NINA Minirapport **70**

Overvåking avdekker klimarelaterte forandringer i norsk natur

Eksempler med utgangspunkt i DN-finansierte overvåkingsdata

Annika Hofgaard
Tycho Anker-Nilssen
Inga E. Bruteig
John Atle Kålås
Erling J. Solberg



NINA Norsk institutt for naturforskning

LAGSPILL ENTUSIASME INTEGRITET KVALITET

NINA • Tungasletta 2 • 7485 Trondheim
Telefon 73 80 14 00 • http://www.nina.no

Samarbeid og kunnskap for framtidas miljøløsninger

Overvåking avdekker klimarelaterte forandringer i norsk natur

Eksempler med utgangspunkt i DN-finansierte overvåkingsdata

Annika Hofgaard, Tycho Anker-Nilssen, Inga E. Bruteig, John Atle Kålås, Erling J. Solberg

1 Innledning

Kunnskapsbehovet om biologiske/økologiske responser som skyldes klimaendringer, og variasjonsbredden på responsene, har økt mer og mer i de siste årene i takt med økt innsikt om menneskets påvirkning på klimasystemet (IPCC 2001). Kunnskapsbehovet er svært stort til tross for at det nå begynner å finnes mye nasjonal og internasjonal litteratur som utgår fra analyser av dataserier for enkeltarter (for eksempel Post et al. 1997; Loison & Langvatn 1998; Hofgaard et al. 1999; Yoccoz & Ims 1999; Stenseth et al. 2002; Durant et al. 2003) eller analyser og sammenstillinger av en rekke dataserier (for eksempel Mysterud et al. 2002; Parmesan & Yohe 2003; Root et al. 2003). Globale klimafenomen som El Niño Southern Oscillation (ENSO), North Atlantic Oscillation (NAO) og Arctic Oscillation (AO) har stått i fokus for mange av studiene noe som gjort at responsenes variasjonsbredde i tid og rom fått mindre fokus i litteraturen og i debatten om effekter av klimaendringer.

Norges geografiske beliggenhet, store breddegradsgradient og mengden av naturtyper innebærer at variasjonsbredden til responsene på endringer i klimaet blir svært stor mellom for eksempel organismegrupper, økosystem og ulike deler av landet. I tillegg så varierer responsene på endringer i klimaet mye mellom ulike tidsperioder (Mysterud et al. 2000; Solberg et al. 2002, Durant et al. 2004). Dette innebærer at en ikke kan forvente lineære responser på endringer i ulike klimaparametere over lengre tid noe som først blir tydelig når en har tilgang til lange tidsserier.

Lange tidsserier dvs. data fra overvåking er helt uunnværlig også fordi overvåkede arter eller system inngår i større komplekse systemer og sjelden responderer gjennom enkeltmekanismer, men i korrespondanse med øvrige komponenter i systemene. Kompleksiteten i økosystemene (både responser og de komponenter som inngår) gjør at data fra langsiktige overvåkingsprogrammer aldri kan erstattes av for eksempel kortsiktige programmer eller eksperimenter der deler av systemene inngår. Slike kortsiktige studier eller eksperimenter gir imidlertid verdifull informasjon om funksjonen hos viktige involverte enkeltmekanismer men ingen informasjon om hvordan arter i den samlete helheten responderer i ulike tidsperioder.

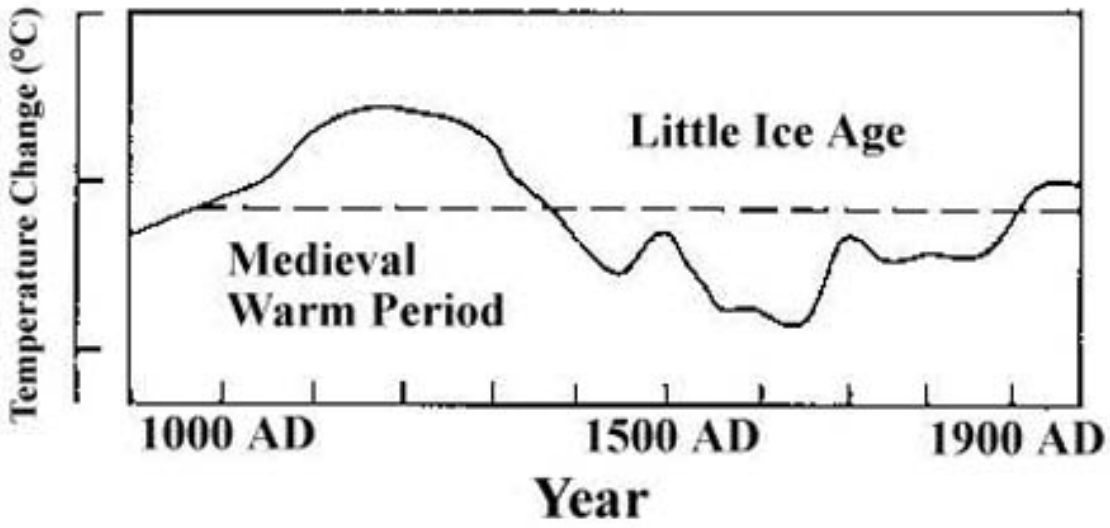
I tillegg er det viktig at de registrerte responsenes relevans med hensyn til klimaet settes inn og diskuteres i en større tidsmessig sammenheng enn lengden på de enkelte dataseriene. Med andre ord bør relevansen vurderes i et utvidet tidsperspektiv fordi ulike responser på populasjons- og artsnivå er avhengige av tidigere klimatiske hendelser (eller andre hendelser), den etterfølgende utvikling og av endringer i menneskenes utnyttelse av systemet der den overvåkede arten eller biotopen inngår (se Sprugel 1991; Hofgaard 1997, 1999; Scheffer et al. 2001). Ikke minst vil ulike sider ved menneskets arealbruk og forurensningseffekter som eutrofiering kunne virke sammen med klimaendringer og gi en sammensatt respons hos arter og andre økosystemkomponenter.

Denne rapporten setter fokus på disse komplekse sammenhengene og på behovet av lange tidsserier (overvåkingsdata) for å spore og analysere klimarelaterte forandringer i norsk natur, kunnskap som er uunnværlig i forvaltningssammenheng.

2 Klimaets naturlige variasjon og endring

Klimaet endrer seg naturlig over tid både i forhold til utslagene i ulike klimavariabler (amplitude) og i forhold til hyppigheten (frekvensen) i endringene. Hvor stor del av klimaets utvikling de naturlige klimaendringene står for er avhengig av hvilket tidsperspektiv en betrakter. På lang sikt vil de naturlige endringene overskride de menneskeskapte.

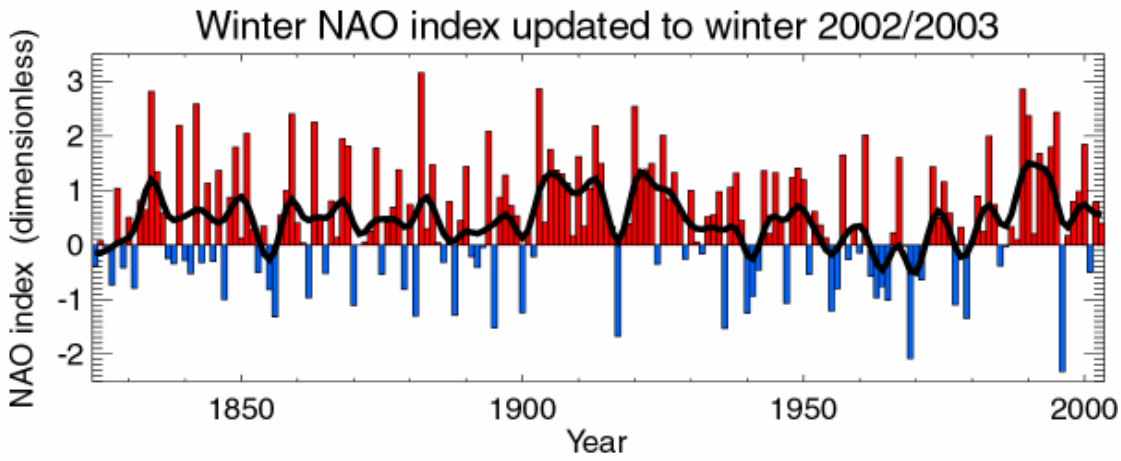
Det klimasystem vi har i dag ble etablert for ca to millioner år siden og karakteriseres av vekslinger mellom relativt lange istider (ca. 100 000 år) og korte mellomistider (ca. 10-15 000 år). Ved slutten av siste istid for ca 20 000 år siden ble klimaet raskt varmere hvilket resulterte i den mellomistiden vi nå befinner oss i. Oppvarmingen nådde sitt maksimum for ca 6000 år siden da temperaturen i Norge var 1-3 grader høyere enn i dag. Siden da har klimaet blitt kaldere og de breene vi finner i landskapet i dag, er et resultat av denne klimaforverringen. Klimaforverringen har imidlertid ikke vært kontinuerlig. Vikingtida og utover i middelalderen var en avvikende klimatisk gunstig periode som fremmet spredning av arter mot nord og opp i fjellet, og den lille istid (ca 1450-1880, se Grove 1988 for mer informasjon) var en periode med økt klimaforverring som f. eks resulterte i vekst av breer, tilbaketrekking av skog og tregrenser og fraflytting fra bosettinger i marginale klimatiske områder.



Figur 1: *Temperaturforandring på nordre halvkule i de siste 1000 årene (cf. Grove 1988).*

I løpet av de siste ca. 100 - 150 år, dvs. tiden etter den lille istid, har den globale gjennomsnittstemperaturen igjen økt med 0,5-1^{o}C. Denne tidsperioden tilsvarer omtrent den tid som menneskelige utslipp kan ha ført til økt konsentrasjon av klimagasser og bidratt til temperaturøkningen, men både temperatur- og nedbørsvariasjonene i den perioden det har vært instrumentelle målinger i Norge (fra ca 1860) ligger godt innenfor den rekonstruerte naturlige variasjonen for perioden etter siste istid.

Generelt har klimaet i løpet av de siste ca 10-20 årene vært varmere og fuktigere enn flere av de foregående tiårsperioder. Særlig har vi opplevd flere varmere vintre, men endringer har funnet sted i alle årstider. Forandringene i senere år ligger innenfor den naturlige variasjonen i klimaet og sammenhenger med periodiske svingninger i mønstret av lavtrykk og høytrykk over Atlanterhavet. Disse svingningene eller mønstrene som benevnes North Atlantic Oscillation (NAO), har i den senere tid fått stor oppmerksomhet og illustreres ved hjelp av en sesongindeks beregnet på forskjellen i lufttrykk mellom Island, Azorene og Gibraltar.



Figur 2: *Vinterindeks for NAO i perioden 1821-2003*

Informasjon om NAO og dens endringer siden 1821 finnes på internettadressen www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao.htm. Siden midten av 1980-tallet har lavtrykkene om vinteren generelt fulgt en nordligere bane (positiv NAO indeks) og dermed gitt mildere og fuktigere vinterklima i nordlige deler av Europa. Vintrer med positiv indeks dominerte også på begynnelsen av 1900-tallet mens perioden 1930 til 1980 hadde en stor frekvens av år med lav vinterindeks og en klimatype som medførte kaldere og tørrere vintre. De atmosfæriske trykkforskjellene, og de bevegelsene av luftmasser som det innebærer, har størst påvirkning på norsk klima om vinteren men innvirker også på været i de andre årstidene.

3 Klimaets rolle og påvirking på arter og økosystem

Klimaforandringenes virkninger på arter og økosystemer kan ikke presenteres komplett med full dekning av alle mulige responsmønstre. Ethvert forsøk på det må mislykkes fordi responser på klimaendringer er spesifikke for hver art (i tillegg varierer responsen innen hver art avhengig av f.eks. genotype og omgivende samfunnsstruktur), geografisk område (bestemt av breddegrad, høyde, avstand til kysten) og tidsperiode i forhold til tidligere historie. Eksemplene i denne rapporten må sees i dette perspektivet og er valgt for å illustrere både ulike responsmønstre og behovet for lange tidsserier for å kunne vise mønstre og sammenhenger.

Innenfor temaet klimaendringer og effekter på det biotiske miljøet har en av de største bekymringene vært mulige endringer i grensene for utbredelsen av arter og økosystem. En rekke kart og grafer som projiserer framtidige utbredelsesmønstre er blitt publisert de siste tiårene. Disse prediksjonene er imidlertid basert på enkle forutsetninger som ikke innbefatter den økologiske kompleksiteten og heterogeniteten i responsene hos arter og økosystemer. Forventede endringer estimeres ved å framskrive sammenfall i nåværende utbredelsesgrenser og nåværende klimaforhold (som temperatur, nedbør og sesongmessighet) (jfr. Thomas et al. 2004). Imidlertid vil ikke grenser og utbredelsesmønstre respondere individuelt som enkeltorganismer på endringer i miljøet. En utbredelsesgrense er en biologisk overgangssone som må forståes som et rom- og tidsrelatert fenomen som ikke vil respondere lineært i forhold til miljømessige forhold (cf. Holtmeier 2003).

Hvordan arter fordeler seg i rom og antall innenfor sitt utbredelsesområde er resultat av interaksjoner med andre arter over tid, historiske og nåværende forstyrrelsesmønstre, regionale geografiske og topografiske forhold, habitattilgengelighet, nåværende og tidligere menneskelig aktivitet, og nåværende og tidligere klimaforhold. Utbredelsesgrenser, populasjonstetthet og demografiske trekk endrer seg dermed over tid og harmoniserer ikke nødvendigvis med nå-

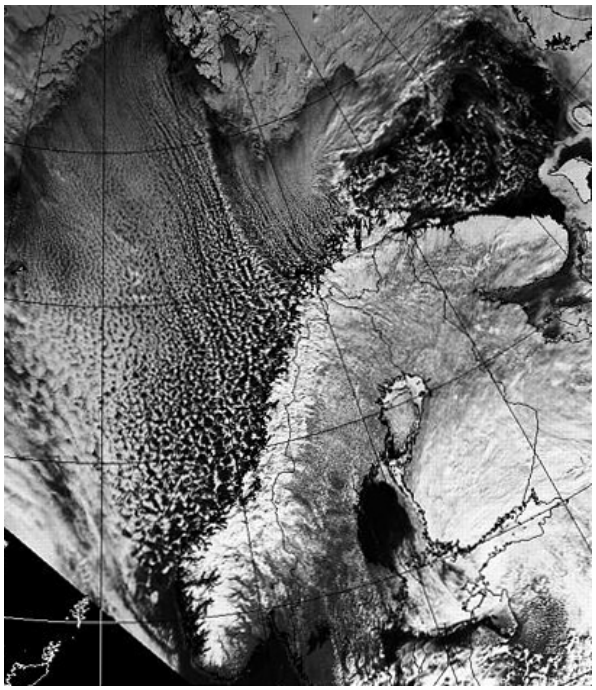
værende klima. Således vil ethvert mål for artsutbredelse, populasjonsdynamikk eller demografi reflektere et komplekst sett av nåværende og historiske påvirkingsfaktorer. Følgelig må alle analyser og tolkninger av klimaets betydning for arter og økosystem gjøres med stor forsiktighet.

Populasjonstrekk (for eksempel størrelse, dynamikk og demografi) kan således ikke forutsettes å være i balanse med nåværende klimaforhold og den økologiske avstanden til en teoretisk likevektstilstand kan knapt vurderes med særlig grad av sikkerhet. Det er vanskelig og ofte umulig å identifisere og vurdere historiske påvirkninger og underliggende årsaker til registrerte endringer. For eksempel kan planter overleve under svært harde klimatiske forhold ved lang levetid og vegetativ reproduksjon, og/eller de kan vise en forsinket respons i løpet av en periode med bedre klimaforhold pga hindringer i frøspredning eller mangel på passende habitater. Videre kan responser i dyrepopulasjoner skjules ved at menneskelig aktivitet påvirker overlevelse eller dødlighet i områder eller tidsperioder hvor klimaforholdene alene ville ha ført til en annen utvikling.

Imidlertid kan karakteristika for arter og populasjoner være nyttige verktøy og gi viktig informasjon om klimarelaterte endringer i naturen så lenge vi er i stand til å skille de ulike responsene fra hverandre og ikke undervurdere betydningen av annen menneskelig innflytelse på systemene gjennom tidene.

4 Effekter av klimaforandring i ulike tidsperspektiver

Under hele perioden etter siste istid har vekslinger i dominerende luftmasser (atlantiske vs. arktiske) over Norge styrt ikke bare klimaets utvikling men også økosystemenes utbredelse og struktur og arters vitalitet og vekst. Generelt ligger grensen for tørre og kalde arktiske luftmasser lengre sør om vinteren enn om sommeren men kan periodevis påvirke hele Skandinavia gjennom alle årstider.



Figur 3: *Tilførsel av arktiske luftmasser over Skandinavia vinterstid*

Balansen og posisjonen mellom luftmassene bølger over landskapet over tid og veksler mellom år (på tidsskalaen fra år til århundrer og årtusner) og gjennom alle årstider. Hyppigheten av ulike luftmasser på regionalt nivå og over tid har dermed resultert i de vegetasjonsregionene, utbredelsesgrensene og økosystemstrukturene vi ser i dag. Svingningene gir endrede vekstforhold for arter og populasjoner, men responsenes styrke (amplitude) varierer sterkt mellom arter og mellom økosystemer langs breddegrads-, oceanitets- og høydegradienter. Det er derfor viktig å ha et kombinert rom- og tidsfokus i studier og analyser av klimaforandringers effekter på biologiske systemer og være klar over de ulike skalaenes betydning for tolkningen av de mønstrene vi observerer.

Det Holocene perspektivet, dvs. forandringer over siste 10-15000 år, gir generelt sett tydelige data på effekter av storskalaendringer i klimaet, men detaljnivået i denne type data blir grovt og er helt avhengig av at biologisk materiale finnes oppbevart i ulike typer av "biologiske arkiv", f. eks plante- og dyrematerialе i ulike typer sediment. Analyse av oppbevart materiale kompliseres av at oppbevaringstiden varierer sterkt mellom ulike typer materiale og mellom arter. I tillegg representerer ulike typer materiale og arter ulike romlige skalaer f. eks pollen av furu som lett spres over store områder representerer landskaps- eller regionnivået, mens pollen av alm med sterkt begrenset spredningsevne presenterer lokal tilstedeværelse. Sammenlagt vanskeliggjør slike forhold tolkningen av hvordan tidligere økosystem var sammensatte og hvordan de har respondert på endringer i klimaet. Denne type data utgjør i stor grad basis for både rekonstruert historisk klima og rekonstruert økosystemstruktur som brukes som referanser for de forandringene vi ser i dag. Sammensettingen av de økosystem som danner dagens natur er imidlertid ikke identisk med de som formet de biologiske arkivene og kan dermed ikke forutsettes å respondere på samme måte på endringer i deres miljø.

Tidsserier for diametervekst hos trær (årringer) har i lang tid blitt brukt i studier av klimaeffekter på skog (vekst og vitalitet) og i rekonstruksjon av klimautviklingen sommerstid for store deler av perioden etter siste istid. Disse rekonstruksjonene forutsetter et konstant forhold mellom vekst og sommerklima over tid, noe som ikke er tilfelle.

Data fra de siste århundrene representerer responser i økosystem som har stor grad av likhet med dagens systemer, unntatt for jordbruksarealer som har gjenomgått en storskala forandring gjennom de siste århundrene. Det er også for arter knyttet til dette miljøet at det er påvist størst forandring i utbredelse og populasjonsstørrelse som følge av endringer i naturmiljøet. Registrerte forandringer skyldes først og fremst endringene i arealbruken og i mindre grad endringer i klimaet, men endringer i klimamønstre kan være en grunnleggende drivkraft for bruksendringer sammen med endringer i teknologi og økonomi i jordbruket.

Forandringer som skjer innen tidsperioder på ti år kan ikke generelt brukes som bevis på effekter av klimaforandring i den forstand at de skulle vise til en trend som avviker fra et tidligere mønster. Tiårsperspektivet viser arters og systemers svar på, eller iboende tilpassninger til, klimatiske variasjoner mellom år, og det meste av det som har vært omtalt i klimadebatten de senere årene faller i denne kategorien. Det kreves lengre serier for å kunne si noe om de forandringer som vises innenfor en tiårsperiode er del av eller tegn på et trendskifte eller om de bare representerer periodiske variasjoner.

Endringer i klima, uavhengig av om endringene skyldes naturlige svingninger eller menneskelig påvirking, gir endrede vekstforhold for plante- og dyrearter. Vekstsesongens lengde og vårens ankomst har spesielt stor eller lett observerbar innvirkning, men endringer i alle årets måneder har betydning. For eksempel så vil en tidlig start på våren gi tidligere vekststart, ankomst, blomsting eller egglegging for mange arter. Dermed øker muligheten for økt biomasse- og frøproduksjon, og bedre frøkvalitet hos planter, og for f. eks flere kull og/eller flere levedyktige unger hos mange dyrearter. Men dette forutsetter at etterfølgende sommer- og vintermåneder er gunstige for vekst, modning og overlevelse. En tidlig vår og start på vekstsesongen øker også risikoen for frostskader, svikt i mattilgang, og temporær destabilisering av etablerte interaksjoner mellom primærprodusenter og konsumenter.

5 Eksisterende tidsserier

Eksisterende tidsseriers potensial til å vise responser i forhold til klimaendringer varierer med serienes lengde, kontinuitet, kvalitet (f. eks variablenes relevans ut fra et klimasynspunkt) og geografisk representativitet. Få slike serier er arealrepresentative og dermed vanskelige å overføre eller bruke til generelle beregninger av effekter på regionalt og nasjonalt nivå men kan gi uvurderlig informasjon på lokal nivå.

De eldste tidsseriene som er vedlikeholdt inntil i dag er fra 1930-tallet og enkelte fra begynnelsen av 1900-talet. Dataene fra denne perioden er detaljerte men gir ikke informasjon om årlig variasjon. Dermed gir de først og fremst grovskalainformasjon om forandringer i f. eks populasjonsstørrelser og struktur i relasjon til dominerende klimatrekk på ulike analysetidspunkter men ikke informasjon om hvordan forandringen har skjedd i forhold til klimaets endringer over tid.

Innsamling av biologiske data er tidkrevende og kostnadskrevende. For arealrepresentative data med relevans for endringer i klimaet kreves ikke bare langsiktig innsamling av overvåkingsdata men også omfattende innsats på et antall likeartete arealer som samlet representerer et regionalt eller nasjonalt nivå. Dessuten vil resultate og verdier som er skapt gjennom datainnsamlinga kanskje bli tilgjengelige kanskje først flere titals år etter at besluttninger om finansiering og start av overvåkingsprogrammet er tatt. En ugunstig finansieringssituasjon for oppstart og vedlikehold av programmene kan derfor lett oppstå.

I de siste 10-20 årene har en rekke overvåkingsprosjekter med årlig datainnsamling blitt igangsatt (NFR 2003) i tillegg til noen eldre serier som ble igangsatt på 1960- og 70-tallet. Siden flere av disse overvåkingsseriene av arter og bestander nå begynner å få en klimarelevant lengde, så har de i økende grad blitt brukt i forskningssammenheng i de siste årene og produsert mye ny viten, for vitenskapsmiljøet, samfunnet og forvaltinga. De fleste seriene vil imidlertid først gi verdifull informasjon om responser på klimaforandring om noen år. Serienes store potensial forutsetter imidlertid at de vedlikeholdes og i enkelte tilfeller utbedres for å styrke deres klimarelevans.

Nedenfor gis tre eksempler på pågående overvåking finansiert av Direktoratet for naturforvalting. Disse eksemplene viser klimarelaterte forandringer i norsk natur de senere årene.

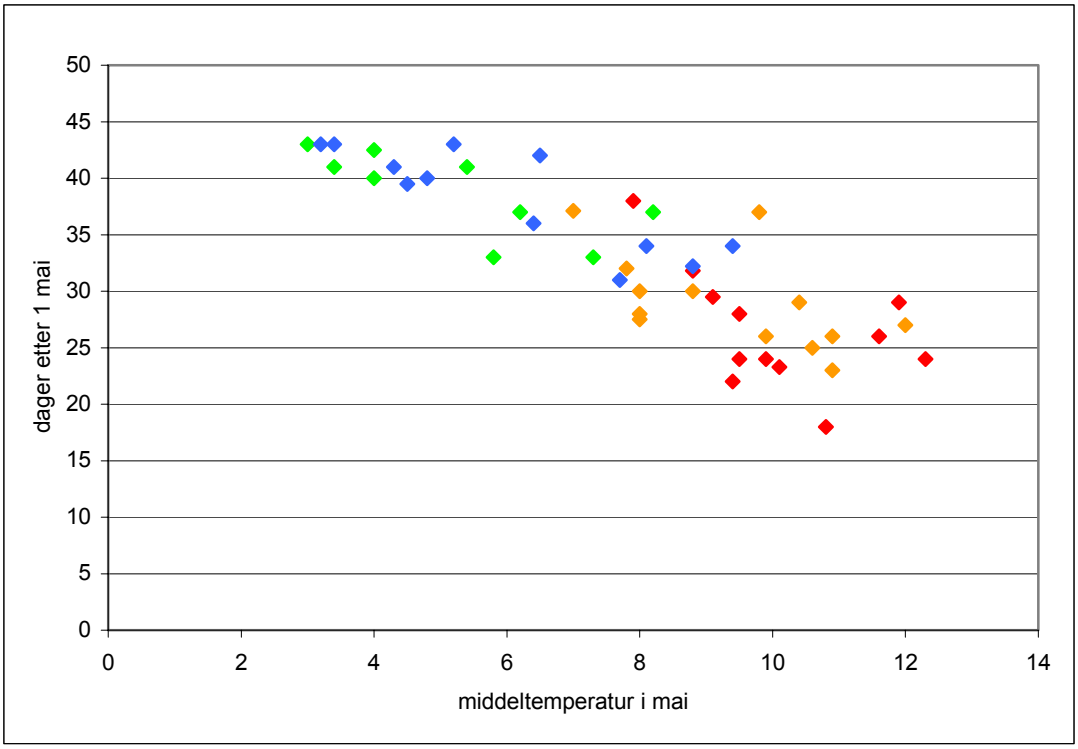
1. Terrestrisk naturovervåking, start 1990
2. Lundens populasjonsøkologi på Røst, start 1964
3. Hjorteviltovervåking, start 1960-70 tallet

De tre overvåkingsprogrammene representerer tre ulike geografiske områder, økosystem og overvåkingsperioder. Samlet for alle seriene er at de først etter relativt lang tid med datainnsamling gir tolkbare og klimarelevante resultater som kan brukes i forvaltningssammenheng.

5.1 Terrestrisk naturovervåking (TOV)

Terrestrisk naturovervåking i Norge (TOV) i perioden siden 1990 har vist at flere av de overvåkede komponentene viser endringer som kan knyttes til klimavariasjon i observasjonsperioden (Framstad et al. 2003). Grunnet observasjonsperiodens lengde kan det foreløpig ikke dras noen klare konklusjoner fra dataene, men moser i markvegetasjon og lav på trær har respondert med økt vekst under observasjonsperioden (konsistent med endringene i fuktighet/klima). Mengden moser i skogbunnen og lav på trestammer som har økt i søndre del av landet, som i løpet av perioden har fått lengre vekstsesong med gunstige fuktighetsforhold på grunn av varme, nedbørrike høster. Overvåkingen har også vist at fluesnappere starter egglegging tidligere på grunn av tidligere vår, men om dette har gitt arten en populasjonsvekst og en fordel sammenlignet med andre arter er enda uklart. Dette kan på sikt avdekkes ved fortsatt overvåking av systemet som helhet.

<u>Fluesnapper:</u> Sammenheng mellom eggleggingsdato og temperatur



Figur 4: *Median dato (regnet som dager etter 1. mai) for klekking av egg i første kull hos svarthvit fluesnapper i TOV-områdene Lund (rød), Solhomfjell (orange), Gutulia (grønn) og Åmotsdalen ((blå) sammenholdt med middeltemperaturen i mai.*

Figuren viser at det er en klar sammenheng mellom temperaturen om våren og tidspunktet for egglegging hos svarthvit fluesnapper. Dette gjelder trolig også for mange andre fuglearter. Temperaturen om våren det siste tiåret har vært ganske høy. Dette vil føre til at mange fuglearter starter hekking tidligere om våren, enten fordi de får tak i mer mat i form av insekter (som ofte responderer direkte på økt temperatur med raskere utvikling) eller fordi fuglene oppfanger sesongutviklingen gjennom plantenes utvikling.

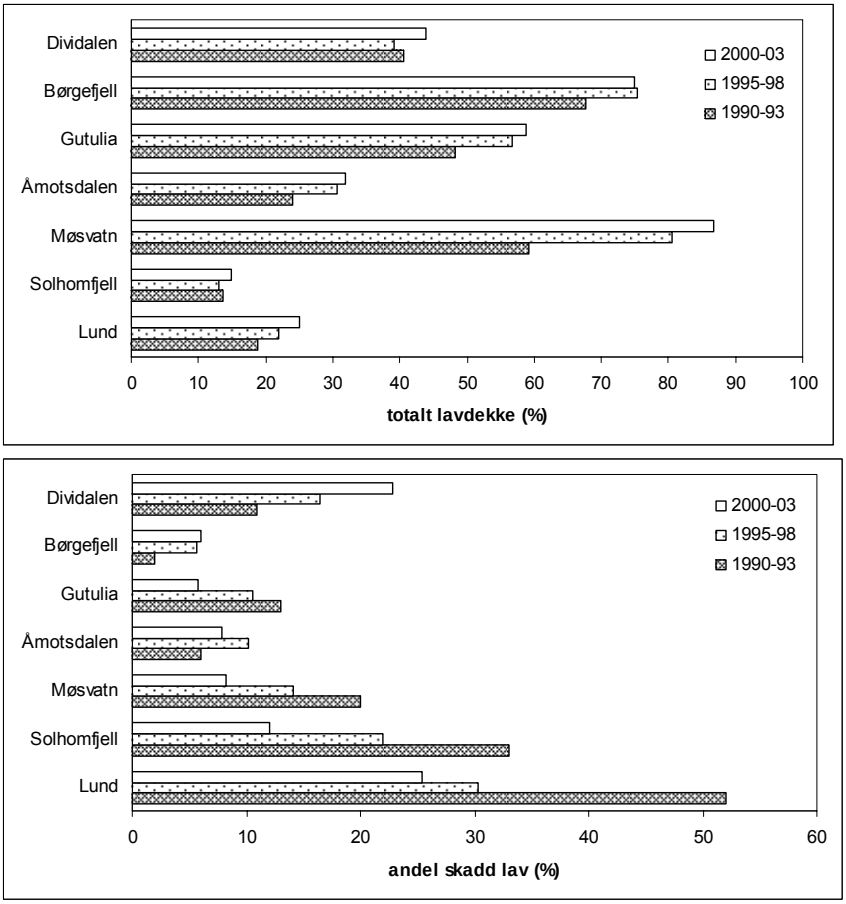
For de fleste artene av spurvefugl vil det være gunstig å starte hekking så tidlig som mulig på året, slik at ungene klekkes på et tidspunkt som gir muligheter for en lang oppvekstperiode og gjør at tilgangen på mat i denne perioden er best mulig. Det er dermed et sterkt evolusjonært press for tidlig egglegging hos mange arter. Dette gjelder imidlertid ikke alle arter, siden mange fugler er trekkfugler som kan være styrt av helt andre forhold enn klimaet i Norge. Dessuten vil vanligvis hunnfuglene også trenge betydelig tilgang på næring for å få utviklet eggene, slik at hekking vanskelig kan skje før mattilgangen er tilfredsstillende.

I første omgang kan vi vente at økte temperaturer om våren vil virke gunstig på bestandene av spurvefugler siden de kan få fram flere unger som overlever bedre. Om dette er gunstig eller ikke for økosystemene som helhet er imidlertid ikke klart. Framgang for noen arter vil vanligvis føre til tilbakegang for andre, og store endringer i artssamfunnene kan ha effekter på økosystemenes stabilitet og funksjon.

Lav:

Det er registrert høyere lavdekning på trærne ved andre og tredje gangs kartlegging i de fleste TOV-områdene. Økt lavdekning kan skyldes en kombinasjon av naturlig suksesjon ved at skogen blir eldre, og at sammensetningen av nedbøren (f. eks forurensningsinnhold) eller klimaet har blitt gunstigere for lavvekst. Tilsvarende er også observert for skogbunnsmoser i det nasjonale nettverket for intensivovervåking i skog, der TOV inngår (Økland et al. 2001). Dette blir tolket som en respons på klimatisk gunstige vekstforhold for skogsmoser i overvåkingsperioden, karakterisert av lange og/eller spesielt fuktige vekstsesonger (Økland et al. 2004). Lignende endringer er også registrert for lavfloraen i Nederland. Dette er blitt tilskrevet effekten av temperaturøkning de siste 10-15 årene (van Herk et al. 2002). I tillegg er nordlige arter i tilbakegang i Nederland, mens sørlige arter er i framgang. Det blir konkludert med at økt diversitet og økt dekning av både epifyttiske og terrestriske lavarter skyldes flere miljøfaktorer som virker i samme retning: nedgang i svoveldioksid i luft, økt innhold av ammonium i nedbør og global oppvarming. Utviklingen i Nederland de siste årene har gått i retning av en mer varme- og næringskrevende lavvegetasjon (van Herk 1999, van Herk et al. 2002). I de sørlige TOV-områdene er det registrert en framgang av svakt varmekjære arter som vanlig kvistlav, brunskjegg og furustokklav og en tilbakegang av den subalpine karakterarten snømållav. Dette er trekk som passer inn i det samme mønsteret.

Det er også mindre skade på lav i Sør-Norge i løpet av overvåkingsperioden, mens skadeomfanget har gått noe opp i Midt-Norge (Åmotsdal og Børgefjell) og betydelig opp i Dividal som ligger lengst nord.



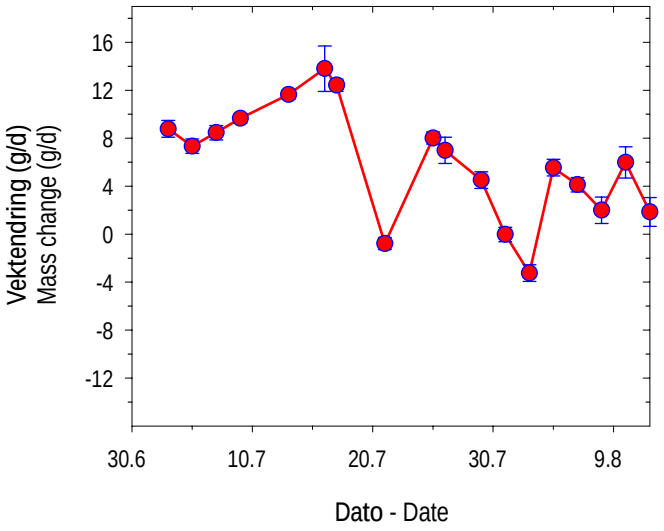
Figur 5: *Lavdekke og andel skadd lav (%) på bjørkestammer ved tre registreringsperioder for de syv TOV-områdene i årene 1990-2003.*

5.2 Lundens populasjonsøkologi på Røst

Data fra DNs langtidsfinansierte overvåking av lunde på Røst har i årene 2001-2003 vært brukt i prosjektet *The ecological effects of climate fluctuations and change (EcoClim): a multi-disciplinary and integrated approach* finansiert av Norges forskningsråd (se Anker-Nilssen og Aarvak 2004). I dette prosjektet er tidsseriedataene for lundebestanden på Røst blitt anvendt til å studere noen økologiske effekter av klimavariasjoner og en sentral analyseparameter var North Atlantic Oscillation (NAO) Index (se kapittel 2 ovenfor). Dessuten er Havforskningsinstituttets månedlige gjennomsnittsdata for sjøtemperatur og saltinnhold på ulike dyp fra to stasjoner i kyststrømmen nordøst for Røst benyttet i tillegg til lokale værparametere (bl.a. vindstyrke og vindretning) innsamlet på Røst i lundenes ungeperiode i perioden 1979-1998.

Resultatene av *EcoClim*-prosjektet er publisert i artikler i internasjonale tidsskrifter (Durant et al. 2003, 2004a,b) og blir ikke presentert i detalj her. En oppdatert fremstilling av de viktige problemstillingene og resultatene fra arbeidet gjengis i Anker-Nilssen & Aarvak (2004) og oppsummeres nedenfor, sammen med noen resultater fra enkelte andre klimarelaterte analyser av overvåkingsdata på lunde.

Variasjoner på liten skala i tid og rom: Ungevekst
En av hypotesene i prosjektet var at perioder med vedvarende kraftig vind over flere dager temporært vil redusere tilgjengeligheten av byttedyr for lundene. Dette vil i så fall forventes å bli reflektert ved parallelle endringer i hvor mye og hva slags type næring ungene blir tilbudt, f.eks. slik Anker-Nilssen & Aarvak (2002) beskriver som den mest sannsynlige forklaring på at ungeveksten i 2001 stagnerte i to perioder med stiv eller sterk kuling. En foreløpig analyse for et par av hekkesesongene avdekket ikke slike effekter, men kan skyldes for liten variasjon i værforholdene i de valgte sesongene, for lav oppløsning på vekstdata (måling av unger hver fjerde dag) og/eller at responsene er mer komplekse (ikke-lineære).

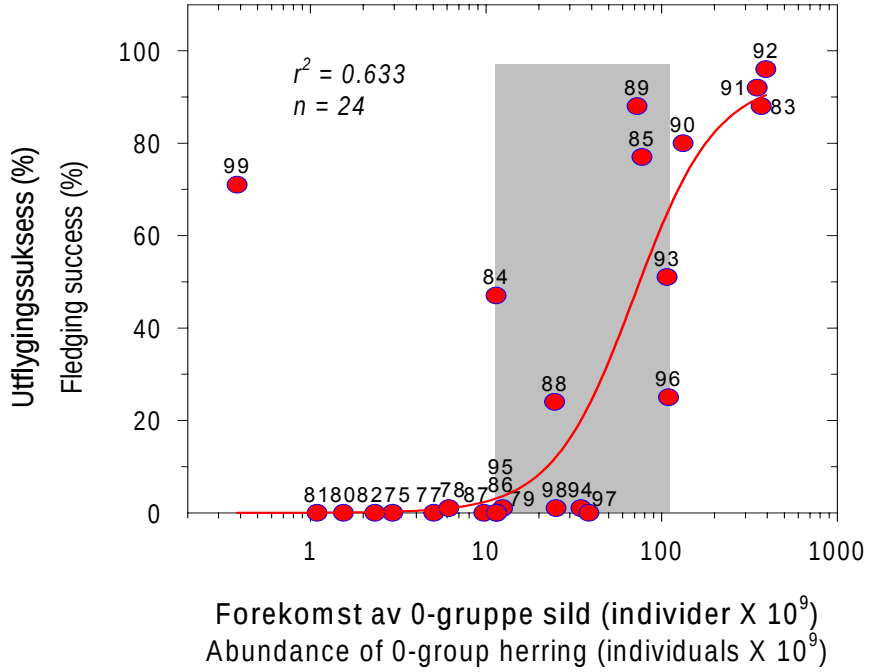


Tilfeller med stiv/sterk kuling ▲ ▲

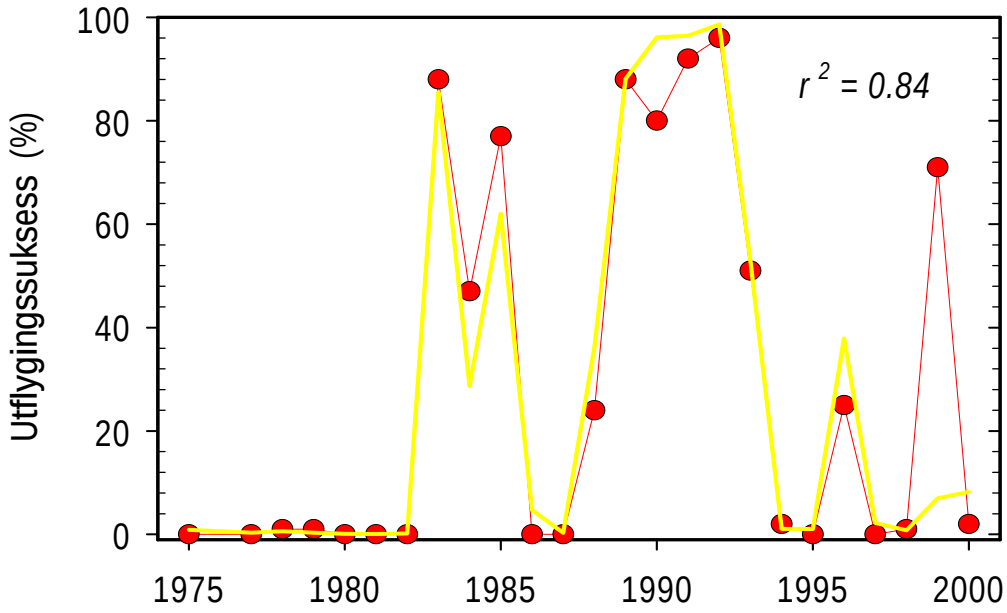
Figur 6: *Vektendring i gram per døgn for lundeunger i perioden fra slutten av juni til midten av august og betydningen av to tilfeller av sterk vind som vanskeligjorde foreldrenes næringsøk.*

Variasjoner på intermediær skala i tid og rom: Modell for utflygingssuksess
I en multivariat analyse av lundenes utflygingssuksess på Røst siden 1975 (Durant et al. 2003) ble 1) årlige mål for årsklassestyrke for 0-gruppe sild, 2) gjennomsnittlig sjøtemperatur på 0-75 m dyp ved Skrova i månedene mars-juli (de første levemånedene til 0-gruppe sild frem til de passerer Røstområdet) og 3) størrelsen på 0-gruppe sild i lundeungenes diett intro-

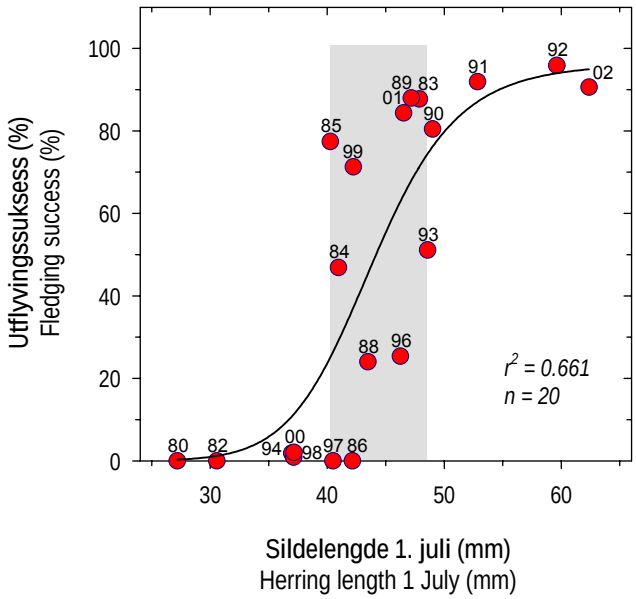
dusert. Modellen viste at de to siste variablene forutsier utflygingssuksessen i denne perioden med en sikkerhet på 84 %. Det eneste klare avviket var det dårlige sildeåret 1999, da ungene ble fostret opp på andre byttedyr og hekkingen likevel ble vellykket.



Figur 7: *Forholdet mellom årlig mengde av 0-gruppe sild og utflygingssuksess til lunde i perioden 1975-1999.*

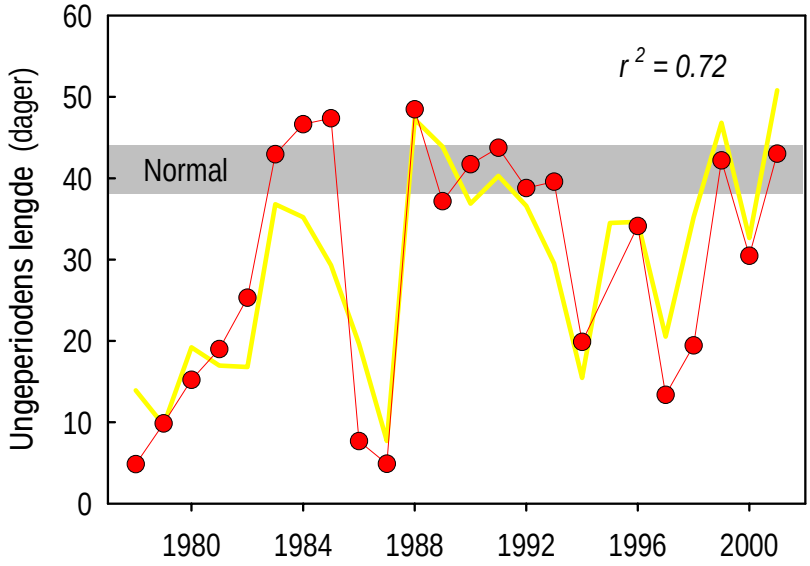


Figur 8*: Utflygingssuksessen hos lunde kan predikeres vha. temperatur i kyststrømmen på 0-75 meters dyp i mars-juli og størrelsen til sildeyngel i lundeungenes diett (røde symboler er observerte verdier, gul linje er modellprediksjon).*



Figur 9: *Forholdet mellom størrelsen på 0-gruppe sild i lundeungenes diett og utflyvingssuksess, 1980-2002.*

En annen analyse (Durant et al. manus) viser at ungeperiodens lengde er påvirket av kyststrømmens temperatur og salinitet på 0-20 m dyp i februar-mai (den viktigste produksjonsperioden for plankton), altså lenge før lundenes ungeperiode starter. Ungeperiodens lengde skiller langt bedre mellom dårlige år enn utflygingssuksess. Dette skyldes at det er så mange år (i snitt hvert annet) hvor omtrent samtlige unger dør i reiret. Resultatene viser at lundenes reproduksjon i stor grad er styrt av produksjonen på de laveste trofiske nivå (plankton), selv om effekten er indirekte via planktonets betydning for overlevelsen til 0-gruppe sild og andre av lundens pelagiske byttedyr.



Figur 10*: Ungeperiodens lengde hos lunde kan predikeres rimelig godt vha. temperatur og saltholdighet i kyststrømmen på 0-20 meters dyp i februar-mai (røde symboler er observerte verdier, gul linje er modellprediksjon).*

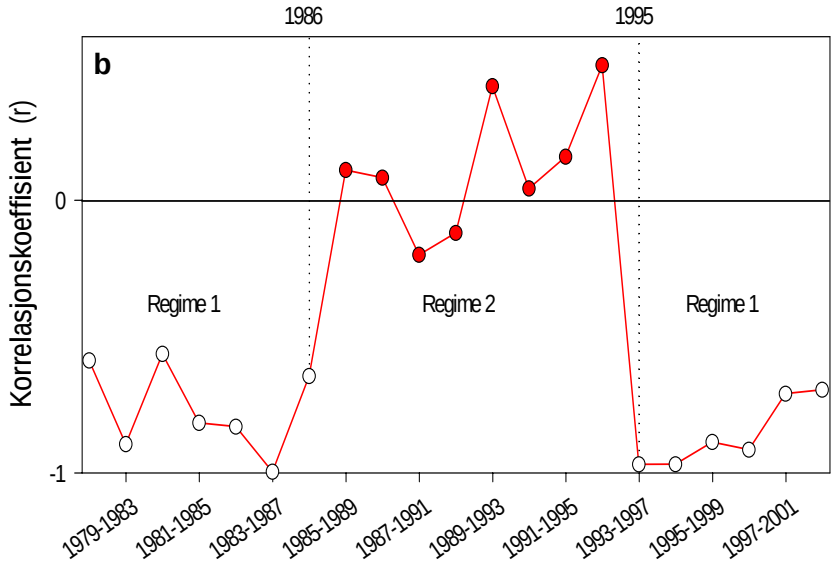
Variasjoner på stor skala i tid og rom: Hekkefuglenes overlevelse
Siden NAO er et storskalafenomen, forventes denne indeksen å reflektere viktige egenskaper ved miljøforholdene til lundene når de ferdes over store havområder utenfor hekkesesongen. Disse forholdene vil igjen påvirke fuglenes overlevelse og deres villighet til å investere energi i reproduksjon i en ny hekkesesong. Analyser bekrefter da også at den årlige variasjonen i lundenes overlevelse er positivt korrelert med ungenes utflygingssuksess i utgangsåret. Siden det er et sterkt samsvar mellom lundenes reproduksjon og den samtidige årsklassestyrken for sild, kan overlevelsen helt eller delvis være en indirekte effekt av fuglenes næringstilgang den første tiden etter avsluttet hekking. Videre varierer lundenes fangbarhet i hekkesesongen både med sildelengden og NAO vinterindeks, og er høyest for hannene. Dette kan indikere at hannen tilbringer mer tid sittende i kolonien, og er mindre villig enn hunnen til å delta i rugingen og/eller mating av ungen.

I en annen analyse (Harris et al. under utarb.) sammenligner vi overlevelsen til voksne lunder på Røst, Hornøy (Øst-Finnmark), Isle of May, Fair Isle (Skottland) og Skomer (Wales). Disse bestandene har utviklet seg svært ulikt, og deres utbredelse vinterstid er antatt å være forholdsvis lite sammenfallende. I tre av koloniene er overlevelsen påvirket av sjøtemperaturen omkring kolonien i hekkesesongen (mai-juli), men mens sammenhengen er positiv på Røst (høyere temperatur gir bedre overlevelse), er den negativ på Fair Isle og Skomer. Forklaringen ligger trolig i at bestandene er avhengige av ulike byttedyr som responderer ulikt på temperaturendringer.



***Figur 11: Lunde på snø**. I enkelte år kan reirinngangen være dekket av snø når lunden ankommer kolonien første gang i månedsskiftet mars-april. Dette er likevel ikke til hinder for lundene på Røst, i alle fall ikke med de rådende klimaforhold. (Foto © Erik Aspegren).*

Variasjoner på stor skala i tid og rom; Hekketidspunkt
Det er også påvist en klar samvariasjon mellom lundenes hekkestart (målt siden 1978 som gjennomsnittlig klekketidspunkt) og vinterindeksen for NAO (Durant et al. 2004a). Jo høyere indeks, dess tidligere hekking. Forholdet er likevel ikke konsekvent, men holder stikk en del år av gangen. Det var f.eks. ingen tydelig samvariasjon i årene 1987-94, i motsetning til periodene før og etter dette. Det er ikke i detalj kjent hvilke mekanismer som forklarer slike "regimeskifter", men både NAOs vinterindeks, samt hekkesuksessen og sildestørrelsen i det foregående året var forskjellige i de to regimene. I det regimet hvor det er samvariasjon mellom NAO og hekkestart, kan disse tre parametrene forutsi klekketidspunktet med en sikkerhet på 86 %.



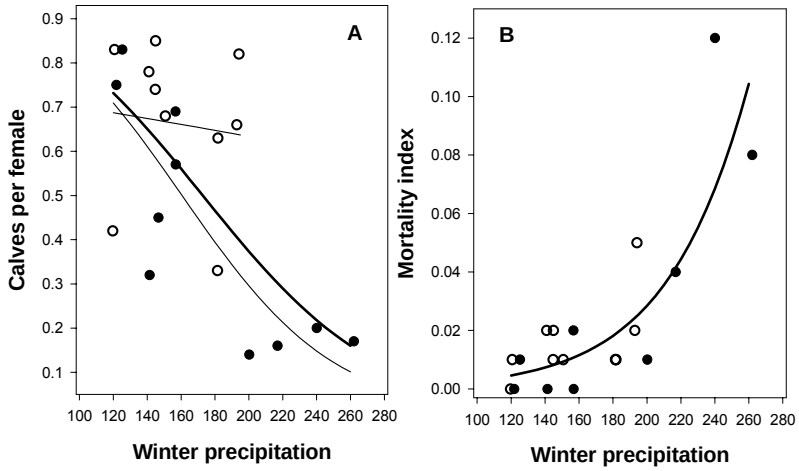
Figur 12: *Regimeskifte i samvariasjonen mellom lundenes hekkestart og vinterindeksen for NAO. Årene 1987-1994 oppviser ingen signifikant samvariasjon i motsetning til periodene før og etter.*

5.3 Hjorteviltovervåking

Hjort:
Analyser av årlige data på hjortens kjønn, alder, reproduksjon og slaktevekt i det naturlige utbredelsesområdet i Norge (Vestlandet, Møre og Romsdal, og sørvestre Sør Trøndelag) siden 1965 viser at klimaet har både direkte og indirekte innvirking på hjortebestanden. En rad ulike effekter av klimaet kan påvises på slaktevekter, reproduksjon og dødelighet og i sin tur på bestandsutviklingen (Loison et al. 1998, Post & Stenseth 1999, Mysterud et al. 2001). Spesielt vinterklimaet synes å ha en effekt. Harde vintre virker negativt på overlevelsen av kalver, mens milde vintre gir økt kroppsvekst og større dyr.

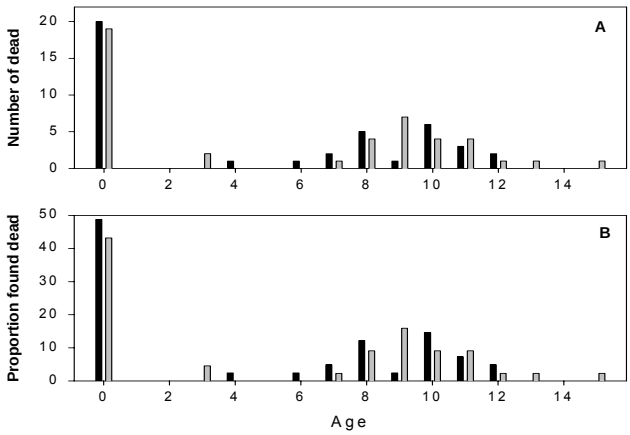
En trend med økende varmemengde om vinteren (positiv NAO) er gunstig for hjorten grunnet to mekanismer. Milde vintre gir 1) mindre snø i lavtliggende overvintringsområder, noe som reduserer energibruken for varmeregulering og forflytting, og øker tilgjengeligheten av beite (Loison et al 1999). Samtidig gir milde vintre 2) mer snø i høytliggende sommerområder, noe som gir en forlengelse av perioden med god beitekvalitet (Mysterud et al. 2001). Det er vist at snøens fordeling langs høydegradienter er en nøkkelfaktor for veksten hos hjort. Høyden er avgjørende for hvorvidt nedbøren kommer som snø eller regn og i sin tur de økologiske effektene av klimaet (for eksempel innvirking av NAO) (Mysterud et al. 2000). Beitekvaliteten på urter og gras er høyest i nye ferske skudd og minker utover sesongen i takt med at plantene blir eldre. Vinterklimaet påvirker derfor indirekte beitekvaliteten sommerstid gjennom at kontinuerlig tilbaketrekking av snøflekker forlenger perioden med tilgang på nye planter og skudd av høy kvalitet.

Villrein Svalbard:
Analyse av sammensettingen av villreinstammen i Reindalen-området på Svalbard for årene 1979-1999 viser stor variasjon mellom år i populasjonsstørrelse, mortalitet og rekruttering (Solberg et al. 2001). Svingningene i populasjonstørrelse skyldes både endringer i rekrutteringsrate og vinterdødelighet. Disse endringene henger nært sammen med klimaforholdene om vinteren men er også en tetthetsavhengig respons på begrensede beiteresurser. Særlig vintre med høy nedbør og isdannelse i beiteområdene har sterk negativ innvirking på populasjonsstørrelsen, mens størrelsen i den undersøkte perioden ikke viste tegn på å være påvirket av sommerklimaet.



Figur 13: *Antall kalv per simle (A) og mortalitetsindeks (B; antall døde dyr / populasjonsstørrelse året før) i forhold til vinternedbøren for år med høg (●) og låg (○) populasjonstetthet.*

Vintrene med mye nedbør og is hadde ikke bare en reduserende effekt på populasjonsstørrelsen, men også en effekt på sammensettingen av reinsdyrpopulasjonen. I slike år var det først og fremst høy dødelighet av kalver og gamle dyr som sto for populasjonsnedgangen.



Figur 14: *Aldersfordelingen av antall (A) og andel (B) av døde reinsdyr som ble funnet i studieområdet i Reindalen, Svalbard, etter forgående vintre; 1981 (sort) og 1991 (grå).*

Elg:
Klima påvirker elgens bestandsdynamikk via effektene på kroppsvekst og kondisjon. I flere overvåkningsområder i Norge er det påvist en negativ sammenheng mellom årlig variasjon i slaktevekt hos kalv og åring og temperaturen på forsommeren (Sæther 1985, Solberg & Sæther 1994, Solberg et al. 1999). Lave temperaturer vil ha en forsinkende effekt på plantenes utvikling gjennom sommeren, og fordi planter i et tidlig vekststadie er mer fordøyelige og rikere på næring, vil dette ha en positiv effekt på elgens vekstmuligheter. Av samme grunn ser vi hos elgen, som hos hjorten, en tendens til at snørike vintre har en positiv effekt på kroppsvekten, mest sannsynlig som følge av den forsinkende effekten snøen har på plantevekstens start og utvikling på forsommeren. Denne effekten kan virke direkte på årets tilvekst, men i tillegg vil dårlige klimatiske betingelser i fødselsåret kunne påvirke elgens størrelse gjennom hele livet (Solberg et al. i trykk).

Den sterke effekten av klimaet på kroppsveksten forventes å ha en vesentlig effekt på elgens bestandsdynamikk. Små elgkyr blir senere kjønnsmodne og vil produsere tvillingkalv sjeldnere enn store elgkyr (Sæther & Haagenrud 1983, Solberg et al. 1997). I tillegg er det sannsynlig at små dyr er mer utsatt for naturlig dødelighet enn store dyr i godt hold. Fordi klimaet kun er en av mange faktorer som påvirker elgens bestandsdynamikk, er det imidlertid vanskelig å studere den separate effekten av klimaet. En annen grunn er at vi kun unntaksvis har gode data på bestandsstørrelse og sammensetning. Et unntak er elgbestanden i Vefsn-dalføret der utviklingen i bestandstetthet og sammensetning er fulgt siden 1967. Svingningene i denne bestanden er i stor grad et resultat av jakt, men i tillegg innvirker både tetthetsavhengig næringsbegrensning og klimaet på bestandens vekstrate (Solberg et al. 1999).

I de andre overvåkningsområdene for elg (og hjort, villrein) vil vi i større grad kunne studere og overvåke klimaeffekter på livshistorie og bestandsdynamikk etter hvert som tidsseriene blir lengre. Spesielt i jaktede hjorteviltbestander er vi avhengig av lange tidsspenn for å kunne kontrollere for innvirkningen jakten og tettheten har på bestandsdynamikken. På den annen side synes hjorteviltbestandene å være følsomme for klimasvingninger, og samtidig medfører jakta at et stort materiale kan innsamles årlig uten store kostnader.

6 Referanser

Anker-Nilssen, T. & Aarvak, T. 2002. Lundens populasjonsøkologi på Røst. Status etter hekkesesongen 2001. NINA Oppdragsmelding 736.

Anker-Nilssen, T. & Aarvak, T. 2004. Lundens populasjonsøkologi på Røst. Status etter hekkesesongen 2003. NINA Oppdragsmelding 809.

Durant, J.M., Anker-Nilssen, T. & Stenseth, N.C. 2003. Trophic interactions and climate change: the Atlantic puffin as an example. - Proc. R. Soc. Lond. B 270: 1461-1466.

Durant, J.M., Anker-Nilssen, T., Hjermann, D.Ø. & Stenseth, N.C. 2004a. Regime shifts in the breeding of an Atlantic puffin population. Ecology Letters 7: 388-394.

Durant, J.M., Stenseth, N.C., Anker-Nilssen, Harris, M.P., Thompsom, P.M. & Wanless, S. 2004b. Marine birds and climate fluctuations in the North Atlantic. *I*: Stenseth et al. (red.) Marine ecosystems and climate variation – the North Atlantic. Oxford Univ. Press, s.95-105.

Durant, J.M., Anker-Nilssen, T., & Stenseth, N.C. Climate affects the Atlantic puffin through food-chain variation. Manus.

Framstad, E. (red.) 2003. Terrestrisk naturovervåking. Markvegetasjon, epifytter, smågnagere og fugl i TOV-områdene, 2002. NINA Oppdragsmelding 793

Grove, J. M. 1988. The Little Ice Age. Methuen, London.

Harris, M.P., Anker-Nilssen, T., Grosbois, V., Perrins, C.M., Shaw, D.N. & Erikstad, K.E. The survival of adult Atlantic puffin *Fratercula arctica* at five widely dispersed colonies in the eastern Atlantic. Manus.

Hofgaard, A. 1997. Structural changes in the forest-tundra ecotone: A dynamic process. pp 255-263. *I*: Huntley, B., Cramer, W., Morgan, A.V., Prentice, H.C. and Allen, J.R.M.

(eds.) Past and future rapid environmental changes: the spatial and evolutionary responses of terrestrial biota. - NATO ASI Series, Vol. I 47. Springer Verlag.

Hofgaard, A. 1999. The role of "natural" landscapes influenced by man in predicting responses to climate change. Ecological Bulletins 47: 160-167.

Hofgaard, A., Tardif, J. & Bergeron, Y. 1999. Dendroclimatic response of *Picea mariana* and *Pinus banksiana* along a latitudinal gradient in the eastern Canadian boreal forest. - Canadian Journal of Forest Research, 29: 1333-1346.

Holtmeier, F.-K. 2003. Mountain timberlines – ecology, patchiness and dynamics. Kluwer Academic Press.

IPCC 2001. Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Edited by* Houghton, J.T., Ding, Y, Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K. & Johnson, C.A. - Cambridge University Press, Cambridge/New York. 881s.

Loison, A. & Langvatn, R. 1998. Short and long-term effects of winter and spring weather on growth and survival of red deer in Norway. Oecologia 116: 498-500.

Loison, A., Langvatn, R. & Solberg, E.J. 1999. Body mass and winter mortality in reed dear calves: Disentangling sex and climate effects. Ecography 22: 20-30.

Mysterud, A., Yoccoz, N.G., Stenseth, N.C. & Langvatn, R. 2000. Relationship between sex ratio, climate and density in red deer: the importance of spatial scale. Journal of Animal Ecology 69: 959-974.

Mysterud, A., Stenseth, N.C., Yoccoz, N.G., Langvatn, R. & Steinheim, G. 2001. Nonlinear effects of large-scale climatic variability on wild and domestic herbivores. Nature 410: 1096-1099.

Mysterud, A., Stenseth, N.C., Yoccoz, N.G., Ottersen, G. & Langvatn, R. 2002. The response of the terrestrial ecosystems to climate variability associated with the North Atlantic Oscillation. - pp.135-162 in: The North Atlantic Oscillation: climatic significance and environmental impact, vol. 134 (ed. by J. Hurrell et al.). American Geophysical Union.

NFR 2003. Lange tidsserier for miljøovervåking og forskning. Rapport nr.2. Viktige terrestriske og limniske data serier.

Parmesan, C. & Yohe, G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. Nature 421:37-42.

Post, E., Stenseth, N.C., Langvatn, R. & Fromentin, J.-M. 1997. Global climate change and phenotypic variation among red deer cohorts. Proc. R. Soc. Lond. B 264: 1317-1324.

Post, E. & Stenseth, N.C. 1999. Climatic variability, plant phenology, and northern ungulates. Ecology, 80: 1322-1339.

Putkonen J. & Roe, G., 2003: Rain-on-snow events impact soil temperatures and affect ungulate survival, Geophysical Research Letters 30: Art.no: 1188.

Root, T.L., Price, J.T., Hall, K.R., Schneider, S.H., Rosenzweig C. & Pounds, J.A. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. - Nature 421. 57-60.

Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J.A., Folke, C. & Walker, B. 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. Nature 413: 591-596.

Solberg, B., Hofgaard, A. & Hytteborn, H. 2002. Shifts in radial growth responses of coastal *Picea abies* induced by climate change during the 20th century, Central Norway. Ecoscience 9: 79-88.

Solberg, E.J., Heim, M., Sæther, B-E. & Holmstrøm, F. 1997. Oppsummeringsrapport, overvåkningsprogrammet for hjortevilt - elgdelen 1991-95. NINA-fagrapport.

Solberg, E.J., Jordhøy, P., Strand, O., Aanes, R., Loison, A., Sæther, B-E. & Linnell, J.D.C. 2001. Effects of density dependence and climate on the dynamics of a Svalbard reindeer population. Ecography, 24: 441-451.

Solberg, E.J., Loison, A., Gaillard, J-M. & Heim, M. (in press). Lasting effects of condition at birth on moose body mass. Ecography.

Solberg, E.J., Sæther, B-E., Strand, O. & Loison, A. 1999. Dynamics of a harvested moose population in a variable environment. J. Anim. Ecol. 68: 186-204.

Solberg, E.J. & Sæther, B-E. 1994. Male traits as life-history variables: annual variation in body mass and antler size in moose (*Alces alces*). J. Mammal. 75, 1069-1079.

Sprugel, D. G., 1991: Disturbance, equilibrium, and environmental variability - what is natural vegetation in a changing environment. Biological Conservation 58: 1–18.

Stenseth, N.C., Viljugrein, H., Mysterud, A., Pucek, Z. & Jedrzejewski, W. 2002. The population dynamics of two forest rodents in a primeval deciduous forest: seasonal density-dependent and density-independent structure of *Clethrionomys glareolus* and *Apodemus flavicollis* populations. Acta Theriologica 47: 39-67.

Sæther, B-E. & Haagenrud, H. 1983. Life history of the moose (*Alces alces*): fecundity rates in relation to age and carcass weight. J. Mammal. 64: 226-232.

Sæther, B-E. 1985. Annual variation in carcass weight of Norwegian moose (*Alces alces*) in relation to climate along a latitudinal gradient. J. Wildl. Manage. 49: 977-983.

Thomas, C.D. et al. 2004. Extinction risk from climate change. Nature 427: 145-148.

van Herk, C. M. 1999. Mapping of ammonia pollution with epiphytic lichens in the Netherlands. Lichenologist 31: 9-20.

van Herk, C. M., Aptroot, A. & van Dobben, H. F. 2002. Long-term monitoring in the Netherlands suggests that lichens respond to global warming. Lichenologist 34: 141-154.

Yoccoz, N.G. & Ims, R.A. 1999. Demography of small mammals in cold regions: the importance of environmental variability. Ecological Bulletins 47: 137-144.

Økland, T., Bakkestuen, V., Økland, R.H. & Eilertsen, O. 2001. Vegetasjonsendringer i Nasjonalt nettverk av flater for intensivovervåking i skog. NIJOS rapport 08/2001: 1-46.

Økland, T., Bakkestuen, V., Økland, R.H. & Eilertsen, O. 2004. Changes in forest understory vegetation in Norway related to long-term soil acidification and climate change. J. of Veg. Science 15: 437-448.



Porsangmoen juli 2003. Foto A. Hofgaard

Kontakter:

Annika Hofgaard	7775 0413
Tycho Anker-Nilssen	7380 1443
Inga E. Bruteig	7380 1553
John Atle Kålås	7380 1457
Erling J. Solberg	7380 1468