ekspansion*, blev modellen så enkel, at vi lige så godt kunne bruge det mere fleksible værktøj som en generaliseret lineær model udgør. Her kan man lettere arbejde med poisson-fordelte data (tælledata for artsantal) og der er flere muligheder for at transformere forklaringsvariabler og kigge på diagnostiske plots over fordelingen af modelernes residualer.

En af de vigtige forklaringer på planterigdom som er blevet fremhævet i den nyere videnskabelige litteratur er de evolutionært og historisk bestemte artspuljer. Hvis der er mange arter som er tilpasset et miljø og som har formået at indvandre til et landområde, så vil der også være mange arter på lokaliteten. For at inddrage denne effekt har vi beregnet en økologisk artspuljevektor som funktion af det abiotiske miljø (position i det økologiske rum) og en geografisk artspuljevektor som funktion af prøvefladernes UTM-koordinater i Danmark. Disse vektorer er beregnet ud fra alle danske karplanters Ellenbergværdier og antallet af arter i Atlas Flora Danica ruderne som funktion af deres geokoordinater. Altså uafhængige data.

Modellen af karplanterigdom viser en tydelig effekt af abiotisk position, idet den økologiske artspulje og pH begge påvirkede artsantallet i positiv retning. Den økologiske artspulje forudsiger at der er flest arter knyttet til relativt lyse og basiske miljøer med moderat fugtighed. Desuden viste modellen en stærkt negativ effekt af kultivering, idet prøveflader med skovbrug og især landbrug havde færre arter, end prøveflader som ikke var i kultur. Dette er ikke overraskende, al den stund at kultivering sigter på at fremme en foretrukken afgrøde på bekostning af uønskede plantearter. Endelig kunne vi observere en svag positiv effekt af den geografiske artspulje, som forudsiger flest arter i prøveflader i den syd-østlige del af Danmark. Overraskende var der ikke nogen signifikant positiv effekt af tidlig eller rumlig kontinuitet. Selvom disse er vanskelige at kortlægge, kunne man godt have forestillet sig en effekt. Heller ikke landskabets tæthed af udyrket natur havde en effekt som kunne registreres på prøvefladens artsrigdom af planter.

Vi har lavet en tilsvarende GLM-model for svampene, men her udgår artspuljevariablerne som ikke kan beregnes på uafhængige datasæt for svampene. Dog kan plantelinks siges at være en slags artspulje, idet det er en vektor som siger noget om hvor stor artspulje af svampe som er knyttet til de planter som forekommer i prøvefladen. I dette lys er det interessant at plantelinks har den klart største effekt – svarende til effekten af økologisk artspulje for planterne. Artsrigdom har altså en stærk evolutionær komponent. Desuden var det interessant, at de øvrige ekspansionsvariabler – dødt ved, gødning og førne – alle havde en signifikant positiv effekt på svamperigdom.

Dalby, L., Bruun, H.H., Brunbjerg, A.K., Høye, T.T., Svenning, J.-C., Frølev, T.G., Fløjgaard, C., Moeslund, J.E. & Ejrnæs, R. Ecospace effects on multi-taxon species richness across gradients in terrestrial ecosystems. Work in progress.



Figur 1. Kausalt diagram for en Structural Equation Model (SEM) baseret på Økologisk Rum. Her eksemplificeret med en model for herbivore leddyr. Modellen søger at forklare variation i artsrigdom ud fra de tre teoretiske konstruktioner: Position, ekspansion & kontinuitet (her kompositte variabler). En række målte miljøvariabler (exogene variable) og en række latente variable er kausale indikatorer for de teoretiske konstruktioner. De latente variable, som er variable der ikke er målt direkte, er beskrevet af én eller flere effektindikatorer, der igen er exogene variable observeret og målt i felten.

Table 1. GLM med negativ binomial varians for artsrigdommen af karplanter og storsvampe. Effektstørrelser, reduktion i deviance og P-værdi er vist for signifikante variable ($p < 0,05$, Chisq-test). Modellernes pseudo r^2 og uforklarede deviance er også angivet nederst i tabellen. De forklarende variable er opdelt i variable som beskriver position, ekspansion og kontinuitet samt co-variable, som ikke er en del af det økologiske rum.

Økologisk rum	Variabel	Niveau	Planterigdom			Svamperigdom		
			Effekt	Deviance	P-værdi	Effekt	Deviance	P-værdi
	Skæring		3,76		***	3,66		***
Position	Økologisk artspulje		0,32	114,0	***	-	-	-
Position	pH		0,23	36,6	***			NS
Position	Lys-intensitet				NS	-0,16	8,2	**
Position	Jordfugtighed				NS	-0,14	9,3	**
Position	Næringsstatus	Lineær			NS	0,03	6,6	*
Position	Næringsstatus	Kvadratisk			NS	-0,12	19,2	***
Ekspansion	Plantelinks		-	-	-	0,30	198,7	***
Ekspansion	Dødt ved		-	-	-	0,15	9,9	**
Ekspansion	Gødning		-	-	-	0,15	10,8	**
Ekspansion	Førne		-	-	-	0,06	7,8	**
Kontinuitet	Tidslig kontinuitet				NS			NS
Kontinuitet	Rumlige kontinuitet				NS			NS
Co-variable	Kultivering	Skovbrug	-0,21	38,9	***	-0,21	10,5	**
Co-variable		Landbrug	-0,69			-0,56		
Co-variable	Geografisk artspulje		0,04	8,3	***	-	-	-
Residualer				132,4			154,7	
Pseudo r^2			60 %			64 %		

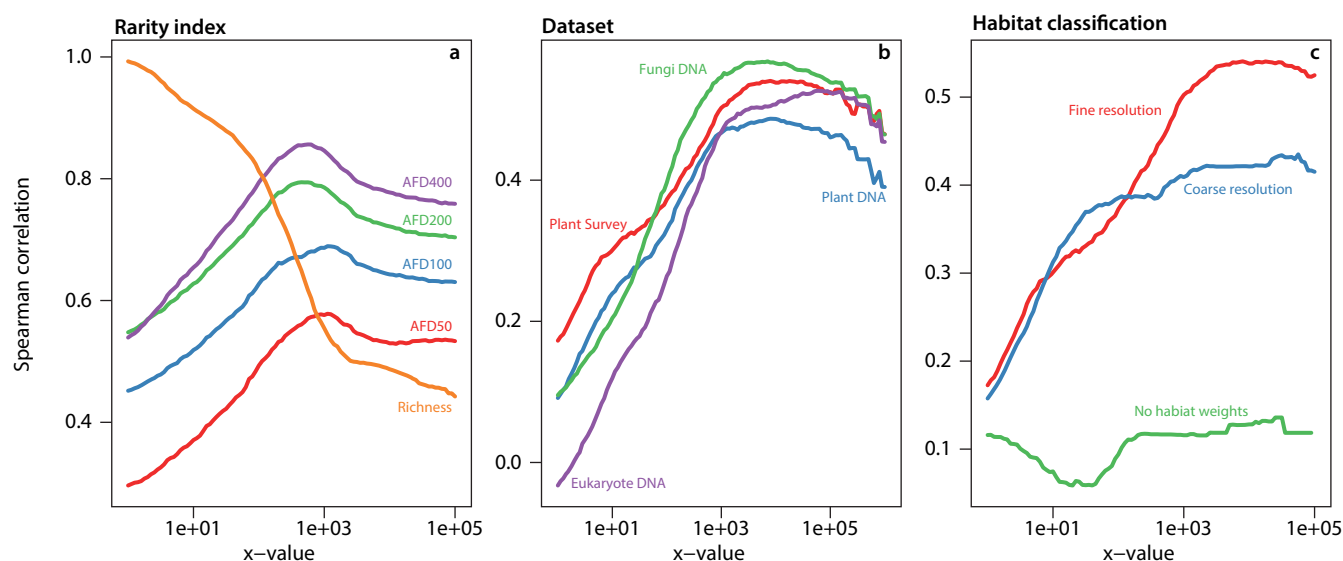
HVORDAN DEFINERER MAN EGENTLIG UNIKHED FOR EN LOKALITET?

Rasmus Ejrnæs

Vi har arbejdet meget med at forstå variationen i artsrigdom i Biowide, men når vi taler om naturbeskyttelse, er man ofte mere interesseret i om der er sjældne og truede arter. Det kan man let lave en optælling af, når vi taler om karplanter eller fugle, hvor vi har omfattende atlasundersøgelser, senest Atlas Flora Danica, som har kortlagt plantearternes nationale udbredelse. For andre artsgrupper er vores viden mindre fuldstændig, men så kan man måske bruge rødlistens vurdering af arternes trusselskategorier. Men også her kommer vi til kort for mange arter, da det kun er knapt en tredjedel af alle kendte danske arter som er rødlistevurderet.

Med afsæt i Biowides mange artsdatasæt har vi opstillet en formel for unikhed som bygger på en beregning af sandsynligheden for at møde hver af de forskellige arter eller OTU'er som vi har fundet i en tilfældig prøve. Denne sandsynlighed er en funktion af artens hyppighed i de habitater, som den findes i, og af disse habitaters udbredelse i Danmark. På den måde vil sandsynligheden for at finde en art som er registreret på en mark altid være høj fordi markerne er så udbredte i Danmark, mens en art som udelukkende forekommer i gammelt ugødsket kalkgræsland, og måske endda er sjælden på dette levested, vil have en meget lille sandsynlighed for at blive fundet i en tilfældig prøve. Formlen for unicitet – eller *uniquity* som vi har døbt det på engelsk, ser sådan her ud:

$$U = \sum_{i=1}^m (1 - \sum_{j=1}^n q_{ij} * r_j)^x$$



Figur 3. Korrelationer mellem beregnet unicity og uafhængige mål for "unikhed" for stigende værdier af skalaparameteren X. 3a viser korrelationer med antallet af plantearter med forekomst i færre end 50, 100, 200 og 400 Atlas Flora Danica ruder (ud af 1300 mulige) og med artsrigdommen i prøvefladerne. 3b viser korrelationer med antallet af rødlistede arter, men for unicity beregnet på fire forskellige datasæt, nemlig planter, plante-DNA, svampe-DNA og eukaryot-DNA. 3c viser korrelationer for tre forskellige habitatvægte – en med høj opløselighed, hvor vi arbejder med 48 forskellige habitattyper med forskellige nationale udbredelser, en med lav opløselighed, hvor vi inddeler habitaterne i tre hovedkategorier og en beregning helt uden habitatvægte.

Hvor unicity (U) er summen af de enkelte arters bidrag fra art "i" til "m", og artens bidrag er defineret som sandsynligheden for at arten IKKE findes i "X" prøveflader, hvilket svarer til 1 minus sandsynligheden for at arten findes i en prøveflade opløftet til en potens af "X". Sandsynligheden for at arten findes i en prøveflade er givet ved summen af sandsynlighederne for alle de habitattyper arten forekommer i og sandsynligheden for disse er givet ved artens frekvens i habitattypen (Q_{ij}) ganget med habitattypens andel af det samlede undersøgte landareal (f_j).

X er en parameter som vi argumenterer for udtrykker den rumlige skala som man ønsker at evaluere unicity på. Hvis man sætter X til 0, så kommer alle arter til at tælle 1 point, og så bliver unicity = artsrigdom. Jo større X man vælger, jo mere vægt vil man lægge på artenes sjældenhed, og til sidst vil man kun lægge give point til arter som forekommer en enkelt gang i en meget sjælden habitattype. Analyser på Biowidedatasættet viser at en X på omkring 1000-10000 giver unicitetsværdier som korrelerer bedst med uafhængige mål såsom antallet af rødlistearter eller sjældenhedsindeks baseret på planternes kendte udbredelse fra Atlas Flora Danica. Unicity viser sig at være et stærkere mål end andre brugte mål for unikhed af biotiske samfund.

Ejrnæs, R., Frøslev, T.G., Høye, T.T., Kjøller, R., Oddershede, A., Brunbjerg, A.K., Hansen, A.J., Bruun, H.H. Unicity: A general metric for biotic uniqueness of sites. Under revision for Biological Conservation.

BIOWIDE:

HVAD HAR VI SÅ LÆRT?

Rasmus Ejrnæs, Toke Thomas Høye, Tobias Guldborg Frølev, Camilla Fløjgaard & Hans Henrik Bruun

Selvom vi slet ikke er færdige med at uddrage viden af de indsamlede Biowidedata, så har vi allerede lært en masse, og nedenfor har vi gjort et forsøg på at uddrage essensen.

UDLÆGNINGEN AF PRØVEFLADER

Den store udfordring med at finde steder i Danmark som kunne repræsentere forskellige økologiske referencesituationer, mindede os om hvor lidt natur vi har tilbage, som ikke er overvejende præget af skovbrug, landbrug eller infrastruktur. Landet er gennemskåret af stier og veje, vegetationen er modificeret ved såning, plantning, ukrudtsbekæmpelse, tynding og hugst af træer, vandet er afledt gennem grøfter og dræn og der er tilført næringsstoffer aktivt eller passivt alle vegne. Vi lagde ud med en målsætning om prøveflader på 100 x 100 meter, men måtte resignere og reducere til 50 x 50 meter og hurtigt derefter til 40 x 40 meter da større prøveflader ikke var mulige at udlægge i de sidste relikter af græsland på stejle skrænter, små urørte skovpartier og små grundvandspåvirkede moser uden grøfter. Det var også en udfordring at få tilladelser til at lave videnskabelige undersøgelser. Mange lodsejere takkede nej til vores henvendelse med begrundelse i hensynet til jagtinteresser og privatlivets fred. Desuden viste det sig, at være svært at overholde aftaler om at prøvefladerne skulle friholdes fra indgreb i de fire år undersøgelserne varede. Måske siger det bare noget om hvor meget vi mennesker hele tiden blander os i naturens gang – ikke en plet på Danmarkskortet ligger hen i flere år uden en eller anden form for drift, pleje eller omlægning. Vi havde bevidst fravalgt hav, søer, vandløb og saltpåvirkede strandenge, og vi havde været forsigtige med at medtage meget forstyrrede økosystemer som strande og hvide klitter. Men bortset fra det kan vi se af vores analyser, at det lykkedes os at repræsentere stort set al den variation vi i øvrigt kender fra landbaserede økosystemer, fra krat og naturskove over moser, klitter og græsland til dyrkede marker og plantager. At vi kom i mål skyldtes i høj grad at der var lodsejere – offentlige som private – der takkede ja til at huse projektet.

KORTLÆGNING AF BIODIVERSITET

Vi har gennemført en omfattende kortlægning af biodiversiteten på landjorden og selvom vi kun har inventeret et samlet areal svarende til ca. 50 fodboldbaner, har vi alligevel fundet mange tusinde arter af planter, dyr og svampe. Erfaringerne viser at dette kun er muligt hvis man kan ansætte eksperter inden for de mange forskellige grupper af arter. Vi var heldige, at der stadigvæk findes eksperter som vi kunne knytte til projektet. Inden for flere af de vanskelige artsgrupper er de førende eksperter i dag arbejdsløse eller daglejere, og det er svært at tolke dette anderledes end, at beslutningstagerne i samfundet generelt ikke tillægger det nogen synderlig værdi at have et stort kendskab til den danske biodiversitet. Det er i hvert fald ikke nødvendigvis en evne som bliver belønnet med fast ansættelse i den akademiske verden længere. På trods af dette dystre perspektiv, valgte vi i Biowide at være optimistiske og bruge de ansatte eksperter til at etablere en mesterlære-ordning i projektets løbetid. Ordningen bestod i at dygtige og engagerede amatører blev inviteret med ud at registrere arter under ledelse af Biowides eksperter i mosser, galler og miner, laver og storsvampe, og desuden blev der afholdt velbesøgte kurser og oplæring i sortering og artsbestemmelse af de indsamlede leddyr

på Naturhistorisk Museum i Århus. Dette har styrket interessen for naturhistorie og kompetencerne i artsbestemmelse, især blandt biologistuderende og engagerede amatører. Til gengæld viste det sig at projektet var mindre egnet til at frivillige kunne registrere arter efter eget valg og i eget tempo. De data som skulle bruges til sammenligninger på tværs af fladerne, måtte nødvendigvis indsamles på sammenlignelige måder, og når man skal sikre ensartet kortlægning af 130 flader fordelt i hele Danmark, så er det ikke længere en ferietjans, men hårdt arbejde.

De kortlivede og mobile insekter og ustadige svampefrugtlegemer har ikke overraskende budt på særlige udfordringer i Biowide. Selv efter flere indsamlingsrunder og med flere forskellige indsamlingsmetoder taget i brug, er vi stadig langt fra at have fundet alle arter af svampe og hvirvelløse dyr i fladerne – også selvom vi på forhånd havde udelukket nogle af de mindste og sværeste artsgrupper såsom de fleste af tovingerne (fluer og myg m.fl.) og sæksvampene. På trods af disse begrænsninger har vi oparbejdet et enestående datasæt over Danmarks landbaserede biodiversitet, og det har været spændende og lærerigt for de aktive at være med i.

KORTLÆGNING AF DET ØKOLOGISKE RUM

Hvad bestemmer biodiversiteten? – det er et af tidens store uløste videnskabelige spørgsmål. Biowide bygger på idéen om økologisk rum som forklaringsramme for variation i biodiversiteten. Men vi har været lidt på gyngende grund, da der ikke findes nogen facitliste man lige kan slå op i, og derfor har vi selv måttet udvikle konceptet og finde de bedst egnede metoder. Vi har brugt dataloggere til mikroklima, plotfri tæthedsestimering til rigdommen af blomster, gødning og dødt ved, og opmålinger med klup og målebånd til træer og dødt ved. Noget af det som har givet flest grå hår i hovedet har været kortlægningen af tidslig og rumlig kontinuitet. Sådant en prøveflade har jo mange forskellige egenskaber, og hvor mange af disse skal være uforanderlige i tid og rum før det tæller? Tag eksempelvis et pilekrat som er startet med enkelte små pilebuske på en eng eller mose, men efterhånden gradvist har lukket sig til et tæt krat. Det er en proces som kan forløbe over flere årtier, men hvornår kan man sige at pilekrattet som vi har undersøgt i år 2014 var etableret som pilekrat? Nogle arter fandt deres levested, da den første pilebusk indvandrede og andre først da den ældste pilebusk døde og der var tilgængeligt dødt ved. Kortlægningen af rumlig-tidslig kontinuitet har derfor nødvendigvis været delvist baseret på ekspertvurderinger – også fordi naturkortlægning og historiske kilder langt fra er lige så detaljerede som alle de informationer vi har om vores prøvefladers biologi og miljøforhold. Mens vi fører detaljeret logbog over arealdisponering og hændelser på de nyttige areal med landbrug og skovbrug, føres der ikke arealstatistik over de unyttige naturarealer, så man er henvist til tolkninger af flyfotos og grove arealkategorier såsom skov og §3-natur.

DNA OG LIDAR

I Biowide har vi budt de nyeste metodiske landvindinger velkommen og satset en væsentlig del af projektet på at indsamle jordprøver og ekstrahere og sekvensere DNA'et i jorden (såkaldt metabarcoding) med henblik på at blive klogere på nogle af alle de arter som vi ikke umiddelbart kan finde med traditionelle metoder, eksempelvis rundorme og mikrosvampe. Samtidig har vi haft som formål at evaluere om metabarcoding i denne form kan bruges til at kortlægge biodiversitet med. Vores analyser viser, at det faktisk er muligt at få et retvisende billede af både sammensætningen og diversiteten af arter som efterlader DNA-spor i jordbunden. Undervejs til denne erkendelse har vi dog selv måttet udvikle metoder til bioinformatisk oprensning af sekvensdata, og her har det store Biowide-datasæt været til stor nytte. Vores evalueringer viser også at hvis

man skal repræsentere hele biodiversiteten er det nødvendigt også at indsamle prøver af overjordiske substrater såsom planter og sten og måske er det også hensigtsmæssigt at indsamle prøver fra anderledes levesteder som fx myretuer, plantetuer, musegange, hule træer, poresvampe, kokasser og lignende. Vores resultater åbner helt nye perspektiver for en mere omfattende biodiversitetskortlægning i tid og rum ved hjælp af DNA-sekvensering. En af ulemperne ved DNA-metoderne er at referencebibliotekerne er så ufuldstændige og fejlbehæftede, at det endnu ikke er muligt at få en pålidelig identifikation/annotering af sine DNA sekvenser. I stedet må man arbejde med OTU'er – Operational Taxonomic Units.

Vi har også undersøgt muligheden for at bruge nationale LiDAR-datasæt til at forudsige variation i landjordens artsrigdom. Potentialerne for dette er store, og eksempelvis kan vi vise hvordan LiDAR overbevisende reproducerer de effekter som følger af stigende kompleksitet i vegetationen fra lysåbne plantesamfund til krat og skove. En af de artsgrupper som i særlig grad responderer på denne gradient er jo svampene.

PLANTER SOM INDIKATORER FOR DEN BREDE BIODIVERSITET

Den traditionelle tilgang til naturkortlægning og naturovervågning er baseret på velkendte grupper som fugle og særligt planter. Planter udmærker sig ved at være stedtilknyttede, afspejle de gældende miljøforhold, nogenlunde lette at bestemme og mulige at registrere i mange af årets måneder uanset vejrforholdene. Desuden er der planter i de fleste landbaserede økosystemer. Derfor satte vi os for at bruge Biowide-data til at undersøge om planterne kan repræsentere den øvrige biodiversitet. Vores analyser viser helt enkelt, at det kan de godt, men kun hvis man inddrager planternes miljøindikation i analyserne. Hvis man alene kigger på artsrigdommen af planter eller på forekomsten af sjældne planter, så er der ingen garanti for at dette har nogen udsagnskraft for andre organismegrupper. Men hvis man bruger planternes indikation af pH, jordfugtighed, næringsstatus og lys, så viser det sig at der for langt de fleste organismegrupper er en god forudsigelse og en helt generel positiv effekt af planternes artsrigdom. Steder med mange forskellige planter er altså alt andet lige også steder med mange arter af dyr og svampe.

Vi er også gået et spadestik dybere og har spurgt, om nogle planter giver levesteder for flere dyr og planter end andre, og her er svaret at de "bedste" levesteder er knyttet til flerårige planter, planter som er hjemmehørende i Europa, træer og buske frem for urter, vedplanter som kan danne ekto-mykorrhiza og planter som er almindelige i Danmark. Med denne viden kan man forbedre forudsigelserne af svampenes artsrigdom ud fra vegetationen. Det kniber mere med rigdommen af insekter, men det skyldes antageligt at mange insektarter er generalist-rovdyr eller generalist-planteædere eller de er parasitter på andre insekter. Ser vi isoleret på insekter som lever inde i planter – altså i galler og miner, så kan vi ligesom for svampene forbedre forudsigelserne ud fra forekomsten af plantearter der byder på mange levesteder.

HVAD KAN SÅ FORKLARE ARTSRIGDOMMEN AF PLANTER?

Vores analyser af planternes artsrigdom viser at der er flest arter af planter i miljøer som har udviklet et stor artspulje af planter i evolutionær tid. Artspuljerne er generelt større i centrum af det økologisk rum end i periferien, dog med en forskydning mod lysåbne og kalkrige miljøer. Og artspuljerne er lidt større i det østlige Danmark på Sjælland, Lolland, Møn, Fyn og Østjylland end i Nord- og Vestjylland. Effekterne af artspuljerne afspejler sig også i vores Biowidedatasæt. Når man har taget højde for dette, er der stadigvæk signifikante positive effekt af stigende pH og en stærk negativ effekt af den kultivering som kendetegner landbrugsarealerne. Lidt overraskende kan vi ikke finde signifikante effekter

af tidlig og rumlig kontinuitet. Det er ligeledes en overraskelse at der ikke kan ses en signifikant negativ effekt af høj næringsstatus. Dette skyldes muligvis at der i modellen er indbygget en positiv effekt for lysåbenhed i artspuljen, at nogle af de artsrige ellesumpe netop har en høj næringsstatus og at der er en stor negativ effekt for landbrugspåvirkning i modellen.

HVAD KAN FORKLARE FOREKOMSTEN AF UNIKKE ARTER?

Vi er klar over at artsrigdom ikke er det samme som biodiversitet. På større skala vil der være en stigende betydning af sjældne arter, og ofte vil de være sjældne som følge af menneskeskabte miljøforandringer. Der er udviklet metoder til at prioritere netværk af beskyttede områder som til sammen beskytter flest mulige arter, men der er ikke så mange metoder til at vurdere en konkret lokalitets unikke bidrag til biodiversiteten. Den enkleste tilgang er naturligvis blot at tælle antallet af sjældne eller unikke arter som forekommer på lokaliteten, men for mange af de arter vi har kortlagt, kender vi ikke deres nationale udbredelse og for store dele af den kortlagte genetiske diversitet har vi ikke engang navne på arterne. Vi valgte i stedet at definere unikhed som en skalerbar parameter, som tildeler alle arterne på et sted en generel unikhedsværdi som udtrykker sandsynligheden for at arten ikke bliver fundet i en undersøgelse af en vis størrelse. Forudsætningen for at kunne gøre dette er at man har en *a priori* viden om hvor stor en del af landskabet en prøveflade repræsenterer. Eksempelvis repræsenterer vores dyrkede marker jo ca. 60% af landskabet, mens et ekstremrigkær som Vandplasken eller Uggerby Strand repræsenterer under en promille af landskabet. Vi har kaldt vores nye unikhedsmål for *unicitet* – på engelsk *uniquity* – og vi kan demonstrere at det også kan beregnes ud fra genetiske data. Samtidig viser vores data, at *unicitet* er nøje knyttet til levestedernes sjældenhed. Dette er måske banalt, men det giver altså mening at bevare sjældne levesteder, fordi de bidrager uforholdsmæssigt meget til biodiversiteten overordnet set i det omkringliggende landskab.

HVAD HAR FORSKNINGEN I ØKOLOGISK RUM LÆRT OS?

Fokus på økologisk rum har været en slags dogmeregulering i Biowide. Vi har tvunget os selv til at designe projektet og analysere data med økologisk rum som den bærende forskningsidé hele vejen igennem. Dette fokus har naturligvis begrænset os på nogle måder, men har samtidig gjort det muligt at undersøge interessante hypoteser om hvad der egentlig kan forklare variation i vores biodiversitet. Nogle af de resultater vi har fundet er trivielle, men når man som forsker leder efter dokumentation for banale sammenhænge som alle er enige om, viser det sig ofte, at der ikke findes empirisk evidens for disse. Eksempelvis kunne vi godt have gættet på at store, almindelige, længelevende og hjemmehørende plantearter byder på flere levesteder for dyr og svampe end andre planter, men nu kan vi faktisk også vise at det forholder sig sådan. Tilsvarende har vi kunnet vise, at planter helt generelt er gode indikatorer for den øvrige biodiversitet. Men vi har også kunnet vise, at det forudsætter at man udnytter hele den økologiske information som ligger i plantelisten og ikke nøjes med at tælle plantearterne. Mere overraskende har det været at den formodede positive effekt af tidlig og rumlig kontinuitet på artsrigdom er vanskelig at demonstrere i praksis, men måske gemmer der sig en endnu uopdaget effekt på de sjældnere arter af kortlivede insekter, som vi endnu mangler at finde? Vores datasæt egner sig også fremragende til at undersøge nogle af de helt nye metoder til naturkortlægning og vi har således kunnet evaluere svagheder og fordele ved eDNA og flybåren scanner. Når man kigger nye steder hen i sin forskning, finder man også nogle gange overraskende resultater – eksempelvis er det overraskende og endnu uforklarligt, at ektomykorrhizadannende vedplanter har flere tilknyttede insekter end andre tilsvarende planter i den danske flora. Tilsvarende har det været en aha-oplevelse for de

fleste af Biowides forskere, at nogle af de mest artsrige prøveflader er gamle tilgroede og forsumpede krat. Sådanne krat med pil, birk, el, ask, bævreasp, gran, fyr og en række forskellige buske har ikke nogen særlig høj status i naturforvaltningen. Man kan derfor frygte at de vil blive ryddet for at fremme et landskab med mere åbne enge og moser. Her kan Biowide minde naturforvaltningen om værdien af de tilgroede krat.

FREMTIDEN

Biowide afsluttes nu, men datasættet, analyserne og arbejdet med at publicere de mange spændende resultater vil fortsætte i de kommende år. Biowides *afterlife* er allerede blevet til virkelighed inden projektets afslutning, idet DNAMark projektet under støtte af Aage V Jensens fonde har inddraget prøvefladerne i Biowide i udviklingen af en generelt metode til kortlægning af biodiversitet ved hjælp fra eDNA. Tilsvarende indgår de indsamlede jordprøver og DNA-data i Soil Tracker projektet med støtte fra Innovationsfonden, et projekt som undersøger muligheden for at bruge genetiske spor fra jordrester i retsgenetiske analyser i forbindelse med politimæssigt opklaringsarbejde. Vi byder alle forslag til at udnytte de indsamlede informationer i Biowide velkomne og stiller data til rådighed for den fremtidige forskning.