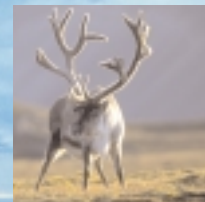


Arktisk

Område for
miljø og utvikling

lys og varme





Innhold - Faglige resultater

1 Klima og stråling i Arktis

1.1 Klimavariasjoner i atmosfære, is og hav

Atmosfæren
Sjøisen
Havet
Hav-atmosfære varmetransport
Klima- og sirkulasjonsendringer

1.2 Geofysiske prosessstudier

Snø- og isdekke
Satellittmålinger av snø og is
Dypvannsdannelse
Energiutveksling mellom atmosfæren og underlaget
Finskalamodellering av vind og snødrift
Koblet atmosfære-hav-is modellering på fin skala

1.3 Framtidige utfordringer

2 Klimaets og strålingens innvirkning på organismer, populasjoner og økosystemer

2.1 Enkeltorganismer – fysiologiske tilpasninger

Arktisk klima
Arktisk lys
Krykkjas energibalanse
Biologiske klokker i Arktis
Reinens aktivitetsrytme
Hormonet melatonin og biologiske rytmer
Svalbardrøyas sjøvandring
Hva styrer røyas smoltifisering?
UV-belastning i Arktis
Forsvarsmekanismer
Arktiske planter og UV-stråling

Framtidige utfordringer/forskningsbehov vedrørende fysiologiske tilpasninger hos arktiske organismer til endringer i klima og stråling

2.2 Klimaets og lysets virkninger på populasjoner og samfunn av dyr og planter

Særegenheter ved arktiske økosystemer
Populasjonsdynamikk, klima og andre økologiske forhold
Svalbardrein
Hvitkinngås
Svalbardrøye
Spretthaler
Topografisk variasjon i artsmangfoldet i arktiske landskap
Marine økosystemer og klimaendringer
Primærproduksjonen i den marginale issonen
Artsmangfoldet på bunnen av Kongsfjorden
Økologien til en høyarktisk populasjon av steinkobbe
Isbjørnens vandringer

2.3 Framtidige utfordringer

3 Arktiske biologiske prosesser med potensielle klimaeffekter

Økosystemene og klimagasser
Mikrobiell metanomsetning på arktisk tundra
Klimaendringer og mikrobielle jordbunnsprosesser
Karbonomsetning i arktiske havområder
Oseanografiske målinger og modeller
Marine arktiske økosystemer og klimaendringer
Framtidige utfordringer





Sammendrag

Forskningsprogrammet ALV – Arktisk lys og varme (1997–2001) er avsluttet. Programmet, som ble finansiert av Miljøverndepartementet og Undervisnings- og forskningsdepartementet, har over 5 år satt i gang 33 forskningsprosjekter, inkludert 14 rekrutteringsstipend, og 5 formidlingsprosjekter for til sammen 42 mill. kr. Mange av prosjektene har utviklet modeller og modelleringsverktøy, og det er også analysert biologiske og geofysiske data samlet inn i løpet av programperioden sammen med eldre/lengre tidsserier. Måloppnåelsen er tilfredsstillende.

En del prosjekter har tatt utgangspunkt i resultater fra klimamodeller utviklet i andre sammenhenger, og flere prosjekter har koplet klimamodeller med geofysisk og økologisk empiri. Større klimamodeller er også brukt som utgangspunkt for beregninger av lokalklima. Både bakke- og satellittbaserte automatiserte samt manuelle datainnsamlingsmetoder er benyttet.

Innen klima (kap. 1.1) har atmosfære, sjøis, hav, hav-atmosfære-varmetransport samt klimaendringer og sirkula-

sjonsendringer blitt studert. Videre er det gjennomført flere geofysiske prosessstudier innen snø- og isdekke, dypvannsdannelse, energiutveksling land-atmosfære-hav, sammen med finskala-modelleringsprosjekter innen vind og snødrift og atmosfære-hav-is.

Når det gjelder klimaets og strålingens innvirkning på organismer, populasjoner og økosystemer (kap. 2.2), har man studert fysiologiske tilpasninger hos arktiske organismer til arktisk klima og stråling. Både fugl, pattedyr, fisk, krepsdyr, planter, alger og bakterier er blitt studert i denne sammenheng. Videre har klimaets virkninger på populasjoner og artssamfunn av planter og dyr blitt tatt opp gjennom studier av svalbardrein, isbjørn, hvitkinngås, svalbardrøye og spretthaler, samt alger og bunnlevende marine arter.

Tilbakekoplingseffekter i form av biologisk betinget påvirkning av klimaet har også blitt studert gjennom undersøkelser av mikrobiell metanomsatning på arktisk tundra, mikrobielle jordbunnprosesser og karbonomsatningen i arktiske havområder (kap. 3.3).



Innledning

Den norske nasjonalkomité for polarforskning utformet i 1995 en strategisk plan for norsk forskning i Arktis. Samtidig som Norges forskningsråd godkjente planen, besluttet de at nasjonalkomiteen skulle utarbeide et polarforskningsprogram.

Nasjonalkomiteen inviterte relevante norske forskningsmiljøer til å presentere prosjektskisser knyttet til forskning i Arktis. Totalt kom det inn 170 idéskisser med et finansieringsbehov på 650 millioner norske kroner.

Som et resultat av den strategiske planen, en vurdering av Forskningsrådets eksisterende programportefølje, de innkomne idéskisser og økonomiske begrensninger, ble forskningsprogrammet Arktisk lys og varme (ALV) etablert i 1996 med en varighet på 5 år.

Programmets målsetting har vært å bedre kunnskapene om:

- naturlige og antropogene variasjoner i klima og stråling
- virkninger av klima og stråling på organismer, populasjoner og interaksjoner mellom populasjoner

- tilbakekoplinger mellom arktiske biota og klima

Aktuelle tema var :

- klimaendringer, klimavariasjon og effekter på organismer, populasjoner og økosystemer
- fotoperiode, strålingsprosesser, energibalanse og deres biologiske effekter
- atmosfære-sjøis-hav-interaksjoner, inkludert overflatestrålingsbalanse og varmebudsjett i Arktis

Programmet skulle fremme forskning som kopler fysiske miljøparametre med biologiske komponenter i Arktis, samt bidra til å øke forståelsen for de genuint arktiske sammenhengene i klimasystemet og økosystemenes virkemåte.

Prosjektporteføljen ble derfor satt sammen av både tverrfaglige og flerfaglige prosjekter, samt prosjekter som bidro til programmets tverrfaglige aspekter ved å danne bindeledd mellom fagområder som ble dekket i andre prosjekter.



Målsettingene var vide og ambisiøse. I alt 42 millioner kroner ble bevilget til programmet, mens idéskissene til programmet beløp seg til 650 millioner kroner. Vi har fått ny viktig kunnskap innen alle programområdene. Det er imidlertid fortsatt store kunnskapsbehov knyttet til forståelsen av klima, stråling og økosystemer i Arktis.

I alt 33 forskningsprosjekter og 5 formidlingsprosjekter er gjennomført i regi av ALV. Det har vært en utfordring for programstyret å skape et sammenhengende program, der samarbeid løfter ALV fra å være en samling av enkeltstående prosjekter til et komplett forskningsprogram. Det har derfor vært en viktig oppgave å stimulere til kontakt mellom de forskjellige prosjektene og fagmiljøene. Både ved forskersamlinger og i skriftlig kontakt med prosjektledere har prosjektdeltakerne blitt oppfordret til å samarbeide på områder der dette ble vurdert som nyttig.

Selv om ALV som forskningsprogram ikke fokuserer på forvaltningsmessige aspekter, har noen ALV-prosjekter direkte relevans for forvaltningen av arktiske områder og deres ressursgrunnlag. Dessuten vil de fleste data sett som samles inn i de enkelte ALV-prosjekt, brukes i et Miljøatlas for polarområdene som er under oppbygging ved Polarmiljøsenteret. Det må understrekes at ethvert prosjekt som bidrar til å skaffe ny grunnleggende kunnskap om arktiske forhold på sikt, også bidrar til kunnskapsgrunnlaget for en bedre forvaltning av arktiske områder og ressurser.

Over 2/3 av prosjektene har én eller flere utenlandske samarbeidspartnere. Noen av stipendiatene har hatt utlandsopphold innenfor prosjektet og flere av prosjektene representerer komplementære biter i større EU-prosjekter.

Programmet har hatt 14 stipendiatere. Disse er fordelt på 3 post.doc.stipendiatere, alle kvinner, og 11 dr.gradsstipendiatere, hvorav 4 kvinner og 7 menn.

Resultater 1

Klima og stråling i Arktis

De ekstreme strålingsforholdene i Arktis, med sol hele døgnet om sommeren og mørketid om vinteren, skaper svært spesielle rammebetingelser for klimaet i dette området. De strålingsbestemte døgnlige temperaturvariasjonene blir små sommer og vinter, mens årstidsvariasjonene blir store.

På grunn av de lave temperaturene er store områder dekket av snø eller is gjennom hele eller deler av året. Dette virker igjen tilbake på klimaet.



1.1 Klimavariasjoner i atmosfære, is og hav

Ved siden av å være kalde er polarområdene preget av store temperaturvariasjoner fra sesong til sesong. Dette gjelder både over land og islagte havområder. Vesentlig styrt av forholdene vinterstid er også temperaturvariasjonene fra år til år større her enn de fleste andre steder. Modeller for framtidig klimautvikling som følge av økt "drivhuseffekt" tyder på at det er i Arktis vi kan vente oss de største klimaendringene i de kommende hundre år. Dette har ført til økende etterspørsel etter studier av klimautviklingen i dette området, både for overvåkingsformål og for modellvalidering. De store naturlige variasjonene i arktisk klima gjør imidlertid at det skal sterke signaler til før en klimaendring kan betraktes som "statistisk sikker". Analysene begrenses dessuten av tilgangen på lange serier av høykvalitets klimadata fra disse strøkene. I ALV har 5 prosjekter hatt som hovedformål eller delformål å analysere arktiske klimadataserier fra hav, is og/eller atmosfære. Det dreier seg dels om analyser av nylig tilgjengelige data, og dels om reanalyser av eldre data i nye konstellasjoner.

Atmosfæren

De lengste norske arktiske klimaseriene viser positive trender både for temperatur og nedbør gjennom det 20. århundre, men bare nedbørtrenden er

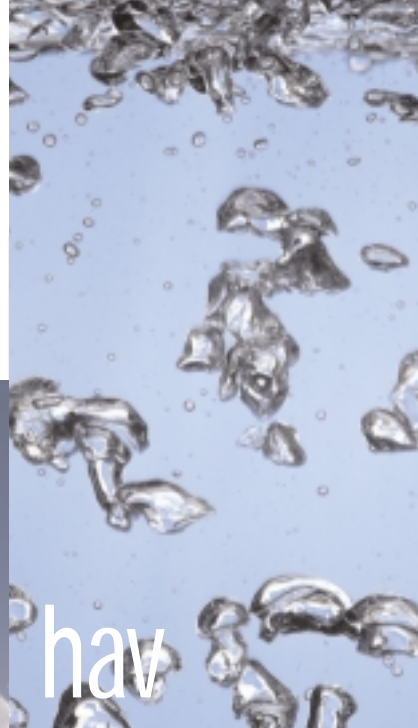
statistisk sikker for perioden som helhet (Førland, DNMI) (referanser viser til prosjekttabellen bakerst). Temperaturøkningen fra 1960-årene til 2000 er imidlertid statistisk sikker. Ved Longyearbyen på Svalbard har temperaturen i gjennomsnitt økt med 0,14 °C per tiår fra målestart i 1912, mens årsnedbøren har økt med ca. 2,8 % per tiår. Resultatene fra globale klimamodeller tyder på at økningen av klimagasser i atmosfæren vil føre til ytterligere økning, både av temperatur og nedbør i Svalbard-området. Et nedskalert klimascenario basert på klimamodellen fra Max Planck Institutet (MPI) gir en temperaturøkning i Longyearbyen på 0,6 °C per tiår fram til 2050, mens projisert nedbørøkning er 1,4 % per tiår. Nedbørvariasjonene er ganske nært knyttet til variasjoner i atmosfærisk sirkulasjon. Også temperaturøkningen fra 1960-årene til 2000 kan i stor grad forklares ved en økning i transport av milde luftmasser fra sørvest. Temperaturvariasjonene før 1960-årene kan i mindre grad forklares ved variasjoner i luftstrømmer, og det samme gjelder den projiserte økningen fram til 2050. Den projiserte temperaturøkningen ser ut til å være delvis knyttet til modellert reduksjon av sjøis i Barentshavet. Sjøisen påvirker klimaet både ved å avskjære fuktighets- og varmeutvekslingen mellom hav og atmosfære, og ved å endre refleksjonen av solstråling. Reduksjon av sjøisarea-



himmel



is



hav



snø



let er således både resultat av, og årsak til, klimaendringer. Dette gjør at troverdigheten av lokale temperaturscenerier i Arktis er kritisk avhengig av at scenariet for sjøisutbredelse er riktig.

Sjøisen

Den sterke økningen i lufttemperatur vi har sett på Svalbard de siste ti-årene samsvarer med målinger fra andre deler av Arktis. Et nylig tilgjengelig russisk datasett viser i gjennomsnitt en oppvarming på 1,5 °C gjennom perioden 1980–2000 for områder nord for 60° N (Johannessen, NERSC). Gjennom omtrent samme periode har det arktiske sjøisareal minket med ca. 3 % per tiår, mens arealet dekket av flerårsis har minket med 7 % per tiår. Variasjoner i sjøisdekket kan, i likhet med temperaturvariasjoner, delvis knyttes til variasjoner i atmosfærisk sirkulasjon (blant annet den Nord-Atlantiske Oscillasjon, NAO, og den Arktiske Oscillasjon, AO – en generalisering av NAO som inkluderer trykkvariasjoner over hele nordkalotten). Den sterke reduksjonen i flerårsisen aktualiserer spørsmålet om hvorvidt Nordishavet kan bli isfritt om sommeren i løpet av det 21. århundre. Analyser basert på forlengelse av observerte trender fra de siste tiårene antyder at dette kan skje, men slike analyser er svært spekulative, især når tidsserier er korte. Modellresultater fra koplede klimamodeller gir varierende resultater. Simuleringer med MPIs klimamodell gir en 20 % til 50 %

reduksjon i midlere isdekke, mens simulert reduksjon i sommerisdekket er omkring 70 % fram til 2100. Denne modellen gir en ganske realistisk reduksjon av isdekket gjennom de siste 20 år. Man skal imidlertid være klar over at dagens globale klimamodeller har for grov oppløsning til at sjøismodelleringen kan bli særlig pålitelig.

Havet

Klimaet i Arktis påvirkes i stor grad av varmetransport via havstrømmer sørfra. Et viktig element i denne transporten er Vest Spitsbergen-strømmen, som transporterer varmt vann av atlantisk opprinnelse fra Norskehavet til Framstredet og videre til Polhavet. Målinger fra denne strømmen gjennom hele det 20. århundre er nå samlet og reanalysert (Haugan, UiB). Temperaturen i strømmen har variert i takt med NAO de siste par tiårene, men er tilnærmet ukorrelert med NAO i den foregående perioden. Analyser av tidsutviklingen om høsten i nordre deler av strømmen viser ingen langsiktig trend i temperaturen. Dette antyder at den målte oppvarmingen i det atlantiske lag i Polhavet (og eventuell sammenheng med redusert isdekke) ikke kan tilskrives eksepsjonelt høye temperaturer i Vest Spitsbergen-strømmen tidlig på 1990-tallet, slik enkelte har hevdet. Årsaker til varmetapet fra Vest-Spitsbergen-strømmen på dens vei nordover ble også studert i dette prosjektet. Kun overflatelaget er signifikant påvirket av ismelting og varme-

tap til atmosfæren. Det største varmetapet må derfor skyldes lateral blanding, og varmetransporten til Polhavet via denne strømmen er følgelig lite avhengig av variasjoner i isforholdene.

Hav-atmosfære-varmetransport

Varmefluksene mellom hav og atmosfære i de nordlige hav varierer ikke i takt med NAO og AO (Grønås, UiB). I stedet er det funnet en ny type storstilt variasjon (eller oscillasjon) i bakkestrykket som har aksjonssentra over Grønland og Barentshavet øst for Finnmark. Det synes å være slik at når trykket er unormalt høyt over Grønland, er det unormalt lavt over Barentshavet og omvendt. Variasjonene styrer retning og styrke på vinden fra eller til isen, og på den måten varierer varmefluksene over havet i takt med disse trykkvariasjonene. Den nye oscillasjonen har fått navnet Barentshavoscillasjonen (BO). Kaldluftsutbrudd gir stor transport av is sydover og stor nydannelse av is. Lavere trykk enn normalt over Grønland og høyere enn

normalt øst for Finnmark kan føre til sjeldnere kaldluftsutbrudd og derfor minket isdekket areal, som igjen kan virke tilbake på klimaet.

Klima- og sirkulasjonsendringer

I flere av de ovennevnte undersøkelser, og dessuten i en studie der atmosfæriske og oseanografiske målinger er analysert sammen (Mauritsen, MIT), er det funnet sammenheng mellom NAO eller AO og klimavariabel i atmosfære, is og hav. Et felles trekk for de analysene som går mer enn 30–40 år tilbake i tid, er imidlertid at sammenhengene synes å variere i tid for temperaturrelaterte klimavariabel. Relativt høye korrelasjoner finnes for de siste tiårene (en periode med sterk positiv trend i NAO- og AO-indeksen), men ikke tidligere. Disse indeksene er blitt populære klimaindeksler blant annet i økologiske studier. På grunn av mulig variasjon i forholdet mellom denne indeksen og lokale klimavariabel bør resultatene av slike studier anvendes med omhu.



NP - Windfried Dallmann

isbren kalver



1.2 Geofysiske prosessstudier

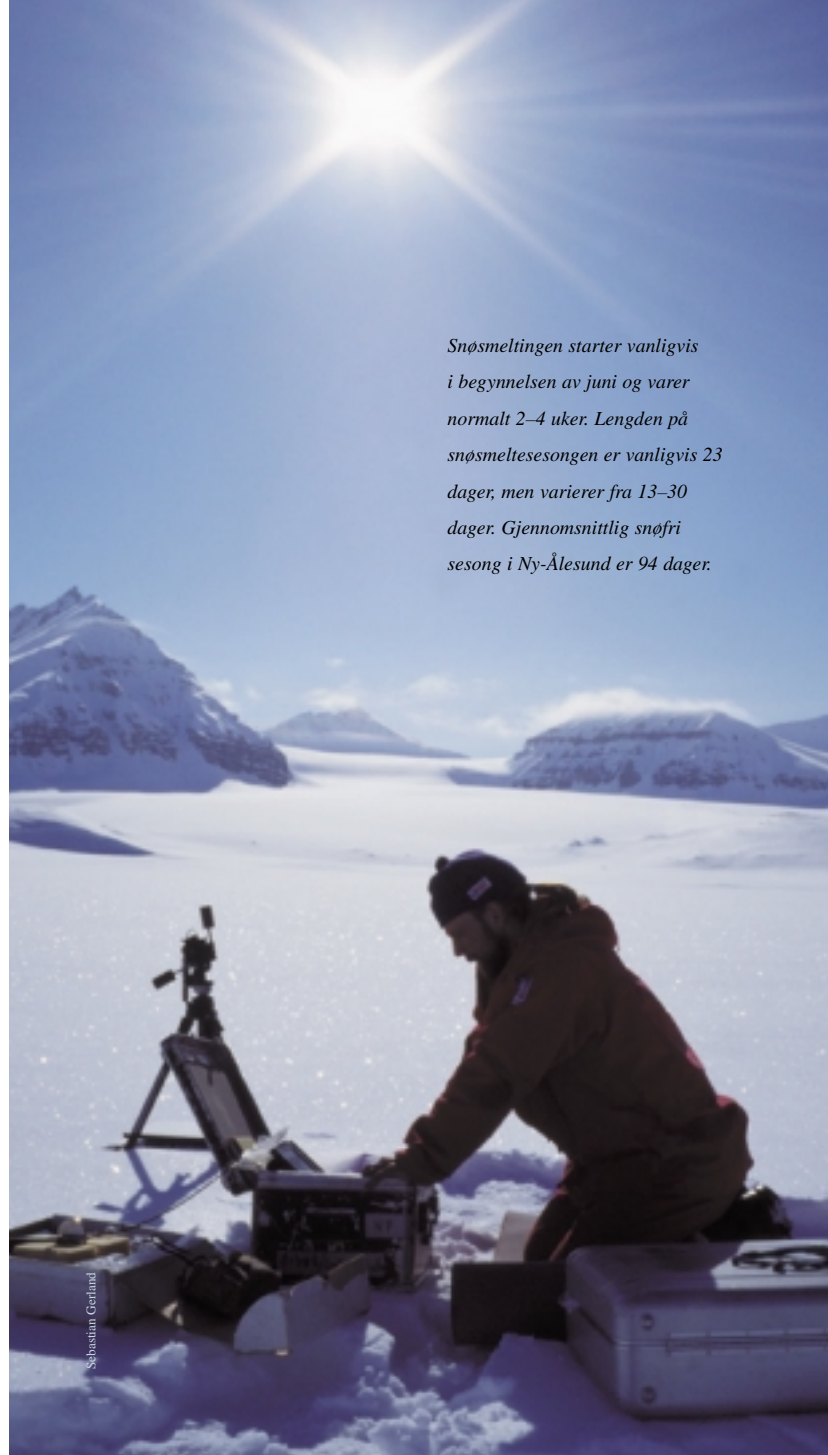
Studier av geofysiske prosesser er nødvendige for å bedre forståelsen og modelleringen av klimasystemet. Prosesstudier fører i noen tilfeller til bedre fysiske beskrivelser som kan benyttes direkte i de koplede klimamodellene. I andre tilfeller kan de føre til bedre parameteriseringer av prosesser som av forskjellige årsaker ikke kan beskrives direkte i klimamodellene. Prosesstudier kan også avsløre sammenhenger mellom klimamodellens prognostiske variable og variable som ikke modelleres direkte. På denne måten kan slike studier gjøre det mulig å lage scenarier for variable som ikke modelleres direkte. Av spesiell interesse sett fra et klimaendringperspektiv er studier knyttet til såkalte "feedback-prosesser", det vil si prosesser som påvirkes av klimaendringer, og som igjen virker tilbake på klimaet.

Snø- og isdekke

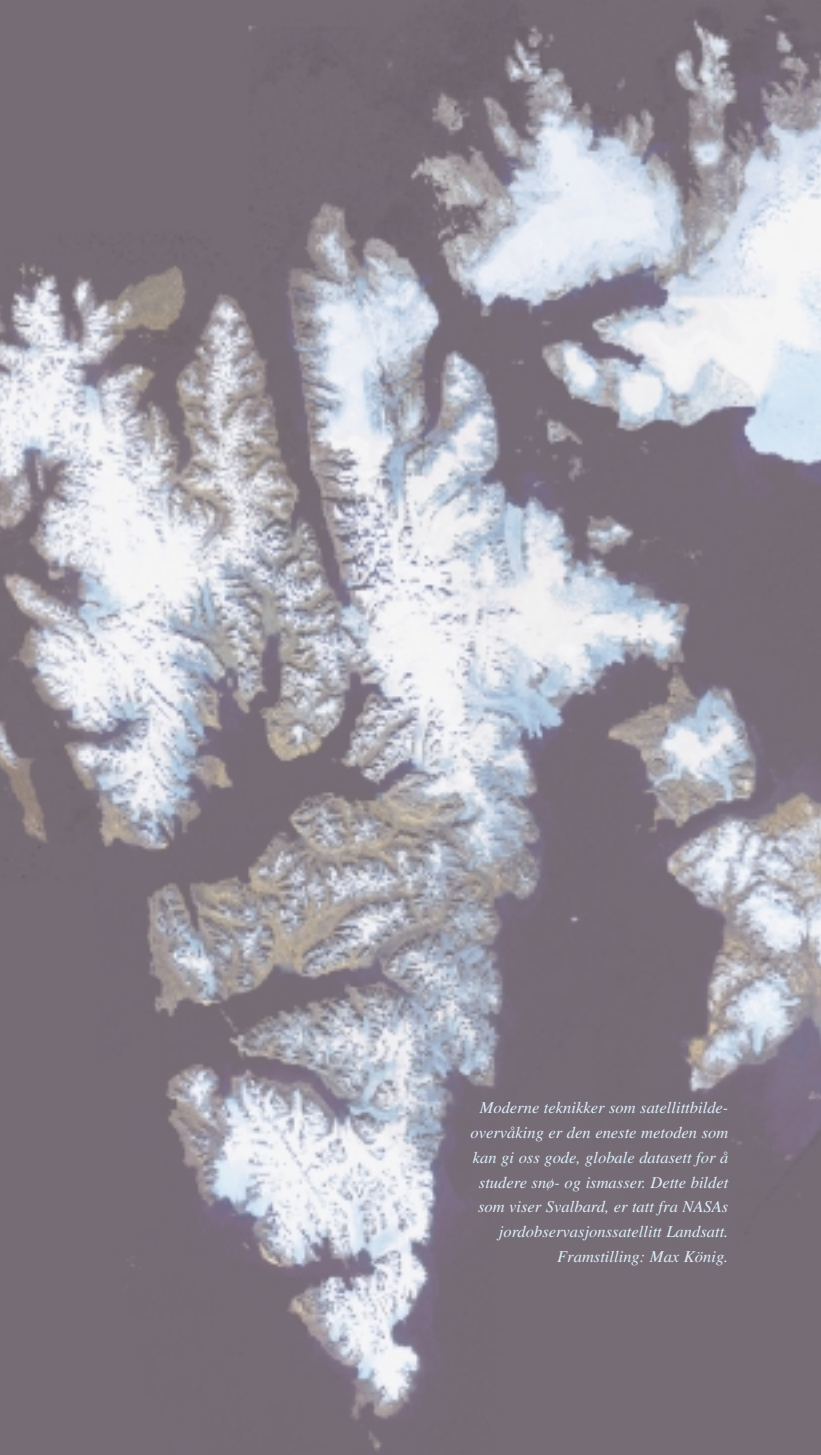
Mulige feedback-prosesser med særlig relevans i Arktis er prosesser knyttet til snø- og isdekke over hav og land. I to ALV-prosjekter er det fokusert på slike prosesser. Det ene (Winther, NP) omhandler betydningen av snøens tyk-

kelse og beskaffenhet om våren for vekstsesongen på Svalbard. Det konkluderes med at tørr snø absorberer sollyst meget effektivt (95 % ved 10 cm snødybde), mens våt snø slipper gjennom en langt større andel (ca. 3 ganger mer). Snødekket er viktig også for marine prosesser og forårsaker den vesentligste delen av sollysets svekking gjennom is. Når sjøis er dekket av snø, skjer det en betydelig reduksjon i den strålingsenergien som trenger igjennom og når vannmassene under sjøisen.

I det andre snøprosjektet i ALV (Sand, UNIS) er en rekke modeller testet for å simulere energibudsjett, interne prosesser og avrenning fra et snødekke. De mest avanserte modellene gir tilfredsstillende resultater for tørt snødekke, mens resultatene er mindre tilfredsstillende for vått snødekke, både når det gjelder energibalanse og interne prosesser. Smeltevannsavrenning simuleres like godt med en enkel temperaturindeksmodell som med de avanserte modellene. Det er også utviklet en enkel indekksmodell for å identifisere meteorologiske episoder som kan gi isdannelse på tundraen.



Snøsmeltingen starter vanligvis i begynnelsen av juni og varer normalt 2–4 uker. Lengden på snøsmeltesesongen er vanligvis 23 dager, men varierer fra 13–30 dager. Gjennomsnittlig snøfri sesong i Ny-Ålesund er 94 dager.



Moderne teknikker som satellittbildeovervåking er den eneste metoden som kan gi oss gode, globale datasett for å studere snø- og ismasser. Dette bildet som viser Svalbard, er tatt fra NASAs jordobservasjonssatellitt Landsatt. Framstilling: Max König.



Satellittmålinger av snø og is

Studier av spektral albedo (overflatens refleksjonsevne for solstrålingens forskjellige bølgelengder) og fysiske parametre for snøpakken (fuktighet, tetthet, kornstørrelse, temperatur) har bidratt til å kartlegge muligheter og begrensninger for satellittbaserte albedomålinger (Winther, NP). Nøyaktige målinger fra satellitt er nødvendig for å kunne undersøke store utilgjengelige områder i Arktis. Resultatene viser at fuktighet i snøpakken og krystallenes form og størrelse endrer seg vesentlig gjennom smeltesesongen og påvirker optiske satellittmålinger. Dette betyr at kunnskap om snøpakkens beskaffenhet er avgjørende for å oppnå gode målinger. Videre har prosjektet vist hvordan satellittsensorer som registrerer synlig lys, egner seg best for studier av forurensninger, mens sensorer som registrerer infrarødt lys, egner seg best til å måle fysiske forandringer av snøen slik som fuktighet og kornstørrelse. Det er også kvantifisert hvor store feil som måles fra satellitt når snøen reflekterer sollys speilende, dvs. ulikt i ulike retninger. Dette er viktig for smeltende snø i terreng med variert topografi.

Dypvannsdannelse

Prosesser knyttet til dyp- og bunnvannsdannelse er også potensielle feedbackmekanismer i det arktiske klimasystemet. Et ALV-prosjekt (Nøst, NP) har omhandlet dette. Når sjøis fryser, felles det ut salt slik at det dannes tungt vann

med høy saltkonsentrasjon. Fryseprosessen har derfor betydning for dannelse av bunnvann og dypvann, og følgelig for den thermohaline sirkulasjon (storskalasirkulasjon som dannes ved at tungt salt vann strømmer ned til bunnen og erstattes ved tilstrømming av ferskt overflatevann). En undersøkelse i Storfjorden på Svalbard viser at isproduksjonen der er omtrent like stor i milde og kalde vintre. Den høyere lufttemperaturen i milde vintre kompenseres ved at arealet av åpent vann (polynyas) er større, og det er her den mest effektive isfrysingen foregår.

Energiutveksling mellom atmosfæren og underlaget

Stor usikkerhet i klimamodellering i Arktis er knyttet til vekselvirkninger mellom atmosfære, hav og snø-/isflater. Et prosjekt (Grønås, UiB) har omhandlet energiflukser mellom atmosfæren og underlaget. Sjøisen i Arktis virker som et kontinent for atmosfærisk bevegelse. Gjennom mesteparten av året dannes det kald, tung luft ved bakken. Mellom den kalde luften og mye varmere luft over åpent hav dannes det seg grunne arktiske fronter. Disse simuleres meget godt med en finskalamodell. De arktiske frontene har ofte svært sterk vind nær bakken nord for fronten. Dette betyr at det ikke bare er polare lavtrykk (små og intense lavtrykkshvirvler ned til 1/10 i størrelse sammenliknet med vanlige lavtrykk) som gir farlige vinder i disse havområdene, men også arktiske fronter. Varmefluksene fra havet under for-



hold med arktiske fronter og sterke vinder er formidable. Flukser opp i 1500 Wm⁻² er simulert like utenfor iskanten. I tillegg kommer flukser av latent varme gjennom fordampning. Disse er ikke så store ved iskanten, fordi lufta her er nesten mettet av vandamp. Lenger fra iskanten blir disse fluksene gjerne halvparten så store som fluksene med følbar varme.

Finskalamodellering av vind og snødrift

Finskalamodellering har også blitt benyttet til studier av vind og snødrift (Sandvik, UiB). Arktiske fjell inne i isen, som fjellene på Spitsbergen, har stor virkning på luftstrømmen når de fremherskende storstilte vindretningene er fra havisen og den statiske stabilitet er stor. Strøm av kald arktisk luft over Spitsbergen gir ofte stråler med sterk vind (jetter) fra sør- og nordspissen av Spitsbergen og ut de største fjordene. I tillegg til jettene får vi markante bakevjer bak de høyeste fjellene, og disse kan strekke seg mange hundre kilometer ned gjennom Norskehavet. Slike forhold, som ellers er svært vanskelig å simulere med ordinære varslingsmodeller, simuleres meget godt med finskalamodell.

Fenomener som arktiske fronter, jetter og bakevjer fra topografien gir store vindvariasjoner, som igjen gir sterke føringer på havsirkulasjonen. Snødrift i komplekst terreng er også studert ved hjelp av en finskalamodell. Resultatene viser godt samsvar med brededata fra Svalbard.

Koplet atmosfære-hav-is modellering på fin skala

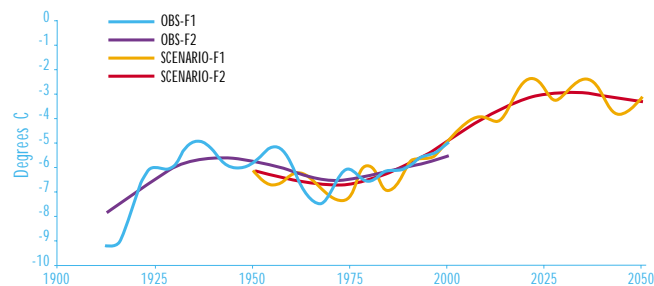
Klimamodellering er spesielt usikker i Arktis, blant annet fordi den romlige oppløsningen i klimamodellene er for grov til å gi en tilstrekkelig god beskrivelse av energiutvekslingen mellom sjøis, hav og atmosfære. Et prosjekt (Røed, UiB) hadde som målsetting å bedre forståelsen av slike prosesser ved å utvikle en koplet atmosfære-hav-is-modell på finere romlig skala. En slik modell er nå utviklet med avanserte atmosfære-, is- og havmoduler. En rekke følsomhetseksperimenter er gjennomført, og resultatene viser realistisk simulering av observerte strukturer både i hav og atmosfære. Den koplede modellen vil være et nyttig verktøy både for å gjennomføre spesifikke prosessstudier og for å forbedre de parameteriseringer som benyttes i klimamodellering.



1.3 Framtidige utfordringer

Til tross for at det har vært store framskritt i klimaforskningen gjennom de senere år, er vår kunnskap fortsatt mangelfull innen mange områder. I årsrapportene fra ALV er det listet opp en rekke slike problemområder med spesiell relevans for arktiske strøk. Her vil vi fokusere på et slikt område, nemlig vekselvirkninger mellom hav, is og atmosfære. Havets, isens og atmosfærens relative roller i klimasystemet er for dårlig kjent. I hvor stor grad reagerer de enkelte elementene passivt på ytre pådriv, og i hvor stor grad bidrar de med tilbakekoplinger? Hvilke prosesser er det som styrer variasjoner og endringer i vekselvirkningene mellom elementene? Svarene

er antakelig forskjellige på forskjellige skalaer i tid og rom. Problemområdet må angripes på flere måter. Multivariable analyser av tidsserier fra de forskjellige elementene kan bidra til å bedre forståelsen av hvilke elementer som er drivende på forskjellige tidsskalaer. Prosessstudier øker forståelsen for forskjellige prosessers betydning, og kan bidra til å forbedre prosessbeskrivelser og parameteriseringer i vær- og klimamodeller. Modellering av vekselvirkningene på forskjellige skalaer kan avsløre svake punkter i vår forståelse av klimasystemet, og gi grunnlag for mer realistiske scenarier for hvordan klimaet vil endres i fremtiden både lokalt og globalt.



Observert (blå/lilla) tidsserie av årsmiddeltemperatur på Svalbard Lufthavn fra 1912 til 2000, og modellert (gul/oransje) tidsserie fra 1950 til 2050. Seriene er glattet med to filtre slik at de viser variasjoner på tidsskalaer fra 10 år og oppover (Inger Hanssen-Bauer).

2

Klimaets og strålingens innvirkning på organismer, populasjoner og økosystemer

De ekstreme og svært variable klima- og lysforhold i Arktis påvirker organismene som lever her både på individ-, populasjons- og økosystemnivå. De følgende avsnittene gir noen eksempler på hvilken innflytelse disse abiotiske faktorene har på liv og livsutfoldelse i Arktis.



2.1 Enkeltorganismer - fysiologiske tilpasninger

Dyr og planter i Arktis oppviser fysiologiske tilpasninger som gjør dem i stand til å håndtere de store sesongmessige endringer i klima, lys og næringstilgang som kjennetegner polarstrøkene. Disse egenskapene vil settes på ytterligere prøve i forbindelse med en klimaendring i Arktis.

Arktisk klima

Det arktiske klimaet karakteriseres av lave temperaturer, ofte i kombinasjon med vind og nedbør. Slike klimafaktorer har på en åpenbar måte formet arktiske livsformer. Tilpasninger som begrenser organismenes varmetap eller beskytter dem mot fryseskader, representerer derfor viktige forutsetninger for liv i Arktis. Klimaforholdene fører også til at arktiske organismers næringstilgang er svært variabel. Vekstsesongen er kort og følges av en lang og næringsfattig vinter hvor produksjonen er lav eller ikke-eksisterende. I denne perioden overlever organismene kun ved å operere på sparebluss og ved å utnytte næringsreserver som er bygd opp i løpet av vekstperioden. En viktig forutsetning for liv i Arktis er derfor også at organismene oppviser fysiologiske og atferdsmessige tilpasninger som gjør dem i stand til å håndtere disse utfordringene.

Arktisk lys

I tillegg til vær og vind spiller sollyset en åpenbart viktig rolle som en forutsetning for den primærproduksjon som danner grunnlaget for all energiomsetning i næringskjedens øvrige ledd. Solens stråler kan også utnyttes av organismene til oppvarming og vil kunne bidra til å redusere energiomkostningene hos både fugler og pattedyr. Sist, men ikke minst, har lys/mørkerytmen gjennom døgnet og året en direkte og avgjørende betydning for at organismene til riktig tid kan forberede seg for de store sesongmessige skiftningene i klima og næringstilgang som karakteriserer Arktis.

Det rettes stadig større oppmerksomhet mot de skadelige effekter som den ultrafiolette solstrålingen (UV-stråling) kan ha. Hvilke konsekvenser økt UV-stråling kan forventes å få for arktiske organismer og hvordan de eventuelt beskytter seg mot skadelige virkninger, har imidlertid bare vært studert i begrenset omfang.

I løpet av programperioden er det blitt gjennomført prosjekter hvor en har sett på flere av disse aspektene ved arktisk liv og levevilkår.



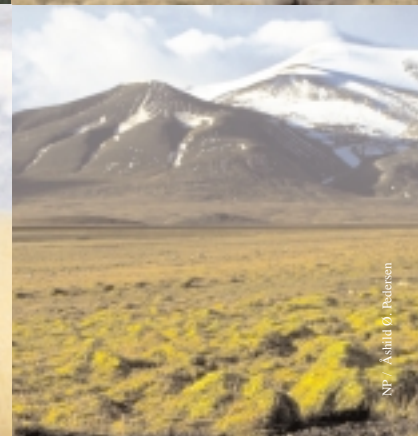
NP / Kai & Omsrud



NP / Georg Bangjord



NP / Shig Nilsen



NP / Ashild O. Petersen



krykkja

Krykkjas energibalanse

Et prosjekt (Bech, NTNU) har omhandlet klimaets innvirkning på energibalansen til krykkjer, en sjøfuglart som sommerstid hekker i store antall i arktiske fuglefjell. Produksjon og ruging av egg samt den påfølgende omsorgsperioden er svært energikrevende. Samtidig er fuglenes muligheter til å dekke sitt energibehov begrenset av at reiret ikke uten videre kan forlates. Lave temperaturer, i kombinasjon med vind og nedbør, vil kunne påføre fuglene ytterligere energikostnader. Prosjektets målsetting var å avgjøre om det innen en populasjon av krykkjer på Svalbard finnes individer som konsistent har høyere varmeproduksjon (stoffskifte) enn andre, og om denne egenskapen gir bedre overlevelsesvilkår. Resultatene bekreftet at forskjellige individer kan ha forskjellig stoffskiftenivå, og at egenskapen synes å være genetisk betinget. Det kunne imidlertid ikke påvises noen relasjon mellom fuglenes stoffskifte og ungeproduksjonen/ungeoverlevelsen (reproduktiv suksess) innenfor det tidsrom som undersøkelsene ble foretatt i. Man fant at foreldrefuglenes basalstoffskifte (det minimum av stoffskifte som er nødvendig for å opprettholde livsfunksjoner) sank markant umiddelbart etter klekking. Samtidig økte gradvis fuglenes totale stoffskifte (basalstoffskiftet + stoffskifte (energi-kostnadene)) i forbindelse med flyging, fangst av mat, etc.), fordi de voksende ungenes økende næringsbehov krevde høyere aktivitet hos foreldrene. Det at



basalstoffskiftet hos en organisme reduseres samtidig som totalstoffskiftet øker, er en ny og interessant observasjon som kan reflektere en tilpasning til liv i arktiske strøk.

Biologiske klokker i Arktis

Organismer som lever i områder med store sesongmessige variasjoner i klima og næringstilgang, oppviser sesongmessige tilpasninger til endringene i sitt miljø. I tillegg oppviser en rekke fysiologiske parametre tydelige og forutsigbare døgnmessige variasjoner. Begge egenskapene forutsetter at organismene har evne til å måle tid, at de har en klokke/kalender de kan forholde seg til. Denne evnen er en fundamental egenskap hos alle typer biologisk liv, fra encellede organismer til pattedyr. Klokkene må synkroniseres regelmessig, og det ytre signal som gir den sikreste informasjonen om dato og klokkeslett, er de lys/mørkerytmer som jordens egen rotasjon og dens bevegelser rundt solen gir opphav til. I polare strøk er rytmen sterkt svekket eller fraværende i lange perioder. Om sommeren vil det f.eks. på Svalbard være kontinuerlig sollys i en firemåneders periode, mens lys er nærmest totalt fraværende i flere måneder om vinteren. Studier av biologiske rytmer og funksjonen til den indre klokken hos arktiske organismer vil gi svar på hvordan disse er i stand til å organisere sine liv selv om lysforholdene i lange perioder ikke synes å gi nødvendig informasjon. Slike studier vil også kunne gi vesentlige bidrag til den



generelle forståelse av de fysiologiske og biokjemiske mekanismer som ligger bak de biologiske klokker som er livsviktige for alle levende organismer.

Reinens aktivitetsrytme

Studier av rypen og rein er gjennomført i regi av ALV, både på det nordlige fastlands-Norge og på Svalbard (Stokkan, AAB/UiTø). Prosjektene har belyst faktorer som innvirker på arktiske pattedyrs og fuglers biologiske rytmer, med en overordnet arbeidshypotese om at arktiske dyr har indre biologiske klokker som enten er tilbakedannet eller er mindre følsomme for lys/mørkerytmen enn det vi ser hos dyr på lavere breddegrader.

Aktivitetsmønsteret hos dyr varierer vanligvis både gjennom døgnet og sesongen, styrt av indre klokker som synkroniseres av lys/mørkerytmen. I et delprosjekt ble aktivitetsmønsteret til frittlevende rein på Svalbard og på Finnmarksvidda overvåket gjennom et helt år. På begge lokalitetene oppviste dyrene i lange perioder om sommeren og vinteren et aktivitetsmønster som var uavhengig av tid på døgnet. Graden av uavhengighet var større hos svalbardrein enn hos fastlandsrein. Liknende studier av biologiske rytmer hos svalbardryper ga tilsvarende resultater. Detaljerte dataanalyser tyder på at dette kan skyldes både en svekket lysfølsomhet, og spesielle egenskaper hos de underliggende biologiske klokken som styrer aktivitetsmønsteret.

Hormonet melatonin og biologiske rytmer

Konklusjonene om reinens og rypenes fleksible biologiske klokker støttes av eksperimenter hvor mengden av hormonet melatonin i blodet er målt til forskjellige tider av døgnet og året (Stokkan, AAB/UiTø). Melatonin, som utskilles døgnrytmisk fra pinealkjertelen i hjernen når organismen utsettes for mørke, representerer det fysiologiske bindeleddet mellom den ytre lys/mørkerytmen og døgnrytmiske kroppsfunksjoner. Syklisk utskillelse av melatonin er blitt registrert hos rein og rypen i de perioder av året hvor en uttalt lys/mørkerytme eksisterer (høst og vår), mens utskillelesrytmen i stor grad utsettes om sommeren såvel som om vinteren.

I den grad rein og rypen har innebygde (endogene) døgnrytmiske mekanismer, synes disse å være mer avdempet enn hos dyr som lever permanent på lavere breddegrader. Det adaptive fortrinn som en slik organisering kan gi, er at arktiske dyr ikke forblir slaver under en indre døgnrytme i de perioder av året hvor uttalt lys/mørkerytmer er fraværende. Dermed vil de på opportunistisk vis kunne utnytte næringsgrunnlaget når forholdene tilsier dette, uavhengig av om det ifølge klokken er natt eller dag.

Svalbardrein i høstsola





Svalbardrøyas sjøvandring

Et annet prosjekt (Svenning og Jørgensen, NINA) har omhandlet økologiske og fysiologiske tilpasninger hos svalbardrøya til stokastiske variasjoner i islossing/isdekking i de ferskvann på Svalbard som disse fiskene tilbringer hoveddelen av året i. Fiskenes livssyklus kjennetegnes av at deler av bestanden om våren foretar vandringer til sjøen for å utnytte rike marine matressurser. Om høsten må fiskene returnere til vassdraget før dette fryser til. Livssyklusen forutsetter at fiskene om våren gjennomgår en fysiologisk forandring, en smoltifisering, som omfatter en endring av fiskenes håndtering av salter/mineraler. I et saltfattig ferskvannsmiljø må røya begrense tapet av mineraler/salter til omgivelsene ved aktivt opptak av visse ioner. I saltrikt sjøvann vil en smoltifisert utgave av den samme fisken være i stand til å reversere ionetransporten og derved begrense opptaket av salter, mens en ikke-smoltifisert fisk vil dø.

Hva styrer røyas smoltifisering?

På Svalbard kan klimavariasjoner føre til at islossing og -tildekking av vassdrag ikke skjer til samme tid hvert år, og i noen år kan forholdene være så ekstreme at isen ikke går i det hele tatt.

Samtidig må fisk som planlegger å foreta sommermigrasjoner til sjøen bestemme seg for dette i rimelig tid, slik at smoltifiseringen kan gjennomføres før utvandringen tar til. Prosjektet har fokusert på å forstå hvordan fiskenes smoltifisering er regulert for å gi fisken tilstrekkelig fleksibilitet til å kunne velge om den vil foreta en vandring til sjøen eller ei. Eksperimentelle studier av røye fra Svalbard og fastlands-Norge viste at smoltifiseringen hos svalbardrøya startet ca. en måned senere om vinteren enn hos fastlandsrøya, og ble gjennomført innenfor et mye kortere tidsrom. Videre mistet svalbardrøya sjøvannstoleransen (desmoltifiserte) hurtigere enn fastlandsrøya dersom fisken ble forhindret fra å vandre til sjøen. Forskjellene kan tolkes som tilpasninger til det variable og uforutsigbare miljøet på Svalbard og er sannsynligvis genetisk betinget. Hos begge gruppene av fisk var tidspunktet for smoltifisering bestemt av den lys/mørkerytme som fiskene ble utsatt for, men vanntemperaturen syntes å ha innvirkning på hvor raskt prosessen gikk. Dersom temperaturen ble kunstig økt for tidlig, ga dette en redusert overlevelse for smoltifisert svalbardrøye. Denne observasjonen kan ha relevans i lys av en mulig fremtidig klimaendring.

Svalbardrøye



UV-belastning i Arktis

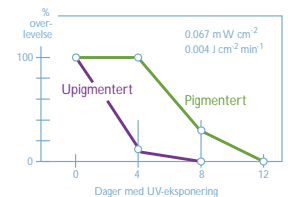
To prosjekter har omhandlet arktiske organismers fysiologiske responser til UV-stråling. I et prosjekt (Hessen, UiO) har man studert klima- og strålingseffekter på arktiske ferskvannsorganismer. Studien har omfattet registreringer av UV-strålingens evne til å trenge ned i vannmassene sett i relasjon til vanntemperatur, vindstress og omrøring, og man har videre undersøkt hvordan strålingen påvirker en nøkkelart, dyreplankton-arten *Daphnia pulex*. Selv om strålingsintensiteten i Arktis er lavere enn på lavere breddegrader, fant man at den strålingsmengde som organismene utsettes for, vil være stor fordi vannene er klare og ofte grunne, og fordi solen sommerstid stråler døgnet rundt.

Forsvarsmekanismer

Visse arter og kloner av *Daphnia* er mørkfargede av pigmentet melanin som effektivt absorberer UV-stråling, men melaninsyntesen er energikrevende, temperaturavhengig og skjer bare under kontinuerlig UV-stress. Utvikling av forbindelser med antioksidative egenskaper er en annen mulig forsvarsmekanisme mot UV-stråling, men arktiske/melaniserte bestander oppviste ikke noen spesielle tilpasninger i så måte. Man fant at den totale produksjonen av alger og bakterier i et ferskvannsvolum kun ble påvirket ved relativt høye eksperimentelle UV-belastninger, men artssammensetningen ble forandret allerede

ved relativt lav belastning, til fordel for de mer UV-tolerante artene. UV-stråling viste seg videre å ha viktige effekter på visse algers fettsyresammensetning: En del essensielle fettsyrer (som både dyreplankton og fisk er avhengige av) var svært ømfintlige overfor UV-stråling. Dette kan vise seg å være næringskjedens svakeste ledd med hensyn til skadelige effekter av økt UV-stråling i Arktis.

OVERLEVELSE AV PIGMENTERTE OG UPIGMENTERTE INDIVIDER FRA SAMME KLON AV *Daphnia pulex*



Eiter Hessen et al., Polar Research, 18, 1999

Arktiske planter og UV-stråling

Et annet prosjekt (Bilger, NLH) har fokusert på arktiske/alpine planters forsvarsmekanismer mot skadelig UV-stråling. Resultatene viste at en del lavarter produserer forbindelser (pigmenter) som kan beskytte mot visse typer av UV-stråling, og at produksjonen øker med økende belastning. Hos planter var evnen til pigmentproduksjon like stor hos artsrepresentanter fra alpine strøk (hvor UV-innstrålingen generelt er høy) som hos representanter for samme art i Arktis (hvor UV-belastningen er langt lavere). Arktiske arter synes derfor å ha potensial til å beskytte seg mot en viss økning i UV-strålingen. Studiene viste også at ska-



der forårsaket av slik UV-stråling i stor grad kan repareres av plantene selv. Disse reparasjonsprosessene er imidlertid langsomme ved lave temperaturer. Ved UV-belastning i kalde omgivelser fant man at vanlige dyrkede plantearter syntes å prioritere produksjonen av beskyttelsespigmenter, mens de ved høyere omgivelsestemperaturer hadde lav pigmentproduksjon, og isteden reparerte skader som oppstod. I motsetning til dette hadde de studerte arktiske/alpine planter en jevn produksjon av beskyttelsespigment, også ved høye temperaturer. Dette kan tyde på at disse jevnlig utsettes for et UV-strålingsstress som krever en vedvarende beskyttelsesberedskap.

Framtidige utfordringer

Organismenes evne til å overleve i sitt miljø og til å tolerere endringer i dette miljøet er betinget av de fysiologiske og atferdsmessige responser og mekanismer som disse oppviser. Vi har forholdsvis gode kunnskaper om tilpinningsmekanismer, som er en forutsetning for et arktisk levevis hos mange plante- og dyrearter; hvordan organismene utnytter disse og hva slags klimabetingelser de er i stand til å håndtere. Ytterligere kartlegging av slike mekanismer hos en del arter er imidlertid fortsatt nødvendig. Det er videre sannsynlig at endringer i klima- og strålingsforholdene i Arktisk vil kunne få store direkte virkninger på arktiske

planter, som dermed medfører betydelige indirekte følger for den arktiske dyreverden, siden deres næringsgrunnlag da vil endres. Fysiologiske tilpinninger/responser til slike (klimarelaterte) endringer i arktiske planter og dyrs næringsgrunnlag fortjener derfor ytterligere oppmerksomhet. I tillegg bør videre studier av effekter av endrede strålingsforhold (økt UV-bestråling) på arktiske organismers overlevelse (for eksempel yngeloverlevelse hos nøkkelarter i det marine miljø) gjennomføres.

Det må avslutningsvis understrekes at følgene av en klimaendring for arktiske organismers livsvilkår fortsatt er uforutsigbare. Dersom vi skal ha mulighet til å forholde oss til eller forutsi konsekvensene av de endringer som måtte komme, er det av avgjørende betydning at vi har et generelt høyt kunnskapsnivå om arktiske organismers tilpinninger til sitt miljø i sin alminnelighet. En slik kunnskapsberedskap kan kun bygges opp gjennom en økt, langsiktig satsing på grunnforskning om arktiske organismers fysiologiske tilpinninger i videste forstand.



NP / Kth & Christian

Naturen alene
vet hva den vil

Goethe



2.2 Klimaets og lysets virkninger på populasjoner og samfunn av dyr og planter

Plante- og dyrepopulasjoner reagerer på miljøet gjennom endringer i dødelighet, reproduksjon, vandringsmønstre, såkalte demografiske prosesser. Den relative betydningen av disse prosessene avgjør om populasjonene vokser eller avtar og bestemmer dermed populasjonens dynamikk. Populasjonsdynamikken kan bestå i langvarige endringer i artenes utbredelsesområde på en stor geografisk skala eller mer kortvarige, lokale svingninger. Fordi artene er avhengig av hverandre i økosystemene, vil endringer hos én art få ringvirkninger for mange andre arter i artssamfunnet. Både på kort og lang tidskala er variasjoner i klimaet en viktig årsak til endringer i populasjonenes størrelse og sammensetningen av artssamfunnene i Arktis.

Særegenheter ved arktiske økosystemer

Generelt er økosystemene i Arktis unge, i hvert fall på en geologisk tids-

skala. De siste istider resulterte i store tap i det biologiske mangfoldet i Arktis, og rekolonisering av land og hav etter at isbreene trakk seg tilbake, har skjedd langsomt på grunn av det harde klimaet og den generelt lave produktiviteten. De arktiske havområdene har vært mer skjermet for effekten av istidene enn landområdene i Arktis, fordi temperaturer i vann varierer innen snevrere grenser, og fordi det er færre barrierer for spredning og dermed lettere rekolonisering av havområder enn landområder. Arktiske økosystemer er generelt enkle, og dette gjelder også marine økosystemer, selv om de er mer komplekse – de har blant annet lengre næringskjeder enn de terrestriske. Artsantallet er generelt lavt, og artene er ofte spesialiserte i den forstand at de har spesielle tilpasninger til det ekstrene miljøet. Disse egenskapene – spesialisering og lavt artsmangfold – gjør at de arktiske økosystemene er følsomme for forstyrrelser som høsting, invasjon av arter sørfra, forurensing og klimaendringer.

Krykkjer i koloni





”Climate plays an important part in determining the average number of all species, and periodical seasons of cold or drought; I believe it is the most efficient of all checks”

Det internasjonale klimapanelet (IPCC) og ”Arctic Climate Impact Assessment (ACIA)” har begge konkludert med at vi kan forvente dramatiske klimaendringer i Arktis i de neste ti-årene. Faktisk forventer vi at klimaendringene i Arktis vil skje hurtigere enn i andre regioner på kloden. Det vil både skje endringer i temperaturen (økning) og i mengde nedbør (avhengig av lokalitet).

Populasjonsdynamikk, klima og andre økologiske forhold

Biologer har lenge vært klar over at såkalte abiotiske miljøforhold representert ved klimavariabel som temperatur, nedbør og vind samt lys og UV-stråling, er viktige for hva slags populasjonsdynamikk artene har, og om artene finnes på en lokalitet eller ikke. Grunnleggeren av den moderne biolo-

gien, Charles Darwin, skrev i 1859 at ”Climate plays an important part in determining the average number of all species, and periodical seasons of cold or drought; I believe it is the most efficient of all checks”. I Arktis, hvor klimaet regjeres av ekstremt variable og tidvis meget lave temperaturer, kan man forvente at populasjonsdynamikken til mange arter vil være dominert av klimavariasjonenes innflytelse. I tillegg til klimaet er det en rekke andre forhold som bidrar til å kontrollere populasjonenes størrelse. Slike andre populasjonsregulerende faktorer er mengde næringsressurser og konkurransen om disse både innen og mellom artene. Dessuten kan virkningen av naturlige fiender som rovdyr og parasitter (inkludert sykdomsorganismer) være viktige. Ofte er det samvirkninger mellom klimaet og slike andre økologiske forhold som bestemmer popu-

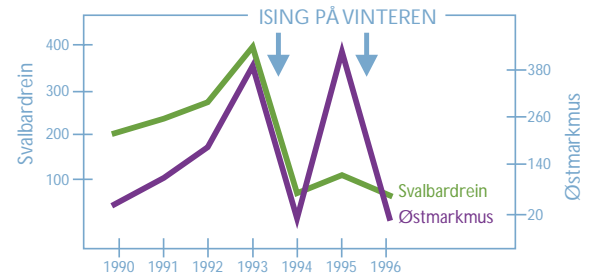


lasjonsdynamikken. I ALV-prosjektene ble det gjort studier av en rekke dyre- og plantepopulasjoner med tanke på å påvise hvordan klimaet i samvirkning med andre faktorer bestemmer populasjonsdynamikken.

Svalbardreien

For å påvise hvilke effekter klimaet har på artenes populasjonsdynamikk kreves langvarige undersøkelser. Ikke minst er langvarige studier viktig for å kunne inkludere den store variasjonen mellom ulike år i Arktis. En av de få artene det foreligger lange dataserier på i vår del av Arktis, er svalbardreinen. I et prosjekt (Sæther, NTNU) ble data på svingningene i to reinpopulasjoner (henholdsvis på Brøggerhalvøya og Reindalen) over en periode på mer enn 20 år analysert for å finne ut i hvor stor grad populasjonsdynamikken var bestemt av klimavariasjoner. I disse analysene ble meteorologiske målinger fra stasjonene i Ny-Ålesund, Longyearbyen og Svea blant annet tes-

set sammen med storskalaklimaindeksen Arctic Oscillation (AO). Spesiell interesse var knyttet til vinterklimaet fordi man lenge har visst at vinterføleligheten kan være stor hos rein. Det viste seg at mengde nedbør over vinteren var den mest utslagsgivende klimaparameteren. Jo mer nedbør, desto større nedgang i populasjonen. Mengde nedbør var også relatert til AO, som også var korrelert med endringen i reinpopulasjonene. Vinterbeitene blir generelt mindre tilgjengelig med mye snø, og spesielt vanskelig blir det hvis denne snøen er våt, eller at nedbøren kommer i form av regn som senere fryser til. Vinteren 1993–94 var særlig katastrofal på Brøggerhalvøya. Der kom det store mengder regn som senere frøs til et tykt isdekke som dekket tundraen. Slike episoder med frysende regn skjer fra tid til annen på Svalbard og har ikke konsekvenser bare for svalbardreinen, men for en rekke andre arter på tundraen, for eksempel spretthaler og smågnagere (figur under).



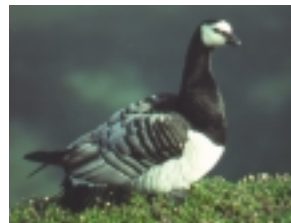
Polarblindurt



Det er også store geografiske variasjoner i klimaets påvirkning på svalbardreinen. Reinen på kysttundraen på Brøggerhalvøya var mer påvirket enn i Reindalen. Dette viser at en delpopulasjon av én art sjelden er representativ for påvirkningen på hele populasjonen. Dårlige vinterforhold virker ikke bare på dødeligheten. Detaljerte studier av dyrenes kondisjon og reproduksjon (Langvatn, UNIS) viste at hos simlene som overlevde, fikk bare 10 % levedyktige kalver, sammenlignet med 90 % etter en gunstig vinter. I dette prosjektet kunne man også påvise at rein som var sterkt parasitert av innvollsorm, ble mest påvirket av en dårlig vinter. Dette er altså et godt eksempel på hvordan klima kan påvirke interaksjonen mellom arter (i dette tilfellet mellom parasitt-vertedyr). For svalbardreinen spilte også sommerklimaet en viss rolle fordi veksten til reinens næringsplanter er bedre i varme somrer. Reinpopulasjonens størrelse påvirker på sin side også næringsgrunnlaget, og en høy populasjonstetthet ett år får negative konsekvenser på veksten i populasjonen året etter. Det er sannsynlig at denne forsinkede effekten av populasjonstettheten kan samvirke med klimaet slik at tetthetsavhengigheten (og effekten av konkurranse om beite) forsterkes i milde/nedbørrike vintre. Men det var ikke mulig å påvise denne typen samvirkningseffekter basert på 20 år med enkle tellinger av antall dyr i populasjonene.

Hvitkinngås

Et eksempel på at klima kan påvirke samspillet mellom rovdyr og byttedyr, ble påvist på Brøggerhalvøya i et prosjekt på hvitkinngås (Tombre, NINA). Her hekker store deler av populasjonen av hvitkinngås på holmer i Kongsfjorden. I år med sen isavgang i Kongsfjorden legger gjessene egg før isen har forsvunnet. Dette gjør at polarreven lett kan ta seg ut på holmene og plyndre de fleste reirene. I år med mye rev tar også reven unger fra gåsekull som kommer på land for å beite, og reven påvirker kondisjonen både på voksne og unger fordi de ikke kan få brukt beiteområdene på land effektivt. Gåseprosjektet i Kongsfjorden, som har pågått i en årrekke i samarbeid med nederlandske forskere, har opparbeidet en solid kunnskapsbase på demografien til denne gåsepopulasjonen. Ved hjelp av inngående kunnskap om livshistorieparametre som dødelighet, reproduksjon og variasjon i disse størrelsene, kunne man sette sammen en matematisk modell som viser at populasjonen er mest følsom for dødeligheten hos voksne gjess.



Gåseform, N Christensen

hvitkinngås



Observasjoner og eksperimenter i felt viste at de voksne gjessene har nok energireserver til å klare å gjennomføre en reproduksjonssesong under dårlige forhold uten at dette påvirker overlevelsen. Flere etterfølgende dårlige sommersesonger vil føre til at færre voksne gjess vender tilbake til hekkeplassene i Kongsfjorden.

Svalbardrøye

Hvitkinggjessene har altså livshistorie-tilpasninger som gjør at de i hvert fall til en viss grad kan bufre effekten av uforutsigbare klimaforhold i en enkelt sammensesong. Røya, som på Svalbard sannsynligvis er representert med de nordligste populasjonene av sjøvandrende (anadrome) i verden, opplever antakelig enda mer uforutsigbare forhold enn hvitkinggåsa. I det nordligste vassdraget med røye på Svalbard tillater klimaet bare utvandring til sjøen i enkelte år hvor utløpselva er åpen på sommeren. Svenning (NINA) brukte i sitt ALV-prosjekt (se også 2.1) den kjemiske sammensetningen i årringene på røyas ørestein til å bestemme (retrospektivt) når individer gjennom sitt livsløp hadde vandret ut i sjøen. Generelt er ernæringsforholdene bedre i sjøen enn innsjøen, og røyene som hadde vært i sjøen ett år, hadde stort sett vokst bedre enn de stasjonære røyene. Mens svalbardrøye i vassdrag som ofte har farbar vei til sjøen utvikler to atskilte livshistoriestrategier; en stor anadrom (sjøgående) form og en liten stasjonær form, fantes intet slikt klart skille i Arkvatnet på Nordaustlandet,

hvor det bare var mulig å vandre til sjøen i enkelte år. Her viste øresteinundersøkelsene at enkeltfisk kunne skifte strategi mellom å være stasjonær og anadrom. Hva som bestemmer strategien til hver enkelt fisk i et såpass ekstremt uforutsigbart miljø som Arkvatn, er ikke klarlagt. Fleksibilitet i forhold til de rådende miljøforhold kan imidlertid i seg selv være en god strategi i uforutsigbare miljøer med høy variabilitet.

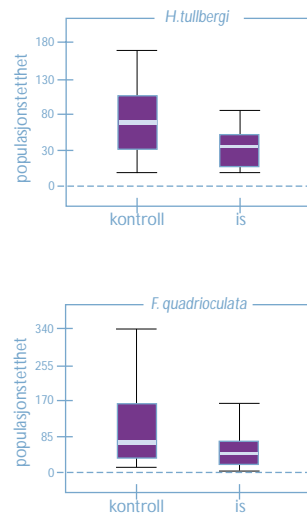


Røyetolitten som ferdskriver. De tre hovedtypene av røye i Arkvatnet på Svalbard, slik de kommer til uttrykk ved målinger av strontium/kalsium-forholdet. Fig: Svenning



Spretthaler

En av de mest artsrike dyregruppene i Arktis er spretthaler (Collemboler). Disse små jordbunnsdyrene (sjelden > 2 mm) finnes så langt nord som det finnes isfritt land i Arktis. Noen av artene, som for eksempel *Folsomia quadrioculata*, finnes tallrikt både i høyarktisk og i tempererte strøk i Europa. Dette vitner om en stor fleksibilitet innen arten. Likevel viste et ALV-prosjekt (Leinaas, UiO), som blant annet studerte denne arten, at populasjonsdynamikken var sterkt klimaavhengig. I gode år nådde populasjonen raskt et "tak" bestemt av tetthetsavhengige mekanismer innen bestanden, men den ble raskt slått i "gulvet", særlig av dårlige vintre med ising på tundraen. Et eksperiment hvor regnvann på vinteren ble simulert ved å helle vann på tundraen, viste at denne behandlingen gav en drastisk økning av dødeligheten. *F. quadrioculata* klarte seg dårligst i miljøer hvor leveområdene (dvs. vegetasjonen) var sterkt oppsplittet, noe som er vanlig i høyarktisk. Dette skyldtes at spredningsevnen hos denne arten er relativt dårlig. I det hele tatt er spredningsevne en viktig livshistorieparameter i arktiske miljøer, hvor forholdene kan skifte veldig mye i både rom og tid. Arter med god spredningsevne kan kolonisere gunstige miljøer. Overflateaktive arter med god spredningsevne (f. eks. *Hypogastrura viatica*, som også ble studert i ALV-prosjektet) er godt pigmenterte slik at de kan tåle store doser med UV-B stråling. Derimot er mindre mobile, jord-



Figur: Leinaas

levende arter (for eksempel *F. quadrioculata*) dårlig pigmentert og følsomme for UV-B stråling. Disse grunnleggende forskjellene mellom artene vil være med på å differensiere artens responser på klimavariasjonene og dermed hvordan artssamfunnet blir sammensatt.

Topografisk variasjon i artsmangfoldet i arktiske landskap

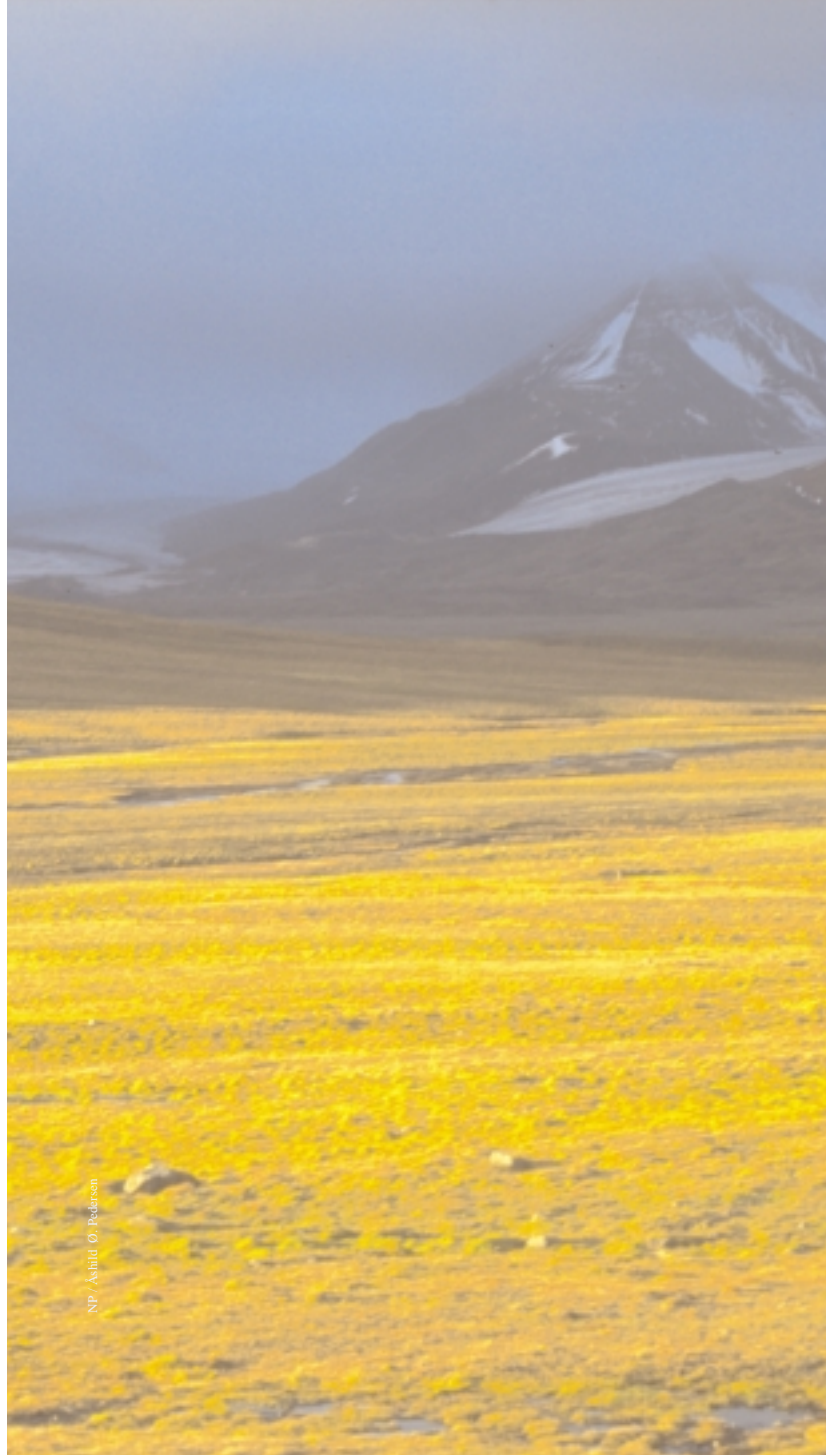
Innen fjellrike landskap bestemmes lokalklimaet, dvs. solinnstråling, lufttemperatur og fuktighetsforhold inkludert snødybde, av topografiske forhold som terrengets helningsgrad og vinkel. I et ALV-prosjekt (Ambruster, NTNU) ble det satt fokus på hvordan slike topografisk betingende lokale variasjo-



ner i klimaet påvirker arts mangfoldet hos karplanter og virvelløse dyr. Prosjektet utviklet et system med små temperaturloggere som gjorde det mulig å måle grad av innstråling, lufttemperatur og vindstyrke samtidig på over 100 punkter i terrenget. For å sammenlikne i et nord-sør perspektiv ble målingene gjort i tre studieområder: på Svalbard, ved polarsirkelen i Nordland og i Skottland. På Svalbard hadde solinnstrålingen større betydning for plantesamfunnets sammensetning enn jordfuktigheten og lufttemperaturen. Samfunnet av virvelløse dyr var på sin side mest avhengig av vegetasjonen, lokal vindhastighet og temperatur. Det er et velkjent fenomen at det generelle arts mangfoldet minker fra sør mot nord fordi mange arter møter sin toleransegrense for lave temperaturer og korte vekstsesonger i nordområdene. I ALV-prosjektet ble dette reflektert ved at det var en klarere sammenheng mellom topografisk betinget temperaturvariasjon og vegetasjonen på Svalbard enn lengre sør. Man forventet også at den topografisk betingede forskjellen i mengde solinnstråling var større nær polarsirkelen i Nordland enn lengre nord (Svalbard) og sør (Skottland). Dette ble bekreftet ved at den såkalte beta-diversiteten i vegetasjonen (dvs. forskjellen i artssammensetningen mellom ulike habitater) var størst i Nordland. Resultatene fra dette prosjektet er således nyttige i forhold til å forklare både lokale og regionale variasjoner i artsammensetningen av vekselvarme dyr og planter.

Marine økosystemer og klimaendringer

Omtrent to tredjedeler av Arktis utgjøres av havområder, og derfor er det ikke overraskende at mye av det arktiske plante- og dyrelivet er direkte eller indirekte avhengig av produksjonen i havet. Akkurat som på landjorda og i ferskvann er primærproduksjonen i de marine økosystemene avhengig av næringsstoffer og lys som omsettes til organisk materiale gjennom fotosyntese. I havet skjer dette vesentlig i kiselalger (diatomer). Denne energien passerer videre opp gjennom næringskjedene/nettet til konsumenter på varierende trofiske nivåer, slik som i alle andre økosystemer. Imidlertid er det en rekke fysiske faktorer som gjør de arktiske marine systemene forskjellige fra andre marine systemer. Disse faktorene inkluderer en stor andel kontinentalsokler og grunne farvann, sterk innflytelse av ferskvann fra elver og is, sterk sesongmessighet, generelt lite lys og ikke minst tilstedeværelsen av et stort permanent eller sesongmessig dekke av havis. De økosystemene som er avhengig av is, vil være utsatt fordi havisens utbredelse vil bli dramatisk redusert som følge av en klimaendring. De marinbiologiske prosjektene i ALV fokuserte på områder som kan være særlig sensitive for klimaendringer, for eksempel den marginale issonen og fjordområdene. Videre ble det fokusert på funksjonelt viktige arter eller arter som kan være særlig følsomme for endringer i de fysiske





miljøet, for eksempel isbjørn og en bestand med høyarktisk steinkobbe.

Primærproduksjonen i den marginale issonen

I et av prosjektene (Johannessen, NERSC) undersøkte man de fysiske prosessene som styrer våroppblomstringen av alger i den marginale issonen i det nordlige Barentshavet og i farvannene rundt Svalbard. Målinger i felt, kombinert med en simuleringmodell, viste at områder med stor omrøring av vannmassene (turbulens) er de som får først og størst produksjon av alger om våren. Produksjonen hadde sitt opphav i sporer som ble brakt opp ved turbulensen fra dypere vannlag. Sporetillførselen har altså ikke sitt utspring fra alger knyttet til isen slik man tidligere har antatt. De forholdene som stimulerte høy primærproduksjon, oppstår som følge av en kombinasjon av atmosfærisk lavtrykk som gir oppstrømming av vann fra dypet og vind fra spesielle retninger som bringer sporene inn i soner med mye lys.

Artsmangfoldet på bunnen av Kongsfjorden

Kongsfjorden på Svalbard er en typisk arktisk fjord med sterk påvirkning av avrenning fra isbreer. Denne avrenning skaper en gradient i temperatur, sedimentasjon, saltholdighet og lys fra innerst til ytterst i fjorden. Hvordan denne miljøgradienten påvirker dyre- og plantesamfunnene på fjordbunnen

(såkalte bentiske samfunn), ble studert i et av ALV-prosjektene (Hop, NP). Innerst i fjorden der påvirkningen fra isbreene var størst, og dermed forholdene vanskeligst for marine organismer (på grunn av mye ferskvann, lite lys og mye sedimentasjon), var det som man kunne forvente færrest arter. I tillegg til gradienten som skyldes brepåvirkningen, har Kongsfjorden en blandingszone for arktiske og atlantiske vannmasser. Floraen og faunaen i fjorden reflekterer begge typer vannmasser, og sammensetningen av arktiske og atlantiske arter kan derfor tjene som en indikator på klimaendringer.

Økologien til en høyarktisk populasjon av steinkobbe

En liten koloni av steinkobbe på Svalbard representerer den nordligste forekomsten av denne "tempererte" arten. Svært lite var kjent om denne populasjonen fra tidligere, og dette var utgangspunktet for et prosjekt (Lydersen, NP) som studerte økologien til denne populasjonen. Et hovedpoeng var å finne ut hvordan de hadde tilpasset seg en tilværelse i høyarktis. Steinkobbene på Svalbard har en mangfoldig diett, som er dominert av atlantisk torsk og polartorsk. Ungene har ved fødselen en størrelse som er normal for arten, men disse vokser noe raskere enn hos bestander på lavere breddegrader. De voksne individene har god kondisjon (dvs. mye fett), men allikevel ser steinkobbene på Svalbard ikke ut til å bli så gamle som i mer

sørlige steinkobbepopulasjoner. De aller fleste dør før de blir 20 år gamle. Det er uvisst om dette skyldes forurensning eller kostnadene ved å leve under arktiske klimatiske forhold. Dette er nå gjenstand for analyser. Ellers er det intet spesielt med aktivitetsmønsteret til steinkobbene på Svalbard med hensyn til liggeperioder på land. Gruppene på land hadde en skjev kjønnsfordeling, og antall individer varierte på en forutsigbar måte i forhold til vær, tidevann og sesong.

steinkobbe



NP/ Kri & Christian

Isbjørnens vandringer

ALV finansierte også et prosjekt vedrørende den marine topp-predatoren i Arktis, nemlig isbjørnen (Derocher, NP). I dette prosjektet studerte man, ved hjelp av radiosendere som var montert på et større antall binner, hvordan isbjørnens vandringer var avhengig av havisens struktur og drift. Isbjørnen er avhengig av å bevege seg på isen fordi den finner sine byttedyr

der. Havisen er imidlertid svært dynamisk og endrer seg kontinuerlig med vind og temperatur, og isbjørnen må forholde seg til denne dynamikken både for å finne sel og for å unngå å drive ut på åpent hav. Derfor er det ikke overraskende at man fant at bjørnen ikke vandret tilfeldig rundt i isen. Bjørnene fulgte det samme vandringsmønsteret år etter år. Størrelsen på det området binnene benyttet, var avhengig av omstendighetene til den enkelte binne. Binner som var drektige eller hadde små unger, tilbrakte 3 måneder i hiet, og vandret derfor kortere enn binner uten unger. I tillegg fant man et klart geografisk mønster i vandringsområdenes størrelse. Bjørner nær Svalbard hadde typisk små hjemmeområder og kom på land om sommeren. De bjørnene som var mer knyttet til havisen ute i Barentshavet, hadde mye større vandringsområder. Ute i isen vandret bjørnene ofte mot isdriften, og denne "tredemølleeffekten" resulterer i at bjørnene i realiteten går mye lengre enn de geografisk forflytter seg. Denne atferden skyldes at bjørnene alltid er på vei mot et bestemt mål (områder av isen hvor det er sel), og at de må unngå å drive ut på åpent hav. Fordi havisen er selve livsplattformen for isbjørnen, og fordi den som topp-predator er avhengig av mange ledd i det marine økosystemet, er isbjørnen en av de artene som er mest utsatt for klimaendringer i Arktis.



Kongen av Arktis

NP / Hirsch, Bläsemann



2.3 Framtidige utfordringer

Noen av de største utfordringene innen arktisk økologi er å forutsi effektene av de globale klimaendringene som vi forventer vil bli spesielt store i Arktis. Disse forutsigelsene må gjøres på bakgrunn av relevante eksperimenter, observasjonsserier og modeller. ALV har gitt vesentlige bidrag til vår forståelse av hvordan arktiske dyre- og plantepopulasjoner reagerer på et varierende klima. Men vesentlige hull i det empiriske grunnlaget for denne kunnskapen er også identifisert. Spesielt mangler lange observasjonsserier. Et unntak er svalbardreinen. For denne underarten foreligger nå data for 20 år fra tre populasjoner. Sammen med detaljerte studier av viktige mekanismer i populasjonen (for eksempel hva som forårsaker dødelighet og repro-

duksjonssvikt hos enkeltindividene), gir disse observasjonsseriene nå innsikt i hvor stor grad klimaet er årsak til variasjoner i populasjonstørrelsen. Vi trenger slike observasjonsserier og detaljstudier for flere arter. For hver art kreves det data fra flere områder i Arktis fordi klimaendringene vil variere geografisk. Dessuten skjer klimaendringene mot en bakgrunn av en rekke viktige økologiske faktorer som må komme inn i bildet hvis vi skal gi gode forutsigelser. Spesielt er det viktig å se de ulike artenes responser i sammenheng, fordi artene er gjensidig avhengig av hverandre. Derfor er det viktig at framtidige studier ser artene og deres funksjoner i relasjon til de artssamfunn og økosystem de befinner seg i.

3

Arktiske biologiske prosesser med potensielle klimaeffekter

Så langt i denne framstillingen av de faglige resultatene i ALV har vi dels fokusert på hvordan de fysiske prosessene på hav, land og atmosfære reflekterer og påvirker klimaet, og dels på hvilke effekter klimaet har på organismene og økologiske sammenhenger i Arktis. Ut fra dette kan man kanskje få inntrykket at klimaet påvirker økosystemene og ikke omvendt. Dette er imidlertid ikke tilfelle. De biologiske prosessene i økosystemene påvirker nemlig også klimaet.



Økosystemene og klimagasser

Økosystemene spiller en helt sentral rolle i de geokjemiske prosessene som bidrar til å styre klimautviklingen. Særlig viktig er prosessene som sirkulerer de karbonbærende gassene karbondioksid (CO_2) og metan (CH_4) mellom atmosfære, hav og land. Disse gassene er som kjent de viktigste klimagassene som kan forårsake drivhuseffekten. Fordi karbon er den viktigste byggesteinen i alt organisk materiale, er karbonets krets løp i stor grad styrt av biologiske prosesser.

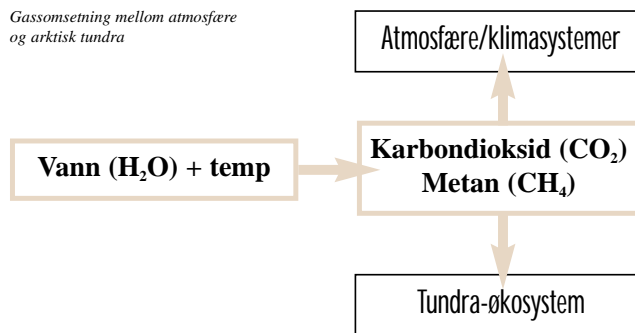
Klimautviklingen gjennom endringer i nedbør, temperatur, hav og stråling påvirker på sin side i hvor stor grad organismene avgir og tar opp gassbundet karbon. Økosystemene vil akkumulere karbon under visse forhold (og dermed redusere mengden av klimagasser i atmosfæren). Under andre klimaforhold kan karbonbudsjettet få et annet fortegn (mer karbondioksid kan bli frigitt til atmosfæren). Biologiske prosesser kan altså både bidra til å dempe eller forsterke endringer i klimaet. Andre økologiske tilbakemeldingsmekanismer (som ikke representerer geokjemiske kretsløp) kan skje ved at forholdet mellom innstrålt og utstrålt varme fra jorda endres. For eksempel kan et mer sammenhengende vegetasjonsdekke som en følge av en stadig varmere, fuktigere og mer CO_2 -holdig atmosfære, føre til at innstrålt varme i økende grad absorberes, noe som kan bidra til ytterligere oppvarming. I det hele tatt er det mange mulige scenarier og krysskoplinger hvor økologiske

prosesser inngår som bidrar til at klimaforskningen blir et meget stort og komplekst felt. Erkjennelsen av at økologiske relasjoner inngår som en integrert del av klimasystemene, fordrer at forskning på langsiktige effekter av klimaendringer må skje gjennom et samarbeid mellom biologer og geofysikere. Dette var også grunnen til at ALV ønsket å initiere slike interdisiplinære prosjekter.

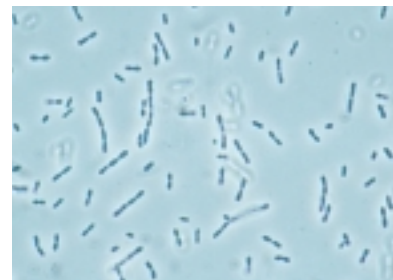
Mikrobiell metanomsetning på arktisk tundra

Arktisk tundra kan på mange måter ses på som et stort potensielt reservoar for klimagasser i og med at det produseres mer organisk materiale enn det som nedbrytes. Den lave nedbrytningshastigheten skyldes lave temperaturer og oksygenfattige forhold, selv i den delen av tundraen som er gjennomtrukket av vann og is. Jordbunnsorganismer er sentrale for nedbrytingen (mineraliseringen) av visse vegetasjon, torv og humus. Både klimadrivende gasser og planteneringsstoffer er viktige biprodukter i denne nedbrytingsprosessen. Metan er ca. 25 ganger mer effektiv som drivhusgass enn karbondioksid. Metanproduksjonen fra arktiske våtmarker utgjør ca. 60 % av den globale produksjonen av metan fra våtmarker. I denne sammenhengen knytter det seg spesielt interesse til mikroorganismer som frigjør metan (såkalte metanogene bakterier eller arker). Deres aktivitet må veies opp mot andre typer bakterier som tar opp metan fra atmosfæren (såkalte metanoksidierende eller meta-

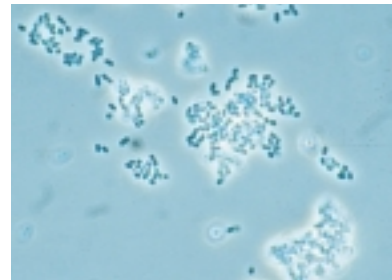
Gassomsetning mellom atmosfære og arktisk tundra



notrofe bakterier). Mens de metanproduserende organismene hovedsakelig opererer under oksygenfattige (anaerobe) forhold et stykke nede i jorda, så krever de bakteriene som bryter ned metan, oksygen. Disse metanoksidierende bakteriene finnes derfor mest nær overflaten. Et svært viktig spørsmål er om aktiviteten og sammensetningen av bakteriesamfunnet på arktisk tundra (spesielt andelen av metanoksidierende og metanproduserende bakterier) endres hvis klimaet (dvs. jordtemperatur og fuktighet) endres. Disse forholdene ble undersøkt både i laboratorieeksperimenter og i felt på Svalbard i et prosjekt i ALV (Torsvik, UiB). En av vanskelighetene forbundet med å studere disse mikroorganismene er at de er vanskelige å påvise og artsbestemme. Faktisk har de fleste av artene i jordbunnen aldri vært identifisert og beskrevet. I ALV-prosjektet brukte man blant annet molekylære teknikker for å påvise mikroorganismene av de to hovedtypene.



Metanoksidierende bakterier sett i lysmikroskop, forstørret 1000 x (foto: Ingvild Wartainen)



Naturens kunst

NP, Fot. & Christian



Klimaendringer og mikrobielle jordbunnsprosesser

Feltstudiene viste at de metanproduserende mikrobene var vanligst i vannmettet jord. Bakterier som bryter ned metan, utgjør bare en liten del av bakteriesamfunnet i våtmarksjord på Svalbard. Målinger viste at produksjon av metan fra tundraen ble dramatisk høyere med økende vanninnhold i jorda. Dette kan bety at klimaendringer som gir en mer "vannsyk" tundra (som kan bli en midlertidig virkning av at en stor del av permafrosten smelter), kan være med på å øke metanproduksjonen og dermed bidra til å øke drivhuseffekten. Laboratorieeksperimentene viste at temperaturen også hadde kraftige effekter på metanproduksjonen. Når temperaturen ble økt fra 1 °C til 10 °C, økte metanproduksjonen 100 ganger, mens en temperaturøkning fra 5 °C til 15 °C gav en 50 gangers økning. Dette viser at en temperaturøkning kan øke tilførselen av metan til atmosfæren. En usikkerhet er imidlertid heftet til aktiviteten og utbredelsen til de metanoksiderende bakteriene, som også synes å øke sin aktivitet med temperaturen. Mye forskning gjenstår for å klarlegge disse biologiske jordbunnsprosessenes rolle i den globale klimautviklingen.

Karbonomsetning i arktiske havområder

Havet inneholder 50 ganger mer karbon enn atmosfæren og representerer derfor i likhet med tundraen et stort reservoar for klimagasser, særlig CO₂.

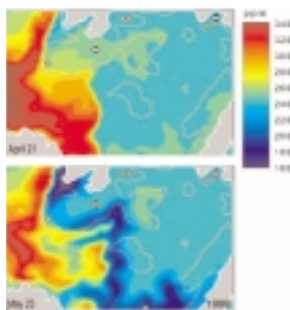
Kunnskap om hva som påvirker transporten av CO₂ mellom hav og atmosfære, blir derfor viktig for å forstå klimautviklingen. Sammen med fysiske prosesser knyttet til vanntemperatur, grad av omrøring av vannmassene og smelte- og fryseprosesser, er funksjonene innen de marine økosystemene avgjørende for havets evne til å ta opp CO₂ fra atmosfæren. Denne assimileringen av CO₂ skjer gjennom fotosyntese og produksjon av planteplankton – såkalt primærproduksjon. De arktiske havområdene er særlig produktive, og polhavet er viktig for klimautviklingen også av denne grunn. Klimaendringene kan påvirke primærproduksjonen gjennom forandringer i transporten av vannmasser både vertikalt og horisontalt. Den horisontale og vertikale dynamikken i vannmassene endrer vekstparametre for planteplankton som vanntemperatur, salt- og næringssaltinnhold. Videre vil reduksjoner i isdekket øke innstrømming av lys og dermed øke fotosyntesen og primærproduksjonen. Hvorvidt karbonet som blir assimilert fra atmosfæren beholdes i havet, avhenger av de øvrige prosessene i det marine økosystemet. Disse prosessene bestemmer blant annet hvor mye karbon som transporteres videre gjennom nivåene i næringskjeden og i den mikrobielle nedbrytingskjeden. Et særlig viktig aspekt for hvorvidt havet kan fungere som et karbonluk, er hvor mye karbon som vil langtidslagres på havbunnen ved at dødt organisk materiale eller nedbrutt (mineralisert) karbon sedimenteres.



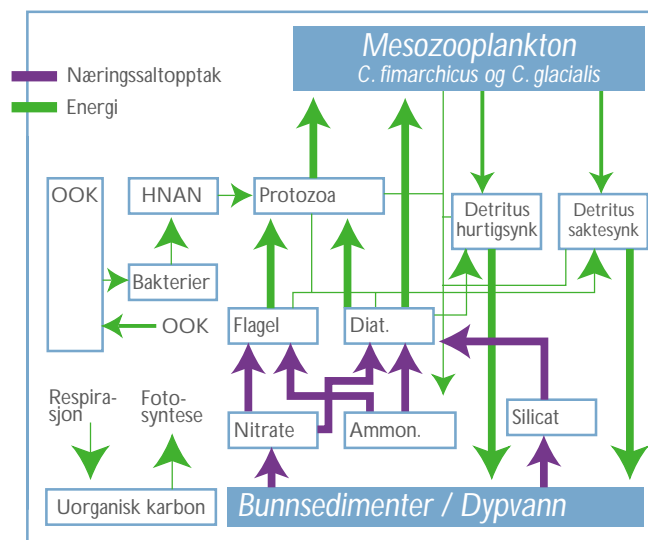
Oseanografiske målinger og modeller

De komplekse økologiske og hydrodynamiske prosessene som styrer karbonomsetningen i de arktiske havområdene, gjør at matematiske modeller blir viktige verktøy både for å forstå den kvantitative betydningen av enkeltfaktorer (f.eks. temperatur, næringssalter og lys) og synergiene mellom disse (f.eks. mellom lys og næringssalter). Slike modeller må bygge på en god systemforståelse innen både økologi og hydrodynamikk. Grunnleggende for en slik forståelse er empiriske målinger og studier i felt. Oseanografiske modeller trenger også input av data for at parametrene i modellene skal ha realistiske verdier. Data trengs også for å teste om modellen gir forutsigelser som samsvarer med virkeligheten. To ALV-prosjekter (Slagstad, SINTEF og Wassmann, UiT) utgjorde en spennende satsing på å integrere målinger og kunnskap om økologiske og hydrodynamiske prosesser ved hjelp av modeller (fig. neste side). I dette tilfellet brukte man modeller for å forutsi omsetningen av karbon innen eksisterende klimatiske/oseanografiske gradienter i Barentshavet (fig. til høyre). En modell som er god til å forutsi prosessene innen eksisterende gradienter vil sannsynligvis også være brukbar til å forutsi effekten av framtidige endringer. Målingene og modellforutsigelsene viste at det er store forskjeller i primærproduksjonen langs en nord-sør gradient i Barentshavet. Disse forskjellene var i stor grad diktert av hydrodynamiske forholdene. Lengst i nord

hvor det er mer eller mindre sammenhengene isedekke, er hydrodynamikken styrt av fryse- og smelteprosesser, mens i det sørlige Barentshav har innstrømming av atlantisk vann sørfra stor innflytelse. Generelt er primærproduksjonen størst i det atlantiske vannet, fordi vertikal blanding av vannmassene fører til at tilgangen av næringssalter blir større. Ved iskanten er oppblomstringen av planteplankton intens tidlig på året når isen begynner å smelte, men produksjoner blir kortvarig fordi næringssaltene brukes fort opp. Selv om det finnes slike generelle forskjeller mellom nordlige og sørlige farvann i Barentshavet, er det også stor lokal variasjon som blant annet skyldes lokal variasjon i den vertikale sjiktningen/blanding av vannmassene. Det er derfor viktig å bygge modeller med en god romlig oppløsning for å fange opp denne variasjonen.



Simulert partialtrykk (ppm) av CO₂ i havoverflaten i Barentshavet 21. april og 23. mai 1998 fra den regionale modellen til Dag Slagstad. Dybdekonturer for hhv. 200 m og 500 m er vist med rødt.



Økosystemmodellens struktur. Boksene representerer tilstander, mens pilene angir interaksjoner mellom tilstandene. OOK er Oppløst Organisk Karbon og HNAN er Heterotrofe NANoflagellater. Fig. Slagstad

Marine arktiske økosystemer og klimaendringer

Hva kan disse resultatene antyde om hva som blir effekten av klimaendringer og økt temperatur? Hvis utbredelsen av havis minker, noe vi allerede har sett tendenser til i polhavet, vil de atlantiske forhold som nå råder sør i Barentshavet med høy primærproduksjon få mer nordlig og større utbredelsesområde. Dermed vil den totale primærproduksjonen øke, og havområdene i Arktis kan således medvirke til et økt opptak av CO₂ fra atmosfæren. Dette vil også få konsekvenser i form av

kaskadeeffekter opp gjennom den marine næringskjeden med større populasjoner av dyreplankton og videre fisk som beiter på plankton. Det kan derfor se ut som om den høstbare produksjonen av fisk vil kunne øke ved en oppvarming av Arktis. Ny kunnskap må imidlertid utvikles for at vi kan være sikre på om dette vil skje. Blant annet er det viktig å finne ut om mineralisering/sedimentering av karbon på havbunnen øker eller minker. I ALV ble nye måleteknikker og matematiske modeller for å studere dette aspektet utviklet, noe som vil gi et svært godt grunnlag for videre studier.

Rødsildre



Framtidige utfordringer

For at vi skal kunne forutsi hvilken rolle økosystemene i Arktis vil spille i den framtidige klimautviklingen, trenger vi fagmiljøer som forsker på de funksjonene i økosystemene som er nært knyttet til balansen mellom klimagasser i atmosfæren og organisk materiale på land og i hav. Med enkelte hederlige unntak (blant annet representert ved de forskningsgruppene som deltok i ALV), er norsk kompetanse på dette området mangelfull. Derfor blir den største utfordringen når det gjelder slike problemstillinger, å styrke norske fagmiljøer innen økosystemforskning generelt og i et klimaperspektiv spesi-

elt. Økosystemforskning er et komplekst felt som takles best når større forskningsgrupper med kompetanse på ulike organismer og enkeltprosesser innen økosystemene går sammen om å løse felles problemstillinger. Dette krever langsiktig planlegging, samt kompetanse- og fagmiljøbygging over en lengre tid enn det varigheten av et enkelt forskningsprogram tillater. Først når det er etablert en velfungerende disiplin (dvs. økosystemforskning), kan vi forvente oss noen større gevinst av forsøk på interdisiplinær forskning (f.eks. over akse økologi – geofysikk).



Prosjektleder

Institusjon

Armbruster, W. Scott Professor	Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)
Bech, Claus Professor	Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)
Bilger, Wolfgang Professor	Norges landbruks høyskole (NLH)
Derocher, Andrew E. Forsker	Norsk Polarinstitutt (NP)
Førland, Eirik J. Forsker	Meteorologisk Institutt (DNMI)
Grønås, Sigbjørn Professor	Universitetet i Bergen (UiB)
Haugan, Peter Mosby Professor	Universitetet i Bergen (UiB)
Hessen, Dag O. Professor	Universitetet i Oslo (UiO)
Hop, Haakon Seniorforsker	Norsk Polarinstitutt (NP)
Johannessen, Ola M. Direktør	Nansen Senter for Miljø og Fjernmåling (NERSC)
Johannessen, Ola M. Direktør	Nansen Senter for Miljø og Fjernmåling (NERSC)
Langvatn, Rolf Professor	Norsk Institutt for Naturforskning (NINA)
Leinaas, Hans Petter Professor	Universitetet i Oslo (UiO)
Lydersen, Christian Forsker	Norsk Polarinstitutt (NP)
Mauritzen, Cecilie Forsker	Norsk Polarinstitutt (NP)
Nøst, Ole Anders Forsker	Norsk Polarinstitutt (NP)
Olsson, Kristina Forsker	Norges Fiskerihøgskole (NFH)
Røed, Lars Petter Professor	Meteorologisk Institutt (DNMI)
Sand, Knut	Universitetsstudiene på Svalbard (UNIS)
Sandvik, Anne Dagrøn	Universitetet i Bergen (UiB)
Slagstad, Dag Seniorforsker	SINTEF Bygg og miljø
Stamnes, Jakob J. Professor	Universitetet i Bergen (UiB)
Stokkan, Karl Arne Professor	Universitetet i Tromsø (UiTø)
Stokkan, Karl Arne Professor	Universitetet i Tromsø (UiTø)
Stokkan, Karl Arne Professor	Universitetet i Tromsø (UiTø)
Svenning, Martin A. Forsker	Norsk Institutt for Naturforskning - Tromsø (NINA)
Sæther, Bernt-Erik Professor	Norsk Polarinstitutt (NP)
Tombre, Ingunn Forsker	Norsk Institutt for Naturforskning - Tromsø (NINA)
Torsvik, Vigdis Lid Professor	Universitetet i Bergen (UiB)
Torsvik, Vigdis Lid Professor	Universitetet i Bergen (UiB)
Wassmann, Paul Forsker	Norges Fiskerihøgskole (NFH)
Winther, Jan-Gunnar Forsker	Norsk Polarinstitutt (NP)



Prosjekttittel

Species Turnover (Beta-Diversity) in Response to Variation in Radiation Budgets: Are there latitudinal
Energy-allocation in an Arctic Seabird: Effect of intraspecific metabolic variability in a variable environment
Adaptation and acclimation to UV-B radiation in arctic and alpine vascular plants, bryophytes and lichens
Polar bears in the Barents Sea: predator-prey relationships, habitat use, and reproduction
Long term variations in atmospheric circulation and climate in Norwegian Arctic
Atmospheric forcing of ocean circulations in the Nordic Seas and the Arctic Ocean
Air-ice-sea interaction in the West Spitsbergen Current
UV-radiation and its impact on genetic diversity, population structure and food webs of Arctic freshwaters
How the biodiversity of benthic communities is structured in an arctic glacial fjord
Ecological studies in the marginal ice zone in response to physical processes and seasonal variability
Monitoring, evaluating and forecasting sea ice and climate changes in the Arctic (MonArc)
The role of plant-herbivore-parasite interactions in the regulation of Svalbard reindeer
The role of spatial and temporal env. variation in shaping diversity and dynamics in Collembola species assemblages
Population biology and ecology of high Arctic harbours seals (Phoca vitulina) on Svalbard
Analysis and synthesis of coordinated changes in the arctic ocean-ice-atmosphere system
Brines' Estimation By Satellite Data (SAR and AVHRR) in Storfjorden, Svalbard (BEBSS)
The role of the Marginal Ice Zone of the Barents Sea in net uptake and sequestering of CO ₂
Mesoscale air-sea-ice interaction in the marginal ice zone
Dynamics of the seasonal snow cover in the Arctic
Numerical non-hydrostatic atmospheric model
Modelling vertical flux of carbon in the marginal ice zone of the Barents Sea
Light and Life in Icy Arctic Waters
Adaptations to Arctic light conditions: The function of the pineal gland in Svalbard ptarmigan
Environmental control of activity rhythms in Svalbard reindeer: Adaptation to continuous darkness
Physiological adaptation to continuous darkness and continuous light
Life history traits and physiological adaptations to stochastic environmental variations in Svalbard Arctic charr
Climatic variation and the dynamics of vegetation-reindeer interactions
Regulation of population size in stochastic environments; an experimental study of barnacle geese in Svalbard
Microbial production and consumption of greenhouse gases in tundra ecosystems
Microbial production and consumption of methane in tundra ecosystems
Climatic variability and vertical carbon flux in the marginal ice zone of the central Barents Sea
Spectral reflective characteristics of snow and sea ice

