

Effekter av klimavariasjon på terrestre arktiske økosystemer, en sammenstilling av resultater fra Svalbard.

Audun Stien, NINA Tromsø

Innledning

Generelle scenarioer for fremtidige klimaendringer innebærer en økning i gjennomsnitt, varians og til og med en endring av fordelingen i viktige klimaparametre som nedbør og temperatur (f.eks. Rowell, 2005; Sun et al., 2007). Disse endringene er forventet å forekomme både hurtigere og kanskje også med forsterket styrke i Arktis (Tebaldi et al., 2006; Benestad, 2007). Et viktig aspekt i forhold til klimaendringer er at vi vil kunne få et mer variabelt klima med en høyere frekvens av det vi i dag kaller ekstreme vær-situasjoner (f. eks. Wilby and Wigley, 2002; Semmler and Jacob, 2004; Benestad, 2007; Sun et al., 2007). Disse klimaforandringene er forventet å gi betydelige effekter på biodiversitet, struktur og funksjon i Arktiske tundraøkosystem (Callaghan et al., 2004a-j; Ims and Fuglei, 2005). De største forandringene forventes å skyldes positive effekter av økt temperatur på lengden av sommersesongen, på nedbrytningsprosesser, næringsomsetning og primærproduksjon. Tregrensa vil forflytte seg nordover og det forventes økt biodiversitet med forandringer i arters utbredelse og dominansforhold (Callaghan et al., 2004i). Effekter av vinterklima er mindre undersøkt, men særlig smågnagere, som i dag er meget viktige i det arktiske tundraøkosystem, kan forventes å repondere negativt på en økt frekvens av mildværsperioder på vinteren (Ims and Fuglei, 2005). Reduserte smågnagerbestander kan gi store effekter på predatorsamfunnet, med en forskyvning fra et høyt antall arter som er smågnagerspesialister til et mindre antall arter som er generalister i matveien (Ims and Fuglei, 2005).

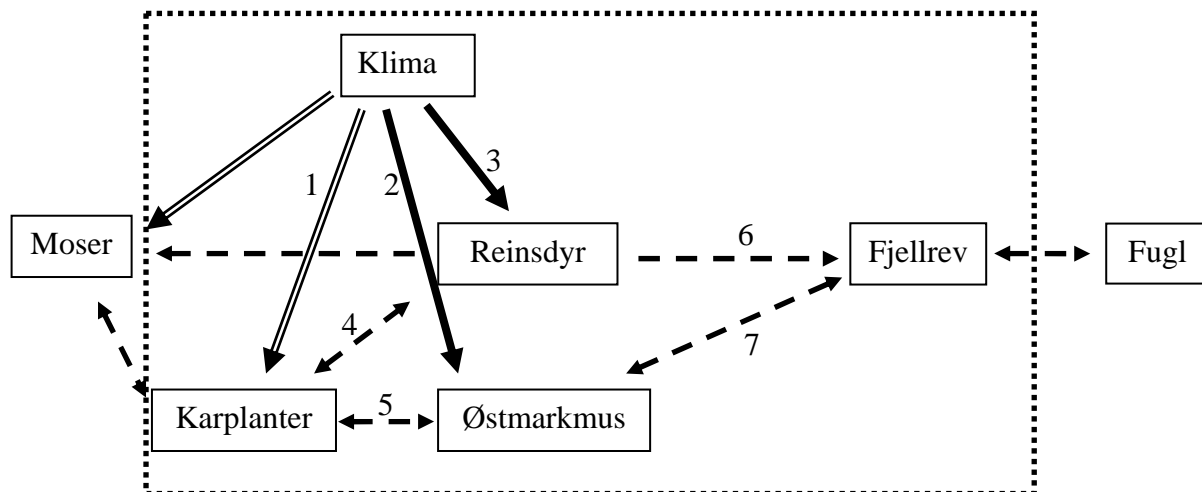
På arktiske øygrupper vil forandringer i biodiversitet særlig være avhengig av arters spredningsevne. For planter synes denne generelt å være god (Alsos et al., 2007) og det er også rimelig å anta at mikroorganismer, virvelløse dyr (Hodkinson et al., 2004) og fugl har en spredningsevne som gjør det mulig for mange arter å invadere og etablere seg på fjerntliggende øyer ved forbedrede klimatiske forhold. Terrestre pattedyr har derimot begrenset spredningsevne til fjerntliggende øyer. Diversiteteten av terrestre pattedyr på arktiske øygrupper som Svalbard, er derfor spesielt utsatt under fremtidige klimaforandringer da klimaforandringene kan føre til at eksisterende arter dør ut uten at nye arter kommer til. Deres viktige økosystemfunksjoner kan dermed bli borte og føre til tap av økosystemtjenester som ansees for viktige.

I denne rapporten gir vi en kort beskrivelse av viktige karakteristika ved Svalbards pattedyr, antatt viktige biotiske interaksjoner de er involvert i, og hypoteser for hvordan klima påvirker dette systemet. Deretter benytter vi til dels upubliserte tidsserier på 10–13 år fra Svalbard på planteproduksjon, og pattedyrenes bestandsstørrelser eller reproduksjonsrater for å evaluere hvilke aspekter av klimatisk variasjon som synes særlig viktig for forskjellige aspekter av Svalbards terrestre økosystem, og hvilke biotiske interaksjoner dette videre har stor betydning for.

Svalbards terrestre pattedyr, biotiske interaksjoner og klimaeffekter

Svalbards terrestre pattedyr

Svalbard er en isolert øygruppe med bare 3 terrestre pattedyrarter. Av disse er Svalbardreinen og fjellreven i dag utbredt over hele øygruppa, mens østmarkmusa har en begrenset utbredelse langs kysten av Isfjorden fra Longyearbyen til Grumant (ca 12 km) (Ims and Yoccoz, 1999; Henttonen et al., 2001). Svalbardreinen er den dominerende herbivoren på Svalbard. Den er en underart av reinsdyr som bare finnes på Svalbard med tilpassninger som gjør den spesielt tilpasset Svalbards klima og økosystem uten predatorer, få parasitter (Bye, 1986a, b; Halvorsen and Bye, 1986; Albon et al., 2002) samt ingen konkurrenter med unntak av en økende bestand av migrerende gjess om sommeren. Den begrensede utbredelsen til østmarkmusa gjør den lite viktig for det totale økosystemet på Svalbard. Den er en nylig innvandret art (Ims and Yoccoz, 1999) og regnes av mange som uønsket på øygruppen. Dens lave popularitet skyldes bl.a. at den har gjort det mulig for parasitten *Echinococcus multilocularis* å etablere seg, en parasitt som også er farlig for mennesker (Henttonen et al., 2001; Fuglei et al., 2008). Gjødslingseffekten av de store fuglefjellene langs Isfjorden fra Grumant til Bjørndalen gir høy primærproduksjon i dette området, i tillegg er jordsmonnet stabilt og godt drenert. Disse miljøforholdene gjør det mulig for østmarkmusa å overleve i området (Ims and Yoccoz, 1999) og videre spredning er sannsynligvis begrenset av manglende tilsvarende områder innen musenes potensielle spredningsradius. Lokalt er østmarkmusa predert av fjellrev, men på øygruppa som helhet er reinsdyrkadavere, sjøfugl og gjess regnet som den viktigste føden for fjellreven (Prestrud, 1992; Jepsen et al., 2002; Eide et al., 2004; 2005).



Figur 1. Skjematisk modell for det terrestre økosystemet på Svalbard med de antatt viktigste effekter av klima (åpen pil : sommerklima, heltrukket pil: vinterklima) og økosysteminteraksjoner (stiplede piler) knyttet til terrestre pattedyr. Rapporten fokuserer på elementene innen det stiplede rektangelet og klimaeffekter og økosysteminteraksjoner (piler) nummerert fra 1-7.

Biotiske interaksjoner og klimaeffekter

1. Planter og reinsdyr

Svalbardreinen innehar en sentral posisjon i Svalbards terrestre økosystem (Figur 1) på grunn av dens vide utbredelse, høye bestandstettheter og tilstedeværelse gjennom hele året. Dette gjør Svalbardreinen viktig for plantesamfunnets sammensetning og produktivitet. Dens tilstedeværelse synes å ha en negativ effekt på tykkelsen på moselaget på tundraen (van der Wal et al., 2001; Van der Wal and Brooker, 2004). Dette skjer muligens gjennom direkte beiting, tråkk-slitasje, og ved å stimulere til økt mikrobiell aktivitet og dermed raskere nedbrytning av den døde nedre delen av moselaget (van der Wal et al., 2001; van der Wal et al., 2004). Et tynnere moselag har redusert isolasjonsevne og gir økte temperaturer i det øvre jordlaget under mosen (Van der Wal and Brooker, 2004). Dette har en positiv effekt på produktiviteten til karplanter, og særlig produktiviteten til gras (Brooker and van der Wal, 2003). Gras er i tillegg en spesielt beitetolerant gruppe planter. Ved høye tettheter av reinsdyr er det derfor å forvente at karplanteproduksjonen går opp og at karplantesamfunnets sammensetning skyves mot økt forekomst av gras (van der Wal, 2006). Dette er en utvikling som er positiv for reinsdyra, i det karplanter er mer næringsrike enn moser og økt karplanteproduksjon gir grunnlag for vekst i reinsdyrbestandene (Aanes et al., 2002).

Mens de biotiske interaksjonen gir sterke sammenhenger mellom rein og plantesamfunnets sammensetning og produktivitet, er den gjeldende oppfatning at det er forskjellige aspekter ved klima som påvirker disse to økosystemkomponentene i Arktis. For plantesamfunnet er det funnet at økt sommertemperaturer gir redusert mosevekst og økt karplanteproduksjon (Walker et al., 2006). Særlig trevekster og gras synes å respondere positivt til økte sommertemperaturer (Dormann and Woodin, 2002; Walker et al., 2006). Svalbardreinen synes på den annen side i hovedsak å være påvirket av vinterklima. Gjennom vinteren er det vanskelig å finne mat, og reinsdyra kan tape opp mot 25 % av sin kroppsmasse. Mildværsperioder med regn midtvinters kan forårsake ising på vegetasjonen og store snømengder kan også gjøre det meget vanskelig for reinen å få tilgang til føde. Slikt kan ha sterke negative effekter på reinens reproduksjonsevne, overlevelse og dermed også bestandsvekst (Aanes et al., 2000; Solberg et al., 2001; Albon et al., 2002; Kohler and Aanes, 2004). Mens vinterklima kan variere voldsomt har sommerklimaet i nyere tid i stor grad vært relativt konstant (Yoccoz and Ims, 1999) og synes å ha hatt lite direkte effekter på reinsdyra (Aanes et al., 2000). Negative effekter av vinterklima har også vært observert for planter (Robinson et al., 1998), men synes i liten grad å ha vært undersøkt systematisk (Wookey, 2007).

2. Østmarkmus

Østmarkmusa er en graseter og er dermed forventet å være sensitiv til variasjoner i gressproduksjonen (Figur 1). Dette kommer tydeligst frem gjennom musas manglende evne til å etablere bestander i mindre produktive områder lenger unna de høyproduktive fuglefjella musene i dag er knyttet til (Ims and Yoccoz, 1999). Det er ukjent i hvilken grad østmarkmusa har en direkte effekt på plantesamfunnets sammensetning og produktivitet lokalt, men det er grunn til å tro at musene gjennom de samme mekanismene som hos reinen har en positiv effekt på karplantenes produktivitet. Østmarkmusas høye reproduksjonsevne gir mulighet for høy bestandsvekst om sommeren, men som for reinsdyra synes vinterklima å være bestemmende for den store mellomårsvariasjonen man finner i bestandsstørrelsen (Ims and Yoccoz, 1999; Yoccoz and Ims, 1999). En tendens til samvariasjon mellom størrelsen på Svalbardreinbestanden i Ny-Ålesund og østmarkmusbestanden ved Grumant tyder også på at det kan være de samme klimafaktorene som er viktige for begge arter (Callaghan et al., 2004f). I tillegg spises østmarkmusa av fjellrev. Selv om dette ikke har vært undersøkt, åpner

dette for er en mulig positiv effekt av høye musetettheter på fjellrevens bestandsdynamikk lokalt og en negativ effekt av økt fjellrevtetthet på musebestanden.

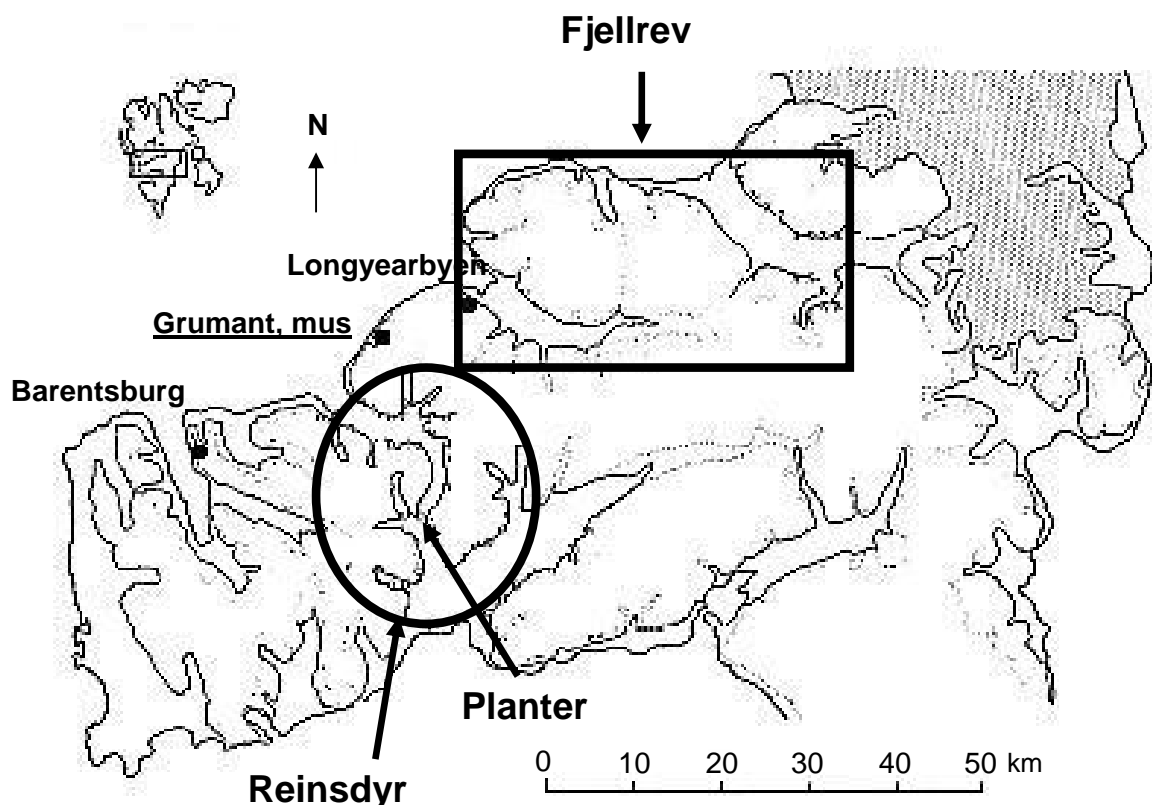
3. Fjellrev

Fjellreven synes først og fremst å være avhengig av tilstrekkelig næringstilgang, med lite direkte effekter av variasjon i klima (Figur 1). Om vinteren er de store bestandene av sjøfugl og trekkfugl borte fra Svalbard, og fjellreven blir i stor grad avhengig av reinsdyrkadavere og ryper i tillegg til østmarkmus der disse finnes. Prestrud (1992) foreslo at tilgjengeligheten av reinsdyrkadavere på senvinteren er avgjørende for reproduksjonsraten til fjellrev påfølgende vår. I samsvar med denne hypotesen synes utviklingen i fjellrevbestanden ved Ny-Ålesund å følge størrelsen på reinsdyrbeholdningen i området (Fuglei et al., 2003). Om sommeren er derimot fugl den viktigste føden for fjellreven på Svalbard. En økt fjellrevbestand kan derfor potensielt ha negative konsekvenser for både rype, sjøfugl og trekkfuglbestandene.

Evaluering av biotiske interaksjoner og klimaeffekter med nye data

Materiale

Gjennom de siste 10 – 13 årene har det systematisk blitt samlet inn data på mellomårsvariasjon i biomassen av forskjellige karplanter, østmarkmusas populasjonstørrelse og aldersspesifikke data på kalveraten til Svalbardrein. I tillegg ble det på 80-tallet og i perioden 1997-2001 samlet inn data på fjellrevens reproduksjonsrater. Alt dette arbeidet har foregått på



Figur 2. Oversikt over områdene for datainnsamlingen knyttet til de "nye" resultatene i denne rapporten. Fjellrevdata stammer fra området Adventdalen-Sassendalen, østmarkmusdata fra noen gressfelter ved den nedlagte gruvebyen Grumant, plantedata fra et område øverst i Semmeldalen, og reinsdyrdata fra Colesdalen i nord til nedre deler av Reindalen i sør.

Nordenskjoldland, Spitsbergen (Figur 2) og er nå under bearbeiding for publisering i vitenskapelige tidsskrifter.

Plantedata ble samlet inn i faste 25 cm² plot i slutten av juli til tidlig august i årene 1998-2007 av Rene van der Wal. Målingene ble gjennomført i tre av plantesamfunnene definert av van der Wal et al (2000): "Ridge communities", "*Luzula-Alopecurus* heath" og "*Dupontia* marshes". Totalt er det samlet data på 66 plantearter, men de fleste av disse er såpass sjeldne at det ikke gir mening å estimere mellomårsvariasjonen i deres biomasse separat. Biomasse ble estimert uten å skade plantene i plottene ved å telle antall skudd i hvert plot og deretter samle inn skudd fra vegetasjonen rundt plottet for tørking og veiing og beregning av gjennomsnittlig biomasse per skudd. Biomassen ble deretter beregnet per 25 cm² som antall skudd per plot multiplisert med gjennomsnittlig biomasse per skudd.

Reinsdyrdata ble samlet inn i sammenheng med en merke-gjenfangst-gjensyns studie av Svalbardreinen i perioden 1995-2006 av Steve Albon m. fl. Merkede voksne simler (med kjent alder 3 år og eldre) ble oppsøkt på sommerstid og sjekket for tilstedeværelsen av kalv i slutten av juli - begynnelsen av august hvert år.

Østmarkmusdata er samlet inn i sammenheng med en merke-gjenfangst studie av østmarkmusa i perioden 1996-2006 av Nigel Yoccoz og Rolf A. Ims. Felleoppsettet har vært likt over denne perioden. I denne rapporten benytter vi data på antall museindivider fanget i løpet av en fangstperiode på 4-5 dager (7-9 fangstsjesjoner).

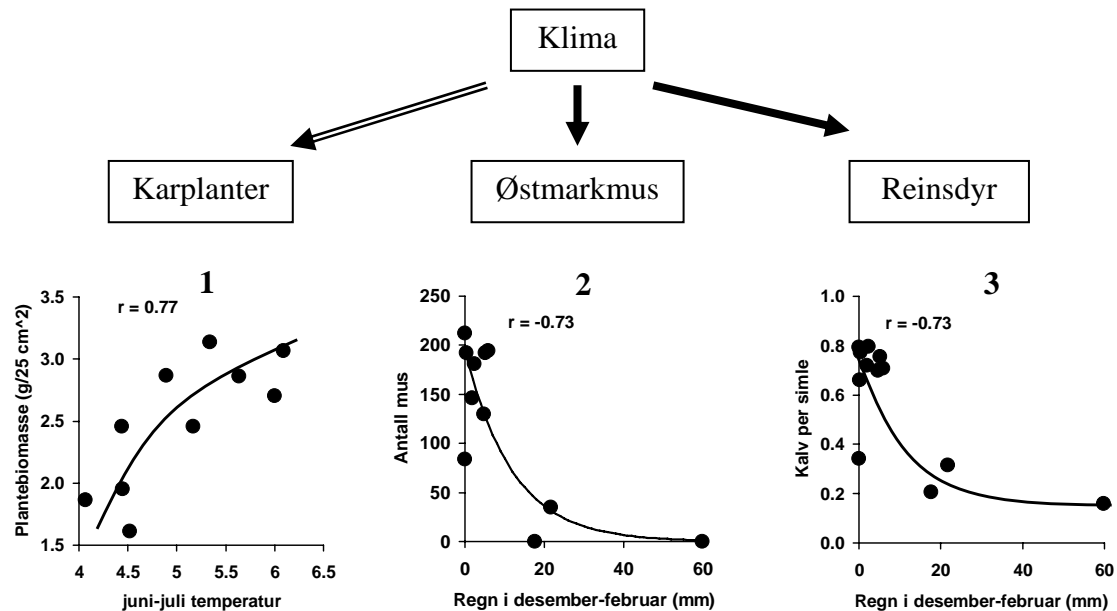
Fjellrevedata er samlet i Advent-Sassendalen fra kjente fjellrevhi som har vært oppsøkt sent i juni og undersøkt for aktivitet og antall valper på hiet. Dataene ble samlet inn i perioden 1984-1989 av Pål Presterud og i 1997-2001 av Nina Eide. Antall reinsdyrkadavre funnet i Adventdalen i studieårene (Tyler and Oritsland, 1999, Ronny Aanes unpubl.) ble benyttet i evalueringen av sammenhengen mellom tilgjengeligheten av reinsdyrkadavre og fjellrevens reproduksjonsrater. I tillegg benyttet vi data på antall valper på hi ved østmarkmusebestanden ved Grumant, samlet inn av Eva Fuglei siden 2001.

Data på temperatur og nedbør er tatt fra værstasjonen på Longyearbyen flyplass drevet av det norske meteorologiske institutt.

Resultater

I det følgende går vi igjennom i hvilken grad dataene støtter overstående hypoteser om klimaeffekter og biotiske interaksjoner skissert og nummerert fra 1-7 i Figur 1.

1. Klimaeffekter



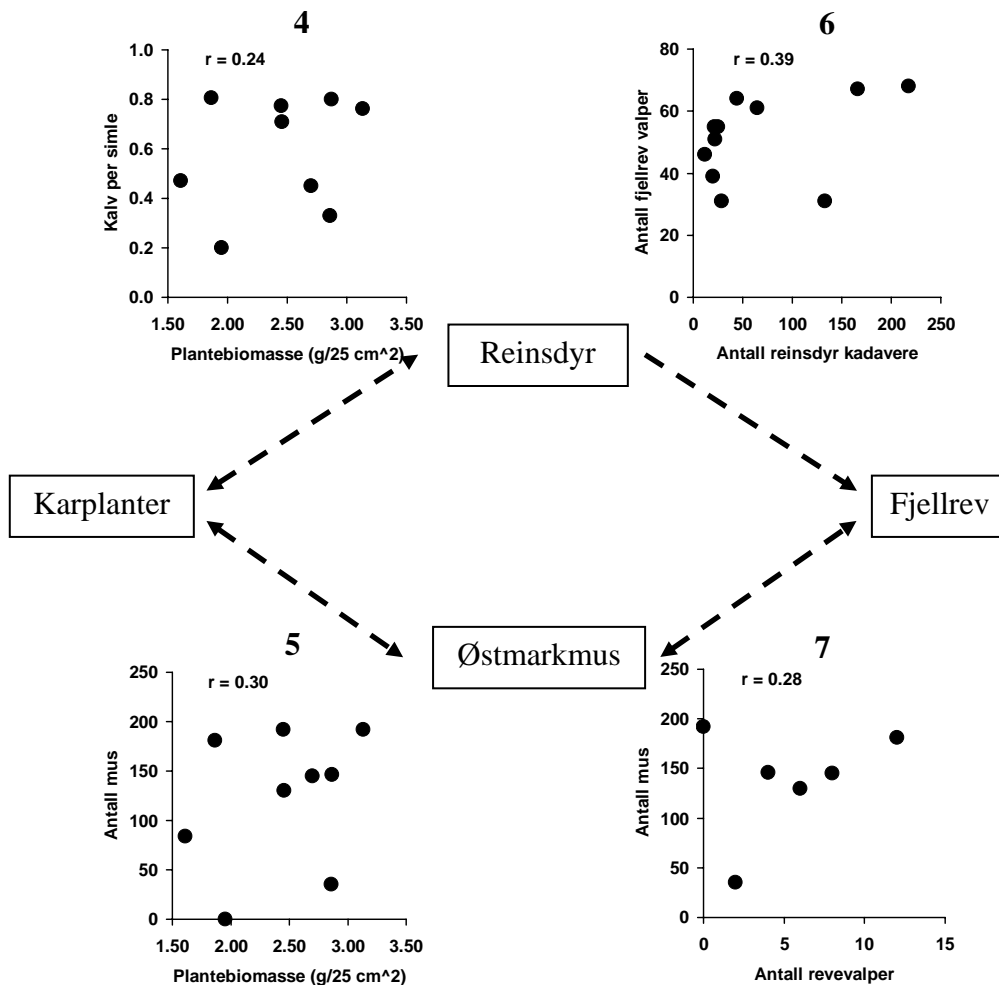
Figur 3. Sammenhengen mellom 1) gjennomsnittlig lufttemperatur (grader C) i juni-juli og gjennomsnittlig karplantebiomasse (g per 25 cm²), 2-3) millimeter nedbør ved over 0 grader C lufttemperatur i desember-februar og 2) bestandsstørrelse av østmarkmus påfølgende august, og 3) antall kalv per voksne reinsimle påfølgende sommer.

Mellomårsvariasjonen i total karplantebiomasse var best forklart gjennom en positiv effekt av gjennomsnittstemperaturen i juni-juli samme år (Figur 3.1). Dette samsvarer med forventningen fra tidligere arbeider. En positiv sommertemperatureffekt var også tydelig og generelt sterk når analysen ble gjennomført på artsnivå i vegetasjonssamfunn der artene var vanlige. Unntaket var biomassen til to vanlige arter i det fuktigste plantesamfunnet ("Dupontia marshes"), *Dupontia* spp. og *Eriophorum scheuchzeri*, da disse viste lite til ingen tegn til en positiv effekt av høye sommertemperaturer. På grunn av den generelt sterke positive effekten av sommertemperatur på andre vanlige arter i økosystemet hadde disse unntakene relativt lite effekt på sammenhengen mellom total plantebiomasse og sommertemperatur (Figur 3.1).

Både bestandsstørrelsen av østmarkmus og andelen voksne reinsdyrsimler med kalv viste en sterk negativ relasjon til millimeter nedbør i desember-februar ved lufttemperaturer over null grader foregående vinter (kalt regn i desember-februar, Figur 3.2 og 3.3). Det var også stort samsvar mellom variasjonen i musebestandsstørrelsen og reinsdyras reproduksjonsrate ($r = 0.97$) noe som støtter hypotesen om at det er de samme klimatiske forhold som påvirker begge arter negativt. Regn i desember-februar antas å være sterkt relatert til graden av ising på bakken om vinteren, med høye verdier assosiert med redusert tilgjengelighet til føde for dyra.

Det kan nevnes at direkte målinger i studieområdet for østmarkmus vinteren 2002, viste så godt som ingen ising ved bakken på tross av mye nedbør i desember-februar ved lufttemperaturer over null grader og en påfølgende kollaps i musebestanden (Stien et al., 2007). Det kan derfor synes som om det også kan være andre klimarelaterte mekanismer enn direkte ising som forårsaker kollaps i musebestanden og lav reproduksjonsrate hos rein i enkelte dårlige år. Hvilken mekanisme dette kan være er foreløpig uklart.

2. Biotiske interaksjoner



Figur 4. Sammenhengen mellom 4-5) gjennomsnittlig karplantebiomasse (g per 25 cm²) og 4) antall kalv per voksne Svalbardreinsimle og 5) østmarkmus-bestandsstørrelsen samme sommer, 6) antall reinsdyrkadavre i Adventdalen og antall fjellrevvalper produsert i Advent-Sassendalen samme sommer, og 7) antall fjellrevvalper produsert i nærområdet til Grumant og antall østmarkmus fanget i fangstområdet ved Grumant samme sommer.

Effektene av de biotiske interaksjonene på Svalbardreinsens reproduksjonsrate (Figur 4.4), østmarkmusas bestandsstørrelse (Figur 4.5 og 4.7) og fjellrevens valpeproduksjon (Figur 4.6 og 4.7) var ikke sterke i det tilgjengelige datamateriale. Hovedgrunnen til dette er nok at de evaluerte interaksjonene er lite betydningsfulle i sammenligning med den sterke effekten av klima og muligens andre prosesser som så langt ikke har vært undersøkt. Størst potensial

synes det å være for en direkte sammenheng mellom fjellrevens valpeproduksjon og tilgjengeligheten av reinsdyrkadavre (Figur 4.6), men flere år med data trengs for å kunne evaluere om det lave antall valper og høye antall reinsdyrkadavre observert i 1988 bare er en spesielt avvikende observasjon i en slik sammenheng. For fjellreven ved Grumant er det i store deler av året, store mengder føde tilgjengelig i de tilstøtende fuglefjella. Det er derfor sannsynlig at den direkte effekten av fjellrev på musebestandstørrelsen er liten (Figur 4.7). Det var heller ingen tegn i dataene på at musebestandsstørrelsen påvirket revenes valpeproduksjon det påfølgende år. Det er derfor grunn til å tro at østmarkmusas bestandstørrelse har lite innvirkning på fjellrevbestanden lokalt ved Grumant.

Konklusjon

Det er en sterk effekt av variasjon i klima på både planteproduksjon, og populasjonsparametre som er direkte relatert til bestandsveksten til Svalbardrein og østmarkmus. Den sterkt sammenfallende responsen i reinens reproduksjonsrate og smågnagerens bestandstørrelse til klimatisk variasjon er et fenomen som bare er kjent fra Svalbard og tyder på at dette arktiske økosystemet er spesielt sensitivt til klimatisk variasjon knyttet til vintermånedene. Til sammenligning finner man gjerne markante sykliske svingninger i smågnagerbestandene i andre arktiske tundraøkosystem. Disse antas å skyldes biotiske interaksjoner (Ims and Fuglei, 2005) med bare indirekte effekter av klima. Den sterke effekten av klima på Svalbard kan derfor i noen grad skyldes at biotiske interaksjoner er mindre viktige i dette relativt artsfattige systemet enn i andre studerte arktiske tundraøkosystem.

Dagens kunnskap tyder på at en forandring mot et generelt mildere og våtere klima på vinteren kan ha betydelige negative effekter på både reinsdyr- og østmarkmusbestanden. Likevel er det ikke sikkert at en slik klimatisk utvikling vil ha like sterke effekter på bestandenes vekstrater som de presenterte historiske data tilsier. Et varmere klima vil også kunne gi en tidligere vår og dermed en kortere periode der planteføden er dekket av snø og is, og en varmere sommer med høyere plantebiomasseproduksjon. Dette kan tenkes å motvirke noen av de negative effektene man i dag ser av mildværsperioder midtvinters på rein og mus.

Økte sommertemperaturer forventes å gi økt planteproduksjon og en forandring av plantesamfunnenes sammensetning, sannsynligvis mot mer gress og vier. Dette er prosesser som tar mange år, men som kan forventes å gi muligheter for større bestander av Svalbardrein, så lenge vinterforholdene forsetter å være til å leve med. Økt planteproduksjon vil også kunne åpne for at østmarkmusa øker sin utbredelse med tilhørende økt utbredelse av den uønskede parasitten *Echinococcus multilocularis*.

Svalbard er en relativt isolert øygruppe. Dersom fremtidige klimaforandringer forårsaker at Svalbardreinen dør ut er det liten mulighet for at andre store herbivorer vil invadere øygruppen og ta reinens plass i økosystemet. Ett slikt "worst case scenario" vil innebære store effekter på plantesamfunnenens sammensetning og produktivitet, muligens en redusert fjellrevbestand, redusert mulighet for jakt og fangst, og dermed muligens en redusert verdi av Svalbards villmark til rekreasjons og turistformål. Hvordan reinsdyra evner å takle ett forværrt vinterklima, samtidig som vår og sommerklima muligens forbedres, vil være avgjørende for om utviklingen vil nå så langt.

Referanser

- Albon, S.D., Stien, A., Irvine, R.J., Langvatn, R., Ropstad, E., Halvorsen, O., 2002. The role of parasites in the dynamics of a reindeer population. *Proc. Roy. Soc. Lond. B* 269, 1625-1632.
- Alsos, I.G., Eidesen, P.B., Ehrich, D., Skrede, I., Westergaard, K., Jacobsen, G.H., Landvik, J.Y., Taberlet, P., Brochmann, C., 2007. Frequent long-distance plant colonization in the changing Arctic. *Science* 316, 1606-1609.
- Benestad, R.E., 2007. Novel methods for inferring future changes in extreme rainfall over Northern Europe. *Climate Research* 34, 195-210.
- Brooker, R., van der Wal, R., 2003. Can soil temperature direct the composition of high arctic plant communities? *J. Veg. Sci.* 14, 535-542.
- Bye, K., 1986a. Parasitter i svalbardrein 2. Bendelmark. In: Oritsland, N.A. (Ed.), *Svalbardreinen og dens livsgrunnlag*, Universitetsforlaget, Oslo, pp. 134-138.
- Bye, K., 1986b. Parasitter i svalbardrein 3. Encellede parasitter. In: Oritsland, N.A. (Ed.), *Svalbardreinen og dens livsgrunnlag*, Universitetsforlaget, Oslo, pp. 139-141.
- Callaghan, T.V., Bjorn, L.O., Chernov, Y., Chapin, T., Christensen, T.R., Huntley, B., Ims, R.A., Johansson, M., Jolly, D., Jonasson, S., Matveyeva, N., Panikov, N., Oechel, W., Shaver, G., 2004a. Rationale, concepts and approach to the assessment. *Ambio* 33, 393-397.
- Callaghan, T.V., Bjorn, L.O., Chernov, Y., Chapin, T., Christensen, T.R., Huntley, B., Ims, R.A., Johansson, M., Jolly, D., Jonasson, S., Matveyeva, N., Panikov, N., Oechel, W., Shaver, G., 2004b. Past changes in arctic terrestrial ecosystems, climate and UV radiation. *Ambio* 33, 398-403.
- Callaghan, T.V., Bjorn, L.O., Chernov, Y., Chapin, T., Christensen, T.R., Huntley, B., Ims, R.A., Johansson, M., Jolly, D., Jonasson, S., Matveyeva, N., Panikov, N., Oechel, W., Shaver, G., 2004c. Effects on the function of arctic ecosystems in the short- and long-term perspectives. *Ambio* 33, 448-458.
- Callaghan, T.V., Bjorn, L.O., Chernov, Y., Chapin, T., Christensen, T.R., Huntley, B., Ims, R.A., Johansson, M., Jolly, D., Jonasson, S., Matveyeva, N., Panikov, N., Oechel, W., Shaver, G., 2004d. Uncertainties and recommendations. *Ambio* 33, 474-479.
- Callaghan, T.V., Bjorn, L.O., Chernov, Y., Chapin, T., Christensen, T.R., Huntley, B., Ims, R.A., Johansson, M., Jolly, D., Jonasson, S., Matveyeva, N., Panikov, N., Oechel, W., Shaver, G., Elster, J., Henttonen, H., Laine, K., Taulavuori, K., Taulavuori, E., Zockler, C., 2004e. Biodiversity, distributions and adaptations of arctic species in the context of environmental change. *Ambio* 33, 404-417.
- Callaghan, T.V., Bjorn, L.O., Chernov, Y., Chapin, T., Christensen, T.R., Huntley, B., Ims, R.A., Johansson, M., Jolly, D., Jonasson, S., Matveyeva, N., Panikov, N., Oechel, W., Shaver, G., Elster, J., Jonsdottir, I.S., Laine, K., Taulavuori, K., Taulavuori, E., Zockler, C., 2004f. Responses to projected changes in climate and UV-B at the species level. *Ambio* 33, 418-435.
- Callaghan, T.V., Bjorn, L.O., Chernov, Y., Chapin, T., Christensen, T.R., Huntley, B., Ims, R.A., Johansson, M., Jolly, D., Jonasson, S., Matveyeva, N., Panikov, N., Oechel, W., Shaver, G., Henttonen, H., 2004g. Effects on the structure of arctic ecosystems in the short- and long-term perspectives. *Ambio* 33, 436-447.
- Callaghan, T.V., Bjorn, L.O., Chernov, Y., Chapin, T., Christensen, T.R., Huntley, B., Ims, R.A., Johansson, M., Jolly, D., Jonasson, S., Matveyeva, N., Panikov, N., Oechel, W., Shaver, G., Schaphoff, S., Sitch, S., 2004h. Effects of changes in climate on landscape and regional processes, and feedbacks to the climate system. *Ambio* 33, 459-468.

- Callaghan, T.V., Bjorn, L.O., Chernov, Y., Chapin, T., Christensen, T.R., Huntley, B., Ims, R.A., Johansson, M., Jolly, D., Jonasson, S., Matveyeva, N., Panikov, N., Oechel, W., Shaver, G., Schaphoff, S., Sitch, S., Zockler, C., 2004i. Key findings and extended summaries. *Ambio* 33, 386-392.
- Callaghan, T.V., Bjorn, L.O., Chernov, Y., Chapin, T., Christensen, T.R., Huntley, B., Ims, R.A., Johansson, M., Jolly, D., Jonasson, S., Matveyeva, N., Panikov, N., Oechel, W., Shaver, G., Schaphoff, S., Sitch, S., Zockler, C., 2004j. Synthesis of effects in four Arctic subregions. *Ambio* 33, 469-473.
- Dormann, C.F., Woodin, S.J., 2002. Climate change in the Arctic: using plant functional types in a meta-analysis of field experiments. *Func. Ecol.* 16, 4-17.
- Eide, N.E., Jepsen, J.U., Prestrud, P., 2004. Spatial organization of reproductive Arctic foxes *Alopex lagopus*: responses to changes in spatial and temporal availability of prey. *J. Anim. Ecol.* 73, 1056-1068.
- Eide, N.E., Eid, P.M., Prestrud, P., Swenson, J.E., 2005. Dietary responses of arctic foxes *Alopex lagopus* to changing prey availability across an Arctic landscape. *Wildl. Biol.* 11, 109-121.
- Fuglei, E., Oritsland, N.A., Prestrud, P., 2003. Local variation in arctic fox abundance on Svalbard, Norway. *Polar Biol.* 26, 93-98.
- Fuglei, E., Stien, A., Yoccoz, N.G., Ims, R.A., Eide, N.E., Prestrud, P., Deplazes, P., Oksanen, A., 2008. Spatial distribution of *Echinococcus multilocularis*, Svalbard, Norway. *Emerging Infectious Diseases* 14, 73-75.
- Halvorsen, O., Bye, K., 1986. Parasitter i svalbardrein 1. Rundmark i lopen. In: Oritsland, N.A. (Ed.), *Svalbardreinen og dens livsgrunnlag*, Universitetsforlaget, Oslo, pp. 120-131.
- Henttonen, H., Fuglei, E., Gower, C.N., Haukisalme, V., Ims, R.A., Niemimaa, J., Yoccoz, N.G., 2001. *Echinococcus multilocularis* on Svalbard: introduction of an intermediate host has enabled the local life-cycle. *Parasitology* 123, 547-552.
- Hodkinson, I.D., Coulson, S.J., Webb, N.R., 2004. Invertebrate community assembly along proglacial chronosequences in the high Arctic. *J. Anim. Ecol.* 73, 556-568.
- Ims, R.A., Yoccoz, N.G., 1999. Østmarkmus: Den russiske invasjonen. In: Bengtson, S.-A., Mehlum, F., Severinsen, T. (Eds.), *Svalbardtundraens økologi*, Norsk Polarinstitutt Meddelelser Vol. 150, Norsk Polarinstitutt, Tromsø, pp. 149-156.
- Ims, R.A., Fuglei, E., 2005. Trophic interaction cycles in tundra ecosystems and the impact of climate change. *Bioscience* 55, 311-322.
- Jepsen, J.U., Eide, N.E., Prestrud, P., Jacobsen, L.B., 2002. The importance of prey distribution in habitat use by arctic foxes (*Alopex lagopus*). *Can. J. Zool.* 80, 418-429.
- Kohler, J., Aanes, R., 2004. Effect of winter snow and ground-icing on a Svalbard reindeer population: Results of a simple snowpack model. *Arctic Antarctic Alp. Res.* 36, 333-341.
- Prestrud, P., 1992. Food-Habits and Observations of the Hunting Behavior of Arctic Foxes, *Alopex-Lagopus*, in Svalbard. *Canadian Field-Naturalist* 106, 225-236.
- Robinson, C.H., Wookey, P.A., Lee, J.A., Callaghan, T.V., Press, M.C., 1998. Plant community responses to simulated environmental change at a high arctic polar semi-desert. *Ecology* 79, 856-866.
- Rowell, D.P., 2005. A scenario of European climate change for the late twenty-first century: seasonal means and interannual variability. *Climate Dynamics* 25, 837-849.
- Semmler, T., Jacob, D., 2004. Modeling extreme precipitation events - a climate change simulation for Europe. *Global and Planetary Change* 44, 119-127.

- Solberg, E.J., Jordhoy, P., Strand, O., Aanes, R., Loison, A., Saether, 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.
- Stien, A., Fuglei, E., Ims, R.A., Yoccoz, N.G., 2007. Østmarkmusa og parasitter på Svalbard. *Klima* 2007, 40-43.
- Sun, Y., Solomon, S., Dai, A.G., Portmann, R.W., 2007. How often will it rain? *Journal of Climate* 20, 4801-4818.
- Tebaldi, C., Hayhoe, K., Arblaster, J.M., Meehl, G.A., 2006. Going to the extremes. *Climatic Change* 79, 185-211.
- Tyler, N., Oritsland, N.A., 1999. Varig ustabilitet og bestandsregulering hos svalbardrein. In: Bengtson, S.-A., Mehlum, F., Severinsen, T. (Eds.), *Svalbardtundraens økologi, Meddelelser Vol. 150*, Norsk Polarinstitutt, Tromsø, pp. 125-138.
- van der Wal, R., Irvine, J., Stien, A., Shepherd, N., Albon, S.D., 2000. Faecal avoidance and the risk of infection by nematodes in a natural population of reindeer. *Oecologia* 124, 19-25.
- van der Wal, R., van Lieshout, S.M.J., Loonen, M., 2001. Herbivore impact on moss depth, soil temperature and arctic plant growth. *Polar Biol.* 24, 29-32.
- van der Wal, R., Bardgett, R.D., Harrison, K.A., Stien, A., 2004. Vertebrate herbivores and ecosystem control: cascading effects of faeces on tundra ecosystems. *Ecography* 27, 242-252.
- Van der Wal, R., Brooker, R.W., 2004. Mosses mediate grazer impacts on grass abundance in arctic ecosystems. *Func. Ecol.* 18, 77-86.
- van der Wal, R., 2006. Do herbivores cause habitat degradation or vegetation state transition? Evidence from the tundra. *Oikos* 114, 177-186.
- Walker, M.D., Wahren, C.H., Hollister, R.D., Henry, G.H.R., Ahlquist, L.E., Alatalo, J.M., Bret-Harte, M.S., Calef, M.P., Callaghan, T.V., Carroll, A.B., Epstein, H.E., Jonsdottir, I.S., Klein, J.A., Magnusson, B., Molau, U., Oberbauer, S.F., Rewa, S.P., Robinson, C.H., Shaver, G.R., Suding, K.N., Thompson, C.C., Tolvanen, A., Totland, O., Turner, P.L., Tweedie, C.E., Webber, P.J., Wookey, P.A., 2006. Plant community responses to experimental warming across the tundra biome. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103, 1342-1346.
- Wilby, R.L., Wigley, T.M.L., 2002. Future changes in the distribution of daily precipitation totals across North America. *Geophysical Research Letters* 29.
- Wookey, P.A., 2007. Climate change and biodiversity in the Arctic-Nordic perspectives. *Polar Research* 26, 96-103.
- Yoccoz, N.G., Ims, R.A., 1999. Demography of small mammals in cold regions: the importance of environmental variability. *Ecological Bulletins* 47, 137-144.
- Aanes, R., Saether, B.E., Oritsland, N.A., 2000. Fluctuations of an introduced population of Svalbard reindeer: the effects of density dependence and climatic variation. *Ecography* 23, 437-443.
- Aanes, R., Saether, B.E., Smith, F.M., Cooper, E.J., Wookey, P.A., Oritsland, N.A., 2002. The Arctic Oscillation predicts effects of climate change in two trophic levels in a high-arctic ecosystem. *Ecol. Lett.* 5, 445-453.