

Harald Loeng, Geir Ottersen, Martin-A. Svenning, Audun Stien

Effekter på økosystemer og biologisk mangfold

Klimaendringer i norsk Arktis

NorACIA delutredning 3





Rapportserie nr. 133

Report series no. 133

Effekter på økosystemer og biologisk mangfold

Klimaendringer i norsk Arktis

– NorACIA delutredning 3

Harald Loeng, Geir Ottersen, Martin-A. Svenning, Audun Stien

Norsk Polarinstitutt er Norges sentralinstitusjon for kartlegging, miljøovervåking og forvaltningsrettet forskning i Arktis og Antarktis. Instituttet er faglig og strategisk rådgiver i miljøvernaker i disse områdene og har forvaltningsmyndighet i norsk del av Antarktis.

The Norwegian Polar Institute is Norway's main institution for research, monitoring and topographic mapping in Norwegian polar regions. The institute also advises Norwegian authorities on matters concerning polar environmental management.

Adresse/Address

NorACIA sekretariat
Norsk Polarinstitut
Polarmiljøseneteret
NO-9296 Tromsø
noracia@npolar.no
www.npolar.no
www.noracia.npolar.no

Harald Loeng, Havforskningsinstituttet
Geir Ottersen, Havforskningsinstituttet
Martin-A. Svenning, Norsk institutt for naturforskning (NINA)
Audun Stien, Norsk institutt for naturforskning (NINA)



Teknisk redaktør: Marte Lundberg, Norsk Polarinstitut
Design/lay out: Norsk Polarinstitut
Forsidefoto: Bjørn Frantzen, Norsk Polarinstitut
Trykkes: Februar 2010, Lundblad Media AS
ISBN: 978-82-7666-269-6
ISSN: 0803-0421

Forord

NorACIA; *Norwegian Arctic Climate Impact Assessment*, er et initiativ tatt av den norske regjering for å følge opp *Arctic Climate Impact Assessment* (ACIA), et prosjekt underlagt Arktisk råd. NorACIA søker å synliggjøre eksisterende kunnskaper og utvikle nye kunnskaper om klimaforhold i norsk Arktis og fokuserer på hvilke kunnskapshull som bør tettes.

NorACIA er organisert gjennom en styringsgruppe med representanter fra Miljøverndepartementet (styreleder), Direktoratet for naturforvaltning, Norsk Polarinstitutt og Statens forurensningstilsyn, og har et sekretariat koordinert av Norsk Polarinstitutt.

Innen rammen for NorACIA er fokus på formidling, forvaltningsrådgivning og sammenstilling av kunnskap om klimaendringer i norsk Arktis. Hovedsiktemålet for NorACIA er å samle kunnskap om klimaendringer i regionen, kunnskap som kan danne basis for videre vurderinger av tiltak forbundet med klimaendringer og konsekvenser av disse.

NorACIA er bygget opp av fem delutredninger, hvorav denne er den tredje i rekken. De andre delutredningene tar for seg følgende temaer:

Delutredning 1: Klimascenarier for norsk Arktis 1900–2100

Delutredning 2: Fysiske og biogeokjemiske prosesser

Delutredning 4: Effekter på folk og samfunn

Delutredning 5: Tilpasning og avbøtende tiltak

I tillegg skal det utarbeides en lettere tilgjengelig synteserapport. Alle delutredningene og synteserapporten skal ferdigstilles i løpet av første kvartal 2010.

Denne rapporten omhandler effekter på økosystemene i havet, på land og i ferskvann.

Rapporten er utarbeidet i nært samarbeid med temagruppe 3 som har hatt representanter fra Meteorologisk institutt, Direktoratet for naturforvaltning, Havforskningsinstituttet, Samisk høgskole, Norsk Polarinstitutt, Norsk institutt for naturforskning og Statens forurensningstilsyn.

Delutredningen har vært skrevet av et team av forskere fra Havforskningsinstituttet (HI) og Norsk institutt for naturforskning (NINA).

Tromsø, 27.1.2010

Birgit Njåstad
sekretariatet for NorACIA

Sammendrag

Det er forventet vesentlig større klimaendringer i Arktis enn andre steder på kloden, og til tross for en del usikkerheter, har klimaekspertene nå dannet seg et ganske bra bilde av kommende endringer i atmosfæren i arktiske områder, mens klimautviklingen i havet er mer uklar. Lufttemperaturen vil øke både sommer- og vinterstid, det vil også nedbøren, trolig mest i form av snø. Kunnskapen om effektene av klimaendringene på de ulike økologiske systemene i Arktis, er imidlertid svært mangelfull. I denne rapporten har vi beskrevet status i de marine, terrestriske og limniske økosystemene i Arktis, og deretter forsøkt å belyse de antatt viktigste økologiske effektene de fremtidige klimaendringene vil påføre disse økosystemene.

Innenfor det marine økosystemet vil man når det gjelder *primærproduksjon* og *planteplankton* de nærmeste tiårene ikke vente store biologiske endringer. Enkelte arter vil likevel kunne fremvise konkrete effekter av forsurening allerede i løpet av noen tiår. Lengre frem i tid kan det forventes konkrete forsureningseffekter art for art. Storskala endringer i primærproduksjon og for dyreplankton vil endre fødetilgangen til andre arter, inkludert fisk. Denne utviklingen er i praksis umulig å reversere med inngrep på kort sikt. Ved et varmere klima kan biomassen av *dyreplankton* øke. Flere arter av dyreplankton kan få utvidet sitt leveområde, og den totale produksjonen av dyreplanktonbiomasse vil også kunne endres.

Når det gjelder *bunndyr* og *makroalger* er en viktig forutsetning for å kunne påvise endringer i løpet av en valgt tidsperiode at man kjen-

ner artenes utbredelse ved periodens start. Slik kunnskap har vi generelt ikke for bunnelvende organismer i norske havområder. Vi kan likevel antyde noen konsekvenser av en temperaturøkning, for eksempel at nye arter fra sør kommer nordover. Generelt vil arter forflytte seg nordover og østover. Det relative mengdeforholdet mellom arter i et område kan også endres.

For *fisk* har høyere sjøtemperatur historisk sett vært positivt for rekruttering av torsk, sild og hyse i nordområdene. På den annen side vil et varmere hav også medføre en utvidelse av fiskefordelingen inn i områder nordvest i Norskehavet og nordøst i Barentshavet, som i dag har lavere temperatur og en annen/snevriere byttedyrfordeling. Enkelte arter *sjøpattedyr* er sterkt knyttet til ishabitat for forplantning eller næringssøk, mens andre arter er knyttet til fronsjoner for næringssøk. Hos begge disse gruppene vil endring i isareal eller plassering av fronter med høy produksjon kunne få vesentlig effekt på populasjonsnivå. Det er forventet en nordlig forskyvning av utbredelsen til arter som beiter i Norskehavet slik at noen høyarktiske arter vil fortrennes nordover og nye, mer varmekjære arter trenger inn fra sør. Det er liten tvil om at en omfattende endring i klima vil ha vidtrekkende konsekvenser for artssammensetningen hos *sjøfugl*. Konsekvensene behøver ikke å være negative. Det er vurdert at endringen i klima frem til 2080 vil ha en positiv effekt på flere arter, men det understrekes at usikkerheten er stor.

Høyere havtemperatur kan gjøre det enklere for *nye arter* som kommer sørfra med den norske

kyststrømmen eller Atlanterhavsstrømmen å etablere seg i Norskehavet og Barentshavet. Dette gjelder både arter som har hatt for eksempel Nordsjøen som leveområde i lang tid og arter som mer nylig har blitt introdusert der ved menneskelig aktivitet. Videre må effekter av klimaendringer sees på tvers av organismegrupper og biologiske systemer. Kunnskap om biodiversitet, nøkkelarter, utbredelse i tid og rom, produksjonspotensiale, økosysteminteraksjoner og sårbarhet er nødvendig for å kunne si noe om integrerte effekter i økosystemet.

I det terrestriske økosystemet vil økt temperatur føre til at mange arter kommer til å forskyve sin utbredelse mot nord. Arter som i dag utelukkende finnes lengre sør vil etablere seg i Nord-Norge, på Svalbard og Jan Mayen. Dette vil gi økt artsmangfold, men også en fare for at enkelte av dagens nøkkelarter forsvinner. Arter som i dag eksisterer i nordområdene vil øke sin utbredelse opp i høyden og inn i kaldere innlandsområder. I Nord-Norge vil særlig en økning av barskogens utbredelse ha betydelige effekter på økosystemene.

For *plantelandskapet* vil økt temperatur gi tidligere start på vekstsesongen, lengre vekstsesong og økt primærproduksjon. Mosedekket vil reduseres og særlig gress og urter øke sin utbredelse og tetthet i Arktis og i høyfjellet. Både barskogen og bjørkeskogen vil øke sin utbredelse mot nord og opp i høyden. Enkelte arter som blåbær vil kunne respondere negativt på hyppigere mildværsperioder om vinteren. For *planteetere* vil økt primærproduksjon og mildere vintre gi økte

bestander og utbredelse av mange planteetere. Særlig artsmangfoldet og bestandene av hjortedyr og insekter kan forventes å øke. Rein kan gå mer usikre tider i møte.

Effekter på *rovdyr*bestandene vil sannsynligvis først og fremst komme gjennom klimaeffekter på byttedyrbestandenes størrelse. I tillegg vil arter knyttet til skog, for eksempel gaupe, kunne øke sin utbredelse og bestandsstørrelse. Det forventede bortfallet av lemenår vil ha stor betydning for fjelløkosystemet i Nord-Norge. Økt temperatur forventes å gi en tidligere våroppblomstring av mange insekterarter som er viktige for *fugl* i hekkeperioden. Det forventes at trekk- og hekkeperioden til mange fuglearter vil forskyves for å samsvare med våroppblomstringen av insekter. Økt temperatur og økt artsmangfold av verter vil gi større mangfold av *parasittarter*. Problemer med mygg, bitende fluer og flått vil kunne øke.

Effekter i økosystemperspektiv er vanskelig å forutsi. Det er fortsatt problematisk å bygge opp kvantitative modeller for effekten av klimaendringer på økosystemene fordi lite kvantitativ informasjon om styrken på klimaeffektene både på de enkelte arter og på økosysteminteraksjonene er tilgjengelig.

De ventede effektene på de limniske (ferskvann) økosystemene som følge av økt temperatur og nedbør er svært komplekse, med en rekke direkte og indirekte årsakssammenhenger. Økningen i temperatur og nedbør vil blant annet påvirke parametre som vanntemperatur, permafrost, istykkelse, iskvalitet, isperiode, avrenning, flompåvirkning, brepåvirkning og næringstilførsel. De antatt viktigste fysiske effektene på limniske økosystemer vil likevel være knyttet til varigheten av den isfrie perioden. Tining av permafrosten kan også føre til at de grunne ferskvannssystemene i arktiske områder (Svalbard) forsvinner. Klimaeffektene på *primærproduksjon*, *plankton* og *bunndyr* vil trolig virke forskjellig på ferskvannssystemene i Nord-Norge og på Svalbard. I Nord-Norge vil man trolig få høyere produksjon av alger og planteplankton, som igjen vil fremme produksjonen av *dyreplankton*. Studier på Svalbard, Øst-Grønland og høyfjellet på fastlandet tyder på at økt nedbør i form av snø kompenseres for økende lufttemperatur, og fører til kortere isfrie perioder og lavere produksjon i innsjøene.

Ved et varmere klima vil *dyreplankton*arter trolig øke antall generasjoner per år, og arter med flerårig livssyklus kan bli ettårige. Dette vil totalt øke vekstraten i populasjonene. I de mest ekstreme høyarktiske områdene, som for eksempel på Svalbard, kan økt nedbør om vinteren imidlertid reversere de tidligere nevnte antagelsene. Høyere vinter- og sommertemperaturer gir høyere tilvekst og produksjon i ferskvannsfasen hos arktiske *fiskebestander*, mens dette kan kompenseres kraftig ved økende nedbør i form av snø. Små endringer i lufttemperatur og nedbør har stor innvirkning på vannføringen i utløpselvene og dermed livshistorie og overlevelse hos

anadrom Svalbardrøye. Endret klima vil forandre konkurranseforholdet mellom arter. Bestandene av sjørøye har for eksempel avtatt kraftig i nordnorske vassdrag de siste 10 år, mens mengden av sjørret har økt. Høyere havtemperatur fører til at anadrome fiskearter beveger seg lengre nordover og dermed øker sansynligheten for at nye arter etablerer seg i innsjøer på Svalbard. Et eksempel er stingsild som nå er funnet i to vassdrag på Spitsbergen.

Klimaendringer vil som vi har sett kunne forandre både produksjonen og artssammensetningen i økosystemene. I tillegg til den langsiktige klimaendringen som kommer vil det være naturlige svingninger i økosystemet siden det påvirkes av årlige variasjoner i værforhold, og balansen mellom plante- og dyreliv. For å kunne skille mellom naturlige svingninger og klimaendringer, og medfølgende effekter på økosystemet, kreves et samarbeid innenfor fagområdene oseanografi, sjøis, meteorologi og biologi/økologi. For å oppnå en dypere forståelse for hvilke konsekvenser endringer i økosystemet kan få for samfunn og næringsutvikling kreves det i tillegg at også samfunnsvitenskapelige fagområder inkluderes.

Et sentralt spørsmål er om klimaendringer kan forårsake omfattende endringer i nordområdene. Med «omfattende endringer» menes her at strukturen i økosystemet forandres slik at andre grupper tar over som dominerende. Det er også behov for økt kunnskap om hvordan ulike typer menneskelig aktivitet (for eksempel utbygging av infrastruktur, jordbruk, skogbruk, fiskeri og petroleumsvirksomhet) kan endre økosystemets motstandskraft mot klimaendringer. Økosystemmodeller må utvides/omarbeides for å ta inn nye prosesser og komponenter etter hvert som det fremkommer ny kunnskap. De må inkludere synergetiske effekter av pH, pCO₂ og klima/temperatur. Det er stort behov for mer kvantitativ kunnskap om effekter av klimaendringers retning, styrke og variasjon på produksjon og trofiske interaksjoner i næringskjeden (interaksjoner mellom forskjellige nivåer i næringskjeden).

Klimaendringer vil kunne medføre endringer i tidspunktet for reproduksjon i ulike nivåer i næringskjeden. Det er uklart om den sesongmessige samvariasjonen som på utviklet seg mellom byttedyr/planter og predatorer/gressere fortsatt vil eksistere og gi økosystemer med tilsvarende funksjoner i fremtiden. Det er behov for økt kunnskap om dette for å forstå bedre hvordan økosystemet kan reagere på klimaendringer. Klimaendringer kan også føre til at nye infeksjonsorganismer (virus, bakterier, parasittiske dyr og planter) etablerer seg. Det er behov for kunnskap om hvilke arter av infeksjonsorganismer dette kan dreie seg om og hvilke effekter de kan ha på bestander, samt hvordan de påvirker interaksjoner mellom arter.

Arter kan påvirkes indirekte av klimaendringer ved at byttedyr de lever av eller arter de konkurrerer med påvirkes. Jo sterkere slike indirekte

effekter er, jo vanskeligere kan det være å forutsi totale effekter i systemet. For å kunne si noe om forutsigbarhet i økosystemene, er det derfor behov for kunnskap om betydningen av slike indirekte effekter av klima. Mange arktiske arter har relativt små habitater og spesifikke krav til omgivelser og mat, og det er uvisst hvordan disse organismene vil reagere på økt konkurranse fra mer opportunistiske, boreale arter.

Nesten all evaluering av effekten av UV-stråling på alger er basert på korttidsstudier. Langtidsstudier av bestråling både på individer og produksjon i det marine økosystemet mangler og det er derfor behov for økt kunnskapsinnsats på dette området. Det meste av data som finnes om biologiske effekter av forurening, har vært påvist ved store endringer i pH. De nærmeste 10–100 år ventes mer moderate endringer i pH i havet og ferskvann, og det er derfor behov for kunnskap om biologiske effekter av dette. Særlig viktig er det å fokusere på effekter av moderat forurening på artssammensetning og suksesjonsmønstre hos planteplankton, samt reproduksjonsprosesser og overlevelse av egg og yngel hos de store gruppene av dyr i næringskjeden.

Det er gjort lite forskning som kan bidra til å forutse hvordan miljøgiftbelastningen vil endre seg som følge av klimaendringer. Det er stort behov for å kartlegge hvordan endringer i luft- og havstrømmer vil påvirke tilførsel av forurensning og hvordan sammensetningen av miljøgifter som belaster arktiske økosystemer vil endre seg som følge av dette. Det er videre viktig å få kunnskap om hvordan endret forurensningsbelastning, temperaturrendringer og andre stressfaktorer samlet påvirker arter og økosystemer. Denne typen ny kunnskap er viktig for å kunne forutse effekten av endringene og eventuelt sette i verk tiltak for å motvirke de mest skadelige påvirkningene.

Økologisk forståelse og modellutvikling ligger langt etter klimamodellene med hensyn til detaljerte prediksjoner i tid og rom. Det kan synes som om kvaliteten på fremtidige prediksjoner for utviklingen i økosystemene i nordområdene i all hovedsak er begrenset av vår økologiske kunnskap og dermed evne til å bygge inn klimatiske forandringer i egnede økosystemmodeller. En bedret kunnskap om hvilke store forandringer som forventes i økosystemene som et resultat av klimaforandringer må derfor komme gjennom bedre forståelse av klimaets påvirkning på artene, artenes evne til å tilpasse seg eller kompensere for klimatiske forandringer, og interaksjonene mellom artene i økosystemene. Slike studier bør kombineres med overvåkning for å ha mulighet til tidlig å fange opp store uønskede forandringer og derigjennom gjøre det mulig å sette i gang mottiltak på et tidlig tidspunkt. Med tanke på slike mottiltak bør man også opparbeide bedre kunnskap om hvordan forskjellige naturforvaltningsstrategier påvirker økosystemet. Slik kunnskap vil gjøre det mulig å evaluere eventuelle mottiltak mot særdeles uheldige utviklingsforløp.

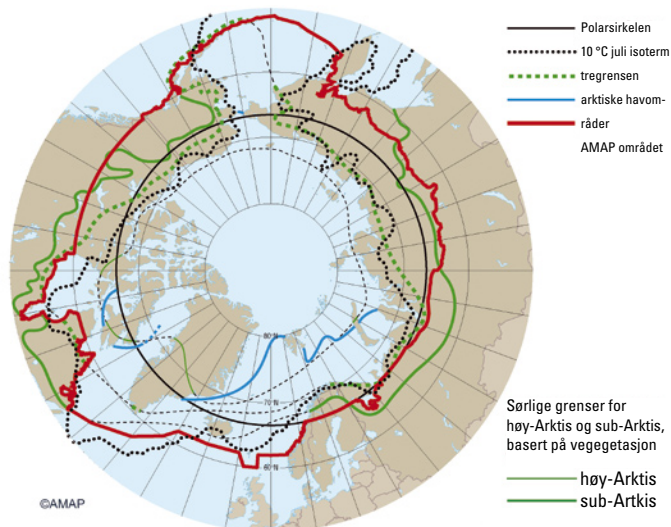
Innholdsfortegnelse

Forord	3
Sammendrag	3
1 Innledning	7
1.1 Geografisk avgrensning	7
1.2 Naturlige klimavariasjoner og menneskeskapt oppvarming	8
1.3 Andre forhold som påvirker økologiske prosesser	9
1.4 UV og forsuring	9
1.5 Kort om klimascenariene	10
1.6 Hvordan lese rapporten	11
2 Marine økosystemer	11
2.1 Introduksjon til økosystemene i Norskehavet og Barentshavet – dagens status	11
2.1.1 Norskehavet	11
2.1.2 Barentshavet	13
2.2 Kjente effekter av klimavariasjon på økosystemene i Norskehavet og Barentshavet	16
2.3 Forventede effekter av klimaendringer på marine økosystemer	17
2.3.1 Primærproduksjon og planteplankton	18
2.3.2 Dyreplankton	19
2.3.3 Makroalger og bunndyr	20
2.3.4 Fisk	21
2.3.5 Sjøpattedyr	22
2.3.6 Sjøfugl	23
2.3.7 Nye arter	23
2.3.8 Effekter i et økosystemperspektiv	24
2.3.9 Klimaeffekter på særlig verdifulle og sårbare områder	25
3 Terrestriske økosystemer	26
3.1 En introduksjon til økosystemene i Nord-Norge på Svalbard og Jan Mayen	26
3.1.1 Nord-Norge	26
3.1.2 Svalbard	26
3.1.3 Jan Mayen	27
3.2 Kjente effekter av klimavariasjon på økosystemene	27
3.3 Forventede effekter av klimaendringer på økosystemene	29
3.3.1 Generelle forventninger	29
3.3.2 Skogøkosystemene	29
3.3.3 Fjelløkosystemet	30
3.3.4 Svalbard og Jan Mayen	30
3.3.5 Nedbrytning	30
3.3.6 Parasitter	31
3.3.7 Klimaeffekter på særlig sårbare vegetasjonstyper	31
3.3.8 Nye arter	31
3.3.9 Effekter i et økosystemperspektiv	32
4 Limniske økosystemer nord for polarsirkelen – status	32
4.1 Forekomst av vann og vassdrag nord for polarsirkelen	32
4.2 Artssammensetning og biodiversitet	33
4.3 Klassifisering av innsjøsystemer og fysisk påvirkning	33
4.4 Forventede effekter av klimaendringer i limniske økosystemer	35
4.4.1 Generelle fysiske endringer	35
4.4.2 Forventede effekter på vekstsesong og produksjon i innsjøer	35
4.4.3 Forventede effekter i rennende vann	36
4.4.4 Forventede effekter på planteplankton, zooplankton, bunndyr og fisk	37
4.5 Oppsummering ferskvann	39
5 Hovedfunn	39
5.1 Marint	39
5.2 Terrestrisk	40
5.3 Limnisk	41
6 Kunnskapshull og forskningsbehov	42
6.1 Behov for ny kunnskap	42
6.2 Fysiske forhold	42
6.2.1 Marint	42
6.2.2 Terrestrisk	42
6.2.3 Limnisk	42
6.3 Biologiske effekter	42
6.3.1 Marint	43
6.3.2 Terrestrisk	43
6.3.3 Limnisk	44
7 Referanser	45

1 Innledning

Den store internasjonale rapporten om klimautviklingen i Arktis og effektene på økosystem og samfunn, Arctic Climate Impact Assessment, ble publisert i 2005 (ACIA 2005). Denne rapporten er en oppdatering av kunnskap som er ervervet om effektene av klimaendringer på marine, terrestriske og limniske økosystemer siden ACIA-rapporten ble skrevet. Rapporten gir en vurdering av kunnskapsstatus om dagens og fremtidens klimaforhold, samt om effekter variasjoner i klimaet har, og kan få, på de ulike økosystemene innenfor den norske delen av området som ble omfattet av ACIA (2005). Data om fremtidige klimaforhold bygger i alt vesentlig på rapporten fra Førland et al. (2009) – som er en del av NorACIA – og effekter av klimaendringer er knyttet til de ulike projeksjonene for utvikling av klimaet, som inkluderer menneskeskapte klimaendringer og naturlige svingninger.

Både ACIA (2005) og IPCC (2007) viser klart at den største fremtidige klimaendringen vil bli i Arktis, og at temperaturøkningen der vil være omtrent dobbelt så stor som den globale endringen. Til tross for stor usikkerhet, har man tidligere hatt et relativt godt bilde av de endringer som har vært forventet i atmosfæren, mens kunnskapene om det som skjer i havet har vært minimale. Furevik et al. (2002) lagde en prognose for utvikling av temperaturen i de Nordiske hav og i Barentshavet, men fokus var først og fremst på utviklingen i overflatelaget. Ellingsen et al. (2008) laget prognoser for Barentshavet ved å knytte en regional modell mot en av de globale klimamodellene som ble benyttet under ACIA, og koblet det mot utvikling av plante- og dyreplankton i Barentshavet. I denne rapporten bygger vi hovedsakelig på resultatene i Førland et al. (2009), mens man for det marine økosystemet i stor grad har vært avhengig av Furevik et al. (2002). For øvrig har man i denne rapporten tatt med de siste oppdateringer på hva som skjer i de ulike økosystemene.

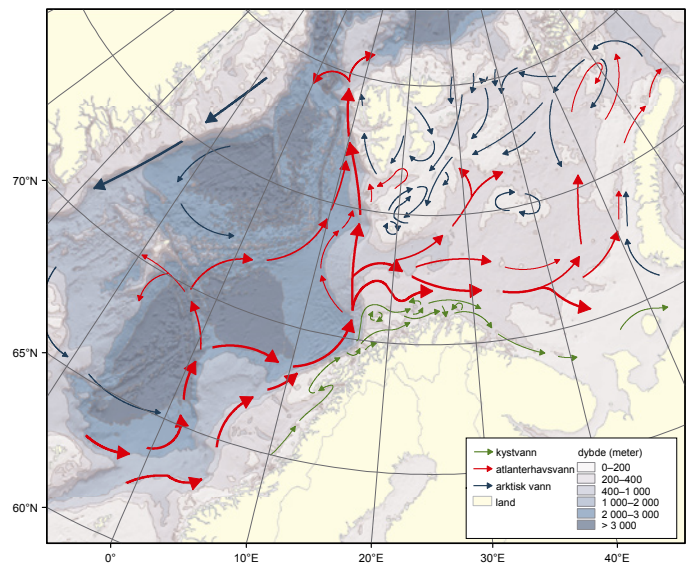


Figur 1. Ulike definisjoner av Arktis. I denne rapporten er AMAP-definisjonen benyttet, og NorACIA omhandler de norske områdene innenfor denne definisjonen (AMAP).

1.1 Geografisk avgrensning

Området som omfattes av rapporten er vist i figur 1 og inkluderer de norske land- og havområdene nord for polarsirkelen.

Havområdene innbefatter Barentshavet og de nordiske hav, som inkluderer Norskehavet og Grønlandshavet. Barentshavet er et av sokkelhavene som omgir Polhavet. Barentshavet er desidert det varmeste av randhavene, fordi det strømmer store mengder varmt og salt atlantehavsvann inn fra sørvest sammen med varmt og ferskere vann fra den norske kyststrømmen. De nordlige delene av Barentshavet består av kalde vannmasser som kommer fra Karahavet og Polhavet. Overgangen mellom de varme og kalde vannmassene utgjør polarfronten, der temperatur og saltinnhold endrer seg mye over korte avstander. Polarfronten er en barriere for organismer med preferanse for de respektive vannmassene. Hovedtrekkene i strømsystemene er vist i figur 2.



Figur 2. Forenklet bilde av havstrømmene i de norske havområdene. Det er på grunn av Atlanterhavsstrømmen at vi har så høye luft- og vanntemperaturer i Norge, tross den nordlige breddegraden (Loeng & Drinkwater 2007).

De nordiske hav utgjør den nordøstlige delen av Atlanterhavet. I vest følger grensen den undersjøiske ryggen mellom Skottland og Grønland. I Framstredet finner vi den eneste dype åpningen Polhavet har mot sine omkringliggende havområder. Det gjør de nordiske hav til det viktigste kommunikasjonsleddet mellom Polhavet og verdenshavene. De nordiske hav er derfor et kjerneområde for utveksling av globale klimasignaler til Arktis, og samtidig formidler det som skjer i Polhavet til verdenshavene. Varmt atlantehavsvann strømmer inn i de nordiske hav fra vest og strømmer deretter nordover til Barentshavet og gjennom Framstredet til Polhavet. Sørover langs østkysten av Grønland strømmer kaldt vann med Østgrønlandsstrømmen, som også frakter store mengder ferskvann i form av is, eller som vann med lav saltholdighet på grunn av ismelting.

Landområdene som er inkludert i rapporten er Svalbard (øygruppen Svalbard omfatter Spitsbergen, Nordaustlandet,

Edgeøya, Barentsøya, Kvitøya, Prins Karls Forland, Kong Karls Land, Hopen og Bjørnøya), Jan Mayen og fastlands-Norge nord for polarsirkelen. De inkluderte områdene av fastlands-Norge (66° 33' – 71° 10' N) kalles i denne rapporten for Nord-Norge. Nord-Norge dekker med denne definisjonen omtrent halve Nordland fylke i tillegg til Troms og Finnmark. Både Svalbard og Nord-Norge er spesielle i et globalt perspektiv, da Golfstrømmen gjør områdene varmere enn noe annet sted på kloden på tilsvarende breddegrader. For Nord-Norge gir Golfstrømmen relativt mildt og fuktig klima langs kysten, mens innlandet har et tørt og betydelig kaldere klima. Nord-Norge dekker 95 000 km², eller ca. 30 % av Norges areal (Statens Kartverk 2008) og er befolket med ca. 8 % av landets befolkning (Statistisk Sentralbyrå 2008). Landområdene på Svalbard dekker et areal som er nært to tredeler av Nord-Norges størrelse, men har bare ca. 2600 innbyggere (Sysselmannen på Svalbard 2008). Selv om en arm av Golfstrømmen strekker seg opp langs vestkysten av Spitsbergen og gir isfrie fjorder om sommeren, er Svalbard preget av arktisk klima og to tredeler av arealet er dekket av isbreer. Jan Mayen ligger isolert i havet mellom Island, Grønland, Svalbard og Norge. Til enhver tid er 15–20 personer er stasjonert på øya. Den nordlige tredelen av øya er dominert av vulkanen Beerenberg (2277 moh.) som er dekket av is, mens resten av øya er isfri om sommeren.

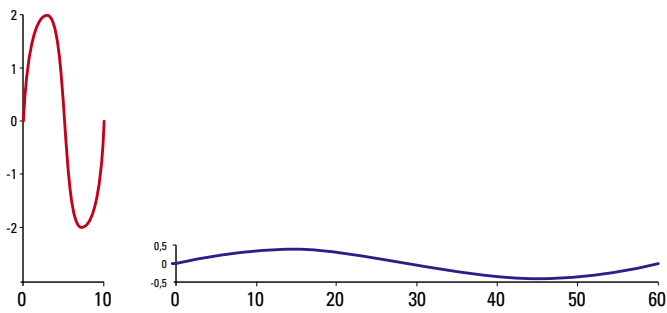
Nord-Norge har om lag en tredel av det samlede vannarealet av innsjøer og elver i Norge. Finnmark og Nordland er de to mest vannrike fylkene i landet. Området nord for polarsirkelen har flere enn 95 000 innsjøer og mer enn 75 000 km med elver. De to største innsjøene i dette området er Altevattn (80 km²) i Troms og Iešjávri (69 km²) i Finnmark. Disse er henholdsvis nummer 11 og 14 i rekken av de største innsjøene i Norge. De største vassdragene er Pasvikelva (360 km), Tana-Anárjohka (348 km på norsk side) og Altaelva (229 km). Samlet elvestrekning blir vesentlig større i disse vassdragene om alle sideelvene tas med. Bare en mindre del av Svalbard (uten Bjørnøya) er dekket av ferskvann. Det finnes anslagsvis et par hundre innsjøer i øyriket hvorav de to største innsjøene er Femmilssjøen og Linnévatnet (> 4 km²). Et par titalls ferskvannssystemer huser anadrom røye, der elvene de fleste år er åpne såpass lenge (1–2 måneder) at sjørøye kan vandre mellom hav og innsjøer sommerstid. Bjørnøya (74°N) er bare 178 km², men har hele 740 innsjøer som dekker 11 % av landarealet. Bortsett fra Ellasjøen som er 0,7 km² og 40 m dyp, er de fleste innsjøene små og svært grunne. På Jan Mayen er Nordlaguna (1,5 km² og 40 m dyp) eneste permanente innsjø. Det finnes noen få andre innsjøer/dammer, men de tørker ut sommerstid. Verken Bjørnøya eller Jan Mayen har vassdrag med anadrom fisk.

1.2 Naturlige klimavariasjoner og menneskeskapt oppvarming

Det er to hovedkomponenter i de endringene som observeres i klimaet. Det er de menneskeskapte endringene som skyldes økt utslipp av klimagasser til atmosfæren og de naturlige svingningene som alltid har vært der og vil være der.

Det menneskeskapte bidraget til temperaturøkningen er svært lite per år, men fordi det alltid gir oppvarming og aldri avkjøling, blir det stort over lang tid. På kort sikt er bidraget fra de naturlige svingningene mye større enn det menneskeskapte bidraget og kan kamuflere disse. De naturlige svingningene har ulik karakter, fra døgnvariasjoner via dekadiske og multidekadiske til minst 100 000 år istidssykluser. Tidsskalaen av interesse i denne rapporten er fra mellomårlege til multidekadiske endringer. Den naturlige variabiliteten er dessverre vanskeligere å forutsi, fordi vi ikke kjenner alle mekanismene som styrer den, selv om enkelte komponenter er kjente. Den best kjente naturlige svingningen er på 18,6 – som er knyttet til månens bane og dens harmoniske – med perioder rundt 55 og 74 år. Disse periodene finnes i en rekke tidsserier og er blant annet beskrevet hos Yndestad et al. (2008). En annen velkjent periode er solflekkperioden på 11 år, slik Bochkov (1976) påviste var tydelig i Barentshavet. Loeng et al. (1992) fant flere perioder av varighet mellom 2,6 og 17,5 år i sin analyse av tidsserier fra Barentshavet og Norskehavet, men kunne bare forklare årsaken til et mindretall av periodene. Nå kan imidlertid mange av de mellomårlege til dekadiske variasjonene knyttes til den nordatlantiske oscillasjonen (North Atlantic Oscillation, NAO). For eksempel vil en positiv NAO vanligvis føre til varmere forhold i Barentshavet (Ottersen & Stenseth 2001; Ingvaldsen 2005), men styrken på sammenhengen mellom temperaturforholdene i Barentshavet og NAO varierer med tiden. I Norskehavet fører en positiv NAO til en sterkere og mer landnær Atlanterhavsstrøm langs norskekysten (Blindheim et al. 2000; Skagseth et al. 2004).

Klimamodeller gir et mål på hvor stor oppvarming vi kan forvente å få under gitte utslippsscenarier av CO₂ til atmosfæren. En slik prognose viser ofte en jevn stigning i temperaturen med angitt usikkerhet. De naturlige variasjonene kommer i tillegg til disse trendene, og vil gi perioder hvor temperaturen vil være stabil eller gå ned også i dette århundret (Easterling & Wehner 2009). Nord-Atlanteren er en region med store multidekadiske svingninger (Kushnir 1994; Knight et al. 2005; Keenlyside et al. 2008), og observasjoner viser svinger på 70–80 år (Keenlyside et al. 2008), og paleodata støtter opp om den multidekadiske variasjonen i Atlanteren (Mann et al. 1998). Skagseth et al. (2008) viste at langtidsvariasjoner i Barentshavet på en bemerkelsesverdig måte fulgte indeksen for den atlantiske multidekadiske oscillasjonen (Atlantic Multidecadal Oscillation, AMO), som ble utviklet av Sutton & Hodson (2005). Selv om det er stor usikkerhet knyttet til mekanismene bak disse multidekadiske svingningene, er det akseptert at den meridionale (nord-sør) sirkulasjonen (MOC) er en viktig komponent (Keenlyside et al. 2008). Noen modeller viser en svekket MOC de neste dekadene med netto avkjøling i Nord-Atlanteren. En slik avkjøling vil midlertidig utsette den jevne temperaturstigningen som skyldes økt konsentrasjon av drivhusgasser i atmosfæren (Wood 2008; Kerr 2008). På en tidsskala på 10–20 år vil slike variasjoner kunne overskygge virkningen av drivhuseffekten (Kerr 2008).



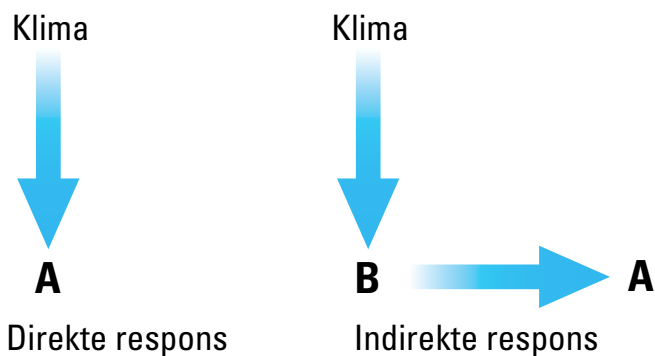
Figur 3. Illustrasjon av forholdet mellom årlige til dekadiske svingninger (til venstre) og multidekadiske svingninger (til høyre) (Svein Sundby, Havforskningsinstituttet).

De årlige og dekadiske svingningene har en vesentlig større variasjon enn de multidekadiske og dette er illustrert i figur 3. På grunn av varierende amplitude og varighet på disse svingningene vil de også ha forskjellig effekt på økosystemet. Årlige til dekadiske svingninger i temperaturen har effekt på den lokale produksjonen i de lavere trofiske nivåer i næringskjeden, og til dels sterke virkninger på bestandsnivå. I havet påvirkes for eksempel rekruttering av fisk og årsklassenes styrke. De mer kortperiodiske svingningene har en begrenset virkning på økosystemet som helhet. De multidekadiske svingningene og menneskeskapt endringene i klimaet vil føre til habitatendringer og endringer i produksjon på høyere trofiske nivåer og kan ha store virkninger på økosystemene, og dermed også påvirke for eksempel fiskeriene og landbruket.

1.3 Andre forhold som påvirker økologiske prosesser

For å generere fremtidige økosystemresponser på klimaendringer er det flere abiotiske faktorer som må tas i betraktning. I atmosfæren inkluderer dette lufttemperatur, nedbør, skydekke, lufttrykk og vind. De to første er viktige fordi de påvirker temperaturen også i ferskvann og i havet, vannføringen i elver og saltholdigheten i havet. Skydekke gir effekt på den direkte solstrålingen og dermed produksjon av organismer som produserer klorofyll. Den kan også influere beiteprosessen til dyr som er avhengige av å se byttet, som for eksempel fisk.

Variasjoner i klimaet påvirker dyr både direkte gjennom fysiologi – inklusiv metabolisme og reproduksjonsprosesser



Figur 4. Direkte og indirekte respons. A og B er biologiske enheter av interesse (Etter Ottersen et al. 2004).

– så vel som indirekte gjennom biologiske omgivelser (rovdyr/byttedyr-forhold og sykdommer). Det fysiske miljøet påvirker også fødeopptak og konkurranse mellom arter (Ottersen et al. 2004) (fig. 4). Et langt mer komplisert bilde av samspillet i økosystemene er gitt i figurene 11 og 14.

For å illustrere kompleksiteten i økosystemene kan det nevnes at økologiske effekter av NAO i følge Ottersen et al. (2001) kan deles i tre kategorier: direkte, indirekte og integrerte effekter. Vi skal ikke gå videre inn på dette her, men bare sterkt understreke at hele systemet er komplisert og at det i mange tilfeller er vanskelig å identifisere følgene av spesifikke klimaparametre.

1.4 UV og forsurening

Ozonlaget absorberer ultrafiolett (UV) stråling fra solen og beskytter derfor livet på jorda mot UV-stråling. Utslipp av klorfluorkarboner (KFK-gasser) og andre menneskeskapt kjemikalier de siste 60 årene, har ført til en kraftig uttynning av ozonlaget. Selv om det er knyttet stor usikkerhet til ozonutviklingen, vil de arktiske områdene være spesielt utsatt for UV-stråling i mange tiår fremover. Uttynningen av ozonlaget generelt er størst om våren (på grunn av stor solvinkel), det vil si på et tidspunkt da de fleste levende organismer er mest sårbare. Det viktigste er imidlertid at selv om det samlede årlige tapet av ozon over Arktis bare har vært 7 % de siste 30 årene, er det observert svært store variasjoner i ozonlaget. For eksempel er det i enkelte år (i mars 1996 og 1997) observert månedlige avvik på mer enn 35 %, mens daglige ozonverdier var nærmere 45 % under normalen i perioden mars–april 1997. Såkalte betydelige ozontap (> 25 %) over flere uker er blitt observert i sju av de ni siste vårperiodene i Arktis. Ozonuttynningen er også svært følsom for temperaturendringer og ozonnivåene i Arktis vil derfor påvirkes sterkt av endringene i klimaet. Den antatte reduksjonen i snø- og isdekket på overflaten av elver, innsjøer og havområder vil føre til at mange limniske og marine organismer blir mer utsatt for UV-stråling. I de marine økosystemene vil planteplankton påvirkes negativt og en antar at en sesongmessig reduksjon i ozonlaget vil redusere primærproduksjonen med nærmere 10 % (ACIA 2005). Pelagiske fiskeegg og -larver kan også bli sterkt negativt påvirket av UV-stråling. I de limniske systemene vil spesielt snø- og isdekket og mengden oppløst materiale i vannet fungere som naturlig «solskjerming» mot UV. I innsjøsystemer med lave nivåer av oppløst materiale, vil derfor mengden snø på vårparten være svært bestemmende for eventuelle skadeeffekter av UV-stråling. Ferskvannssystemer som mottar mer breslam, og sedimenter i forbindelse med permafrosttining, vil bli mindre utsatt. Likevel er en stor andel av arktiske ferskvannssystemer både grunne og klare, og derfor potensielt svært utsatte for negative effekter av UV-stråling. I de terrestriske systemene vil UV-strålingen påvirke mange plante- og dyrearter negativt, selv om noen arter også kan dra nytte av det. Noen arter er vist å kunne tilpasse seg økte UV-doser gjennom økt pigmentering. I enkelte tilfeller kan UV-stråling forsterke de negative effektene av klima-

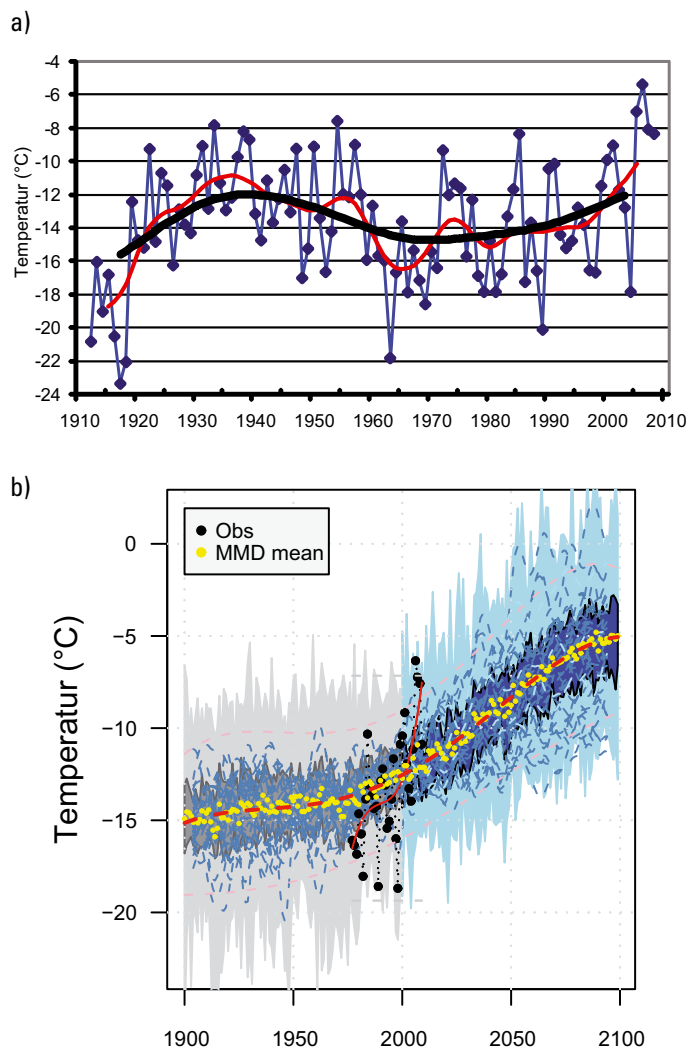
endringene. Et eksempel er hvordan UV-strålingen påvirker bjørkeskogen negativt, mens fjellbjørkemåleren (som spiser på bjørkeskogen) påvirkes positivt, samt at økende temperatur om vinteren øker overlevelsen hos larvene til måleren. Generelt sett er imidlertid kunnskapen om effektene av UV-stråling på de arktiske økosystemene svært mangelfull.

Havet har absorbert mer enn 25 % av den CO₂ som stammer fra menneskelig aktivitet siden starten av den industrielle revolusjon rundt 1750. Dette har ført til at havets pH har sunket med 0,1 enheter, noe som tilsvarer en økning av hydrogenioner i havet på hele 25 %. Det er gjort beregninger av utviklingen av havforsuring dersom utslippene av CO₂ fortsetter å øke slik de gjør i dag, og i de aktuelle havområdene forventes en nedgang på minst 0,5 pH-enheter de neste hundre år. I slutten av nåværende århundre vil mengden hydrogenioner i havet være tredoblet i forhold til for 150 år siden. Forsuringen forventes dessuten å bli større i kaldt vann (Arktis) enn i varmt vann (tropene). Hvordan akvatiske organismer vil reagere på forsuring er ikke enkelt å forutsi. Blant algene er det antatt at kalkflagellater, som er en viktig gruppe primærprodusenter i havet (og som binder mye CO₂), vil reduseres. Av dyr vil de store gruppene av kalsifiserende organismer få problemer med dannelsen av kalkskall, og problemene vil først vise seg på høye breddegrader. Et generelt trekk er at vi har lite kunnskap om effekter av forsuring i de områder der endringer i pH forventes de kommende 10–100 år (Børsheim 2008).

1.5 Kort om klimascenariene

Førland et al. (2009) konkluderer med at lufttemperaturen i Nord-Norge vil øke med 2,3–3,5 °C på årsbasis frem til perioden 2071–2100 sammenlignet med 1961–1990. Minst økning blir det langs vestkysten av Norge og størst på østkysten av Finnmark og i indre Finnmark. På Svalbard ventes en økning på ca. 3 °C i sørvest og opp til 8 °C i nordøst. Temperaturøkningen vil være større i vinterhalvåret enn om sommeren. I de siste 100 år har det vært store variasjoner i lufttemperatur ved Svalbard Lufthavn – Longyearbyen både fra år til år og på dekadescala (fig. 5a), men med en klar tendens til økende temperatur siden ca. 1970. Nedskalerte verdier fra globale klimamodeller (fig. 5b) indikerer temperaturøkning utover i det 21. århundre. Men det vil fortsatt være naturlige svingninger som kan føre til perioder med synkende temperatur.

Nedbøren vil på årsbasis øke med 10–30 % i Nord-Norge og 10–40 % på Svalbard. Den største økningen blir om vinteren. Det blir flere dager med mye nedbør (> 20 mm/dag). Som indikator på endring i nedbørintensitet benyttet Førland et al. (2009) 1-døgns nedbørverdi som overskrider i 5 % av tilfellene ("95 %-verdi"). Simuleringene indikerer at denne 95 %-verdien mot slutten av dette århundret over mesteparten av området vil bli overskredet 1–1,5 ganger hyppigere enn i dagens klima. Også for døgn med nedbør >20 mm projiseres det en økning for hele regionen. Det bør imidlertid presiseres at bortsett fra deler av Nordland, vil det over størstedelen av regionen fortsatt være forholdsvis



Figur 5. Midlere lufttemperatur vinterstid (desember, januar, februar) ved Svalbard Lufthavn. a) Sattensatt serie fra Svalbard Lufthavn – Longyearbyen 1911–2008. De utjevnete kurvene viser variasjoner på dekadescala (tynn, rød linje) og 30-års skala (tykk, svart linje). b) Observerte verdier (svarte prikker), og statistisk nedskalerte verdier for det 20. og 21. århundre. Figuren er basert på en rekke simuleringer. Gjennomsnittlig langtidsvikling er vist ved stiplet rød linje, men både observasjoner og de enkelte simuleringer viser store svingninger rundt denne langsiktige utjevnete langtidskurven (Førland et al. 2009).

få døgn med nedbør >20 mm. Snøsesongen vil bli kortere i Nord-Norge på grunn av økt temperatur, mens det er forventet mer snø i indre Finnmark, i fjellene og på Svalbard, siden den økte nedbøren om vinteren vil komme som snø. Når det gjelder vindforholdene er utsiktene svært usikre. Modellene antyder små endringer over Nord-Norge, men havområdene vil kunne få en økning i maksimum vindhastigheter på 10 % (Førland et al. 2009).

Dataene for havet er mer usikre. Furevik et al. (2002) antydte en økning på 1–2 °C i overflatelaget frem mot 2100 både i Barentshavet og de nordiske hav, men med liten økning frem mot 2020–2030. Resultatene fra nedskaleringene som er gjort i Førland et al. (2009) indikerer en økning på ca. 1 °C på 50 m dyp frem mot perioden 2051–2065. Unntaket er de helt østlige deler av Barentshavet der det antydtes en økning opp mot 2–3 °C. Økningen på ca. 1 °C samsvarer ganske godt med resultatene fra Ellingsen et al. (2008). I dypere lag vil økningen trolig bli litt mindre siden de dypere

Tabell 1. Sammendrag: Klimautvikling i Nord-Norge og Svalbardregionen i perioden 1900–2100. Prosjeksjoner for endringer i års- og årstidsverdier for temperatur og nedbør. Tallene indikerer intervall for geografiske gradienter, og gir ikke noe estimat av usikkerhet (Førland et al. 2009).

		Svalbard			Nord-Norge				
		A*	B*	ESD**	A*	B*	RegClim***	Komb****	ESD**
Temp (°C)	År	1,5–4	3–8	–	1–2	2,5–3,5	2,8	2–3	–
	Vår	1,5–4	2–6	6–7	1–1,5	2,5–3,5	2,9	2–3	4–7
	Sommer	1–1,5	2–4	2–3	1	1–2	2,4	1,5–2,5	3–4
	Høst	2–6	4–8	4–6	1–2	2,5–4	3,3	2,5–4	3–7
	Vinter	2,5–8	4–8	6–10	1–2,5	2,5–4,5	2,8	2,5–4	4–11
Nedbør (%)	År	10–20	10–40	–	0–10	20–30	13	10–20	–
	Vår	5–20	10–40	0–30	0–10	20–30	11	5–20	5–20
	Sommer	0	10–30	10–15	0	10	12	10–20	10–15
	Høst	10–20	10–40	5–20	0	10–20	23	10–20	5–20
	Vinter	10–40	0–40	20–50	10–20	20–40	7	10–20	10–30

* NorACIA-RCM: Endring (A) fra 1981–2010 til 2021–2050 og (B) fra 1961–1990 til 2071–2100

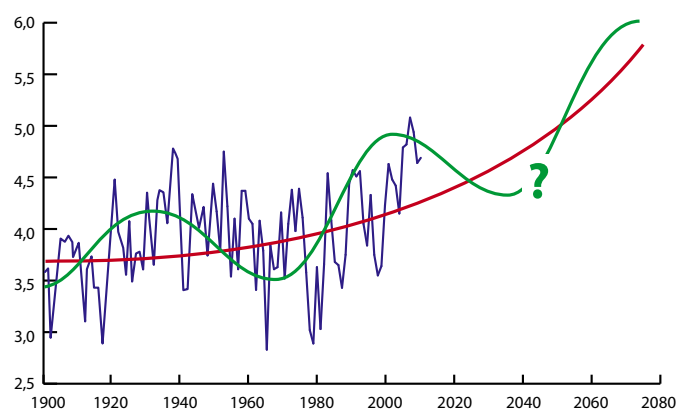
** ESD: Empirisk-Statistisk nedskalering av endring fra 1961–1990 til 2071–2100

*** RegClim 2005: Endring fra 1961–1990 til 2071–2100 fra kombinert analyse av RCM-simuleringer for 2 globale klimamodeller

**** Fra Haugen og Iversen 2008: Endring i løpet av 70 år fra kombinert analyse av RCM-simuleringer for 8 globale klimamodeller

lagene ikke blir påvirket av oppvarming fra atmosfæren. Fra modellkjøringene er det klart at fronten mellom de kalde og varme vannmassene i Barentshavet fortsatt vil være til stede, men med en minimal forflytning nordover i vest og en vesentlig større forflytning mot nord i den sørøstre delen av Barentshavet. Førland et al. (2009) sier ingenting om Norskehavet.

Figur 6 viser temperaturutviklingen i Barentshavet siden 1900. På samme måte som i atmosfæren er det i havet langperiodiske naturlige variasjoner. Legger vi disse på den utviklingen som skyldes menneskelig aktivitet ser man at det ikke nødvendigvis behøver å bli noen temperaturøkning i havet de nærmeste 20–30 årene. Dette vil i så fall ikke være uventet, og i tråd med utsagnene til Kerr (2008) og Easterling & Wehner (2009) slik det ble diskutert i avsnitt 1.2. Når de naturlige svingningene igjen begynner å svinge i samme retning som de menneskeskapte påvirkningene vil vi få en veldig rask økning i temperaturen, sannsynligvis etter år 2040.



Figur 6. Temperaturutviklingen i Kolasnittet, og forventet utvikling fremover. (Basert på data fra PINRO (blå kurve) og Furevik 2002 (rød kurve)).

1.6 Hvordan lese rapporten

Rapporten er delt opp slik at de marine, terrestriske og limniske økosystemene er beskrevet hver for seg. Økosystemene er beskrevet kort, fulgt av en oppsummering av status. Så kommer en beskrivelse av hva vi i dag kjenner til av klimaeffekter, før man ser på forventede effekter av klimaendringer. Til slutt settes det hele inn i et økosystemperspektiv. Kapittel 5 oppsummerer hovedpunktene i funnene, mens kapittel 6 peker på de mange kunnskapshullene som fortsatt eksisterer.

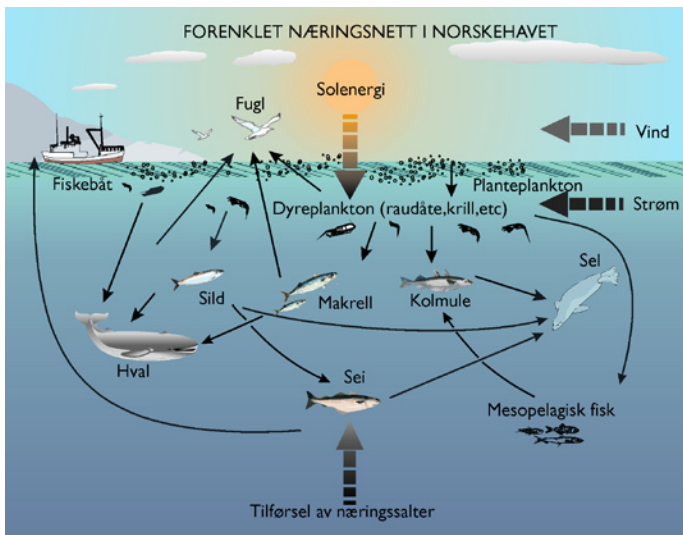
2 Marine økosystemer

2.1 Introduksjon til økosystemene i Norskehavet og Barentshavet – dagens status

Her gis en kort beskrivelse av de økologisk viktigste artene i Norskehavet og Barentshavet, samt tilstandsrapporter med hensyn til aktuelle hydrografiske forhold, bestandsstørrelser og lignende.

2.1.1 Norskehavet

Økosystemet i Norskehavet har relativt lav biodiversitet og et nokså enkelt næringsnett (fig. 7), men de dominerende livsformene finnes i svært store mengder. Norskehavet har høy biologisk produksjon, og dessuten en svært stor biomasse av organismer på ca. 200 millioner tonn. Nesten $\frac{3}{4}$ av denne store biomassen utgjøres av dyreplankton. Vinteravkjølingen gir en vertikal omrøring av vannmasser som bringer nærings-salter opp i den øvre, belyste del av vannsøylen, slik at de blir tilgjengelige for planteplanktonet. Disse ørsmå algene finnes i enorme mengder under den intense, men korte våroppblomstringen (Skjoldal 2004; Ottersen & Auran 2007). Basert på et gjennomsnitt av primærproduksjonsmålinger både langs norskekysten og i åpne deler av Norskehavet har en estimert årlig gjennomsnittlig planteplanktonproduksjon til ca. 90 gC/m^2 (Ottersen & Auran 2007).



Figur 7. Forenklet næringsnett for Norskehavet (Havforskningsinstituttet).

Bindeleddet mellom alger og fiskebestandene er en rekke ulike arter dyreplankton. Den svært tallrike raudåte er kanskje den aller viktigste av disse. I tillegg til raudåte er de større krepsdyrene krill og amfipoder viktige i dette havområdet. Dyreplanktonet bruker de dype bassengene til overvintring og skjulested i mørket for å unngå å bli spist. De er til stede i det øvre vannlaget i en kort og hektisk periode om våren og sommeren hvor de beiter på planteplankton, samtidig som de gyter, vokser og utvikler seg. Dyreplanktonet transporteres med strømmene og det foregår viktige utvekslinger av vann og koblinger mellom dyphav og sokkel og mellom sørlige og nordlige deler av Norskehavet (Melle et al. 2004; Brøms & Melle 2005). Dyreplanktonartene nevnt ovenfor, og særlig raudåte, er sentrale matkilder for fisk som blant annet sild, kolmule, makrell og sei i Norskehavet. Dyreplankton beites dessuten av mange av sjøpattedyrartene som lever i Norskehavet.

Store kommersielt utnyttbare fiskebestander som norsk vårgytende sild, kolmule og makrell finnes i Norskehavet, særlig om sommeren. Deler av makrellbestanden(e) vandrer inn i det sørlige Norskehavet på sommerbeite, men hovedområdene er lengre sør og vest. Kolmule finnes over det meste av Norskehavet, men gytingen foregår i stor grad på sokkelen og banker vest av De britiske øyer. Norsk vårgytende sild beiter i Norskehavet om sommeren, men gyter langs norskekysten (Holst et al. 2004). Mengden fiskespisende fisk i Norskehavet er lav. Unntaket er storsei, som ofte følger etter sildestimene på sommerbeite. I tillegg finnes blant annet blåkveite og breiflabb i tilknytning til kontinentalsokkelen. Andre fiskearter i havområdet inkluderer flere uerarter, lange, blålange, brosme og vassild. Fiskeriene i Norskehavet på blant annet makrell og norsk vårgytende sild, har en fangstverdi på vel 4 milliarder kroner, og et kvantum på ca. 1,5 millioner tonn (Ottersen & Auran 2007).

Norskehavet fungerer som beite- og/eller hekkeområde for en rekke sjøfuglarter. I størrelsesorden 1,6 millioner sjøfugl er tilknyttet området i hekketiden. Flere av bestandene har

høy verdi i nasjonal og internasjonal sammenheng. Sjøfuglene spiller en viktig rolle som bindeledd mellom hav og land. Gjennom tilførsel av næringsstoffer via ekskrementer og byttedyrrester legger sjøfuglene grunnlaget for en rik vegetasjon i nærheten av hekkekoloniene. Denne produksjonen utnyttes av en lang rekke fugler og pattedyr. De viktigste sjøfuglkoloniene i området er Jan Mayen (flere kolonier), Runde og Røst (for Svalbard, se Barentshavet 2.1.2). Sjøfuglene kan grupperes som pelagiske (for eksempel lomvi, alke, lunde, krykkje, polarmåke) og kystnære (for eksempel storskarv, ærfugl, gråmåke, fiskemåke). Datagrunnlaget for åpent hav er generelt svakt, mens en har mer kunnskap på kystnære områder (Ottersen & Auran 2007).

Norskehavet omfatter et mangfold av habitater for en rekke arter av sjøpattedyr. Vågehval, finnhval og spermhval er de vanligste hvalene i Norskehavet. Blåhval, finnhval, knølhval og vågehval vandrer gjennom området på vei mellom forplantningsområdene i varmere farvann – hvor de har tilhold i vintermånedene – og beiteområdene ved polarfronten og iskanten, hvor de oppholder seg i sommersesongen. For disse artene er Norskehavet altså primært et beiteområde. Grønlandssel og klappmyss har bestander som forplanter seg i drivisen (Vesterisen) som hver vinter danner seg i områdene nord for Jan Mayen. Begge disse selbestandene benytter Norskehavet til dels som beiteområde. I nord forekommer det arter som hele året er knyttet til iskantøkosystemer eller høyarktiske kystområder. Disse artene omfatter grønlandshval, narhval, hvithval, storkobbe, ringsel, hvalross og isbjørn (Nøttestad & Olsen 2004; Haug 2008a; Øien 2008a).

Bunnfaunaen i Norskehavet er variert på grunn av den store dybdevariasjonen. De store bassengene er dominert av dyphavsfauna, mens det på kontinentalsokkelen langs Norskekysten finnes store korallrev som danner samfunn av høy diversitet bestående blant annet av fastsittende bunndyr og fisk. Korallrevene har således en viktig rolle i økosystemet, men er utsatt for skade fra bunnslepne fiskeredskaper og kan være følsomme for endringer i temperatur og ikke minst pH (Ottersen & Auran 2007).

Status

Siden 2002 har atlantehavsvannet i Norskehavet vært bemerkelsesverdig varmt og salt. 2007 var det varmeste året siden observasjonene startet i 1977. I slutten av 2007 sank derimot temperaturen og var i 2008 på det normale. I slutten av 2008 er det derimot observert varmere og saltere innstrømmende atlantehavsvann enn normalt i det sørlige Norskehavet. Dette er foreløpig ikke observert lengre nord i Norskehavet. Etter at innstrømningen av atlantehavsvann var rekordhøy i 2005–2006, har den de to siste årene ligget på det normale (Loeng 2009).

Som i de to foregående årene startet våroppblomstringen i 2008 tidligere enn normalt både i de åpne havområdene og i kystvannet. Klorofyllmengden ved værskipstasjon M i det åpne Norskehavet (66 °N 2 °Ø) ved oppblomstringens maksimum var av de laveste som er målt siden overvåkingen

startet i 1991. Det tyder på et sterkt beitepress fra dyreplanktonet, selv om mengden dyreplankton i Norskehavet har gått ned de siste årene. Denne trenden fortsatte i 2008 og var spesielt fremtredende i de vestlige deler av havområdet. Innslaget av sørlige arter øker, og raudåta (*Calanus finmarchicus*) nære slektning i Nordsjøen, *C. helgolandicus*, dominerer i planktonet langs vestlandskysten deler av året. En økning av *C. helgolandicus* kan virke negativt på viktige fiskebestander dersom den skjer på bekostning av raudåta. Hvorvidt nedgangen i dyreplankton skyldes de store bestandene av planktonspisende fisk (sild, kolmule, makrell) er ikke klart (Loeng 2009).

Norsk vårgytende sild er verdens største sildebestand, og veksten i bestanden fortsetter som et resultat av gunstige forhold i havet, en stor gytebestand og en godt fungerende forvaltningsplan. Gytebestanden er beregnet til å være ca. 12 millioner tonn. Det betyr at bestanden nå er på et nivå sammenlignbart med 1950-tallet. Kolmulebestanden nådde derimot toppen i 2003 og er nå raskt på vei nedover. Gytebestanden er fortsatt over føre-var-nivået, men det høstes langt mer enn det som regnes som bærekraftig. Når det gjelder makrell, er nivået på gytebestanden usikkert, men det er sannsynligvis noe over føre-var-nivået. Gytebestanden sank til et lavmål i 2003, men er nå på vei opp igjen. Blant bunnfiskene er den nordlige seibestanden fortsatt i relativt god forfatning, mens både vanlig uer og snabeluer har hatt dårlig rekruttering de siste årene og er i dårlig forfatning. Både totalbestanden og gytebestanden av blåkveite er lav i et historisk perspektiv, men bestanden er i en langsom vekst som krever et forsiktig fiske (Loeng 2009).

Noen arter av sjøfugl i Norskehavet har hatt en betydelig bestandsvekst de siste 20–30 år, mens andre har hatt en vesentlig tilbakegang. Situasjonen på Jan Mayen er ukjent. Her nevnes kun noen utvalgte eksempler. Hekkebestandene for flere pelagisk beitende arter i Norskehavet har hatt en reduksjon i antallet de seinere årene. Mest dramatisk har dette artet seg for lunde og lomvi, der den negative trenden har vart helt siden 70-tallet, men også for pelagisk overflatebeitende arter som havhest og krykkje er det registrert nedgang. Havhest på Røst har gått tilbake med 15 % per år de siste 10 årene, og krykkje har en årlig negativ bestandstrend på mer enn 10 % på Runde. Tilsvarende har krykkje hatt en nedgang på ca. 3 % per år på Røst. Bestanden på Runde er nå 16 % av det bestanden var da overvåkingen startet i 1980, mens bestanden på Vedøya (Røst) er halvert siden 1979 (Ottersen & Auran 2007; Anker-Nilssen et al. 2008).

Forekomstene av storhval i det sentrale Norskehavet har ikke endret seg vesentlig de siste 15 årene. Antall spermhval har vist en (ikke statistisk signifikant) økning på et par prosent per år. En må være klar over at slike observasjoner kan forklares av endringer i utbredelse så vel som reelle endringer i bestandsstørrelse (Øien 2008a). Vågehval er den mest tallrike av hvalene i Norskehavet (Nøttestad & Olsen 2004). Tellinger estimerer antall dyr i denne sentralatlantiske bestanden til i størrelsesorden 26 700 (Øien 2008b).

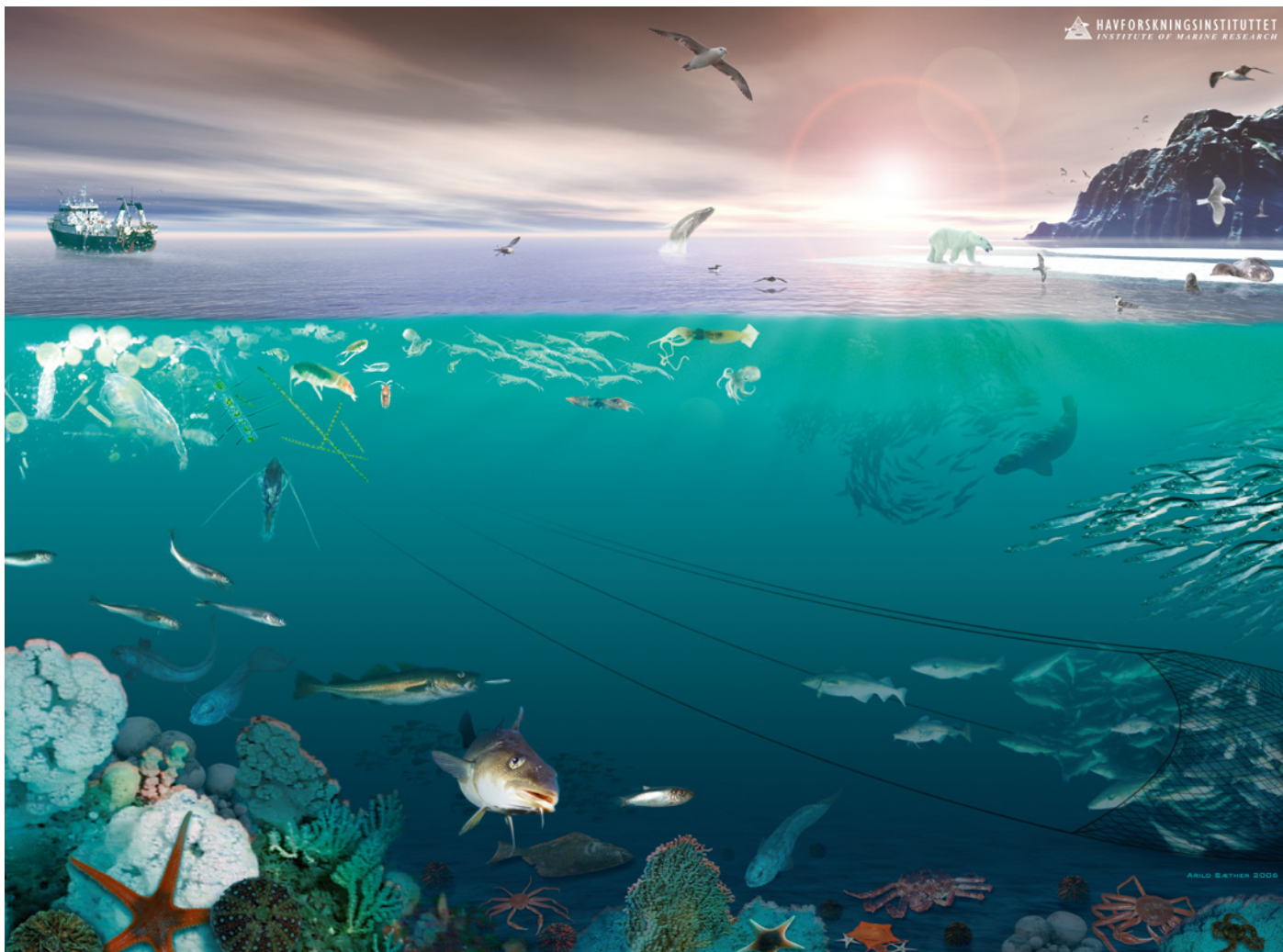
Bestanden av ett-år-gammel eller eldre Grønlandssel i Norskehavet er estimert til 618 000. Denne bestanden har utbredelsesområde fra østkysten av Grønland, Norskehavet, til områdene rundt Svalbard og det nordlige Barentshavet (Haug 2008b).

I forhold til havområdets størrelse og den veldige variasjonen i vannmasser, dyp og bunnforhold, er det gjort få studier av bunndyr i Norskehavet. De siste årene er det først og fremst midtnorsk sokkel som er undersøkt, og det beskrives stadig nye kaldtvannskorallrev, hvorav noen dekker store arealer. Revene er store biologiske konstruksjoner som gjør dem til egnede leveområder for mange organismer. Hittil er det foretatt få undersøkelser av det tilknyttede dyrelivet, men det er allerede funnet 614 forskjellige arter i tilknytning til *Lophelia*-revene langs norskekysten (Loeng 2008a).

2.1.2 Barentshavet

Det biologiske mangfoldet i Barentshavet er stort, breddegraden tatt i betraktning, med godt over tre tusen registrerte arter av dyr og alger. Her gis en kort presentasjon av økosystemet i regionen (fig. 8). Planteplankton og isalger danner bindeleddet mellom det kjemiske miljøet og de biologiske delene i marine næringsnett. I åpne havområder er mikroskopiske planteplankton viktigst, mens isalger dominerer under isen. Mengden av planteplankton er størst i en kort periode om våren. Denne blomstringen starter opp når det er nok lys til fotosyntesen og nok stabilitet i vannmassene til at algene kan være i de øvre, lyse vannlagene. Stabilitet kan skapes av lokal oppvarming av overflatelagene, eller av at ferskvann blir frigjort etter hvert som isen smelter og iskanten trekker seg nordover. Næringsstoffer trengs også, men i Barentshavet er det rikelig av det i de øvre vannlag etter omrøringen av vannet gjennom vinteren. Selv om våroppblomstringen bare varer en kort periode på hvert sted, flytter blomstringen seg til nye områder hvor de fysiske forholdene er optimale (Sakshaug et al. 1994; Bogstad et al. 2008; Loeng 2008b). Sakshaug et al. (1994) estimerer årlig gjennomsnittlig planteplanktonproduksjon i Barentshavet til 110 gC/m² derav 60 gC/m² «ny produksjon». «Ny produksjon» er i motsetning til «regenerert produksjon» basert på næringssalter som tilføres det opplyste og vindpåvirkete øvre lag utenfra (Sakshaug et al. 1994). Dette gir for hele Barentshavet en total primærproduksjon på 7 500 000 terrajoule per år, eller 400 000 terrajoule per år fra «ny produksjon». I en sammenlignende studie mellom Barentshavet og det østlige Beringhavet konkluderer Hunt & Megrey (2005) med at totalproduksjonen per m² er omtrent lik, kanskje noe høyere i det østlige Beringhavet. Sammenlignet med Norskehavet er produktiviteten i middel noe høyere i Barentshavet.

Dyreplanktonet i Barentshavet er sammensatt av mange dyregrupper, men krepsdyrene hoppekreps (som inkluderer *Calanus*-artene, og deriblant raudåte), krill og marflo er de viktigste. Økologisk sett har raudåte en nøkkelrolle. Den kan utgjøre opp til 80–90 % av den samlede biomassen av dyreplankton i havområdet. Variasjonen i dyreplankton er



Figur 8. Forenklet bilde av økosystemet i Barentshavet (Havforskningsinstituttet).

stor fra år til år, og dette skyldes både variasjon i mengden som kommer inn med vannet fra Norskehavet, variasjon i vekst og forplantning i Barentshavet på grunn av ulike vekstvilkår, og variasjon i beitingen fra neste nivå i næringsnettet; de planktonspisende organismene. Disse inkluderer kommersielt viktige fiskeslag som lever pelagisk, det vil si i de frie vannmassene, som lodde, sild og polartorsk, og yngel av mange fiskeslag, men også maneter, sjøfugl, sel og hval. Mye av planktonet vil dessuten falle ned mot bunnen etter at det dør, og avleirer seg der. I tillegg lever mange dyr på bunnen og gjør seg nytte av biologisk materiale som kommer dit (Bogstad et al. 2008).

De bunnlevende organismene er av mange typer, og det finnes over tre tusen arter av slike i Barentshavet. De lever enten fastsittende på bunn der det er fjell, nedgravde i mudret, eller de vandrer eller svømmer rundt på eller like over bunnen. Mengden bunndyr varierer mye fra sted til sted i Barentshavet. Særlig er det funnet store konsentrasjoner i de områdene der isfrysing og smelting foregår, trolig fordi det er her den mest intense produksjonen av plante- og dyreplankton foregår (Bogstad et al. 2008).

Fiskesamfunnene i Barentshavet er preget av relativt få arter som kan være svært tallrike. De som lever av dyreplankton i voksen alder er først og fremst de pelagiske fiskene. De

viktigste er lodde, polartorsk, sild og kolmule – de to første hører hjemme i Barentshavet, de to andre er gjester. Silda kommer inn i Barentshavet med havstrømmene som yngel og lever der i ca. tre år før den returnerer til Norskehavet. Kolmula har en randutbredelse inn i Barentshavet, men er bare periodevis tallrik tilstede der. Lodda derimot er en viktig brikke i økosystemet i Barentshavet. Den omsetter store mengder planktonføde og er selv føde for mange arter, både fisk, sel, hval og sjøfugl. I tillegg til disse pelagiske artene lever yngelen av de fleste fiskearter pelagisk gjennom den første sommeren, og da spiser også disse store mengder dyreplankton (Bogstad et al. 2008). Av bunnfiskene er torsk, hyse, blåkveite, gapeflyndre og to uerarter de viktigste. Langs kysten i sør er også sei en viktig art. Torsken spiser både fisk som lodde og bunndyr som reker, mens hysa i større grad finner maten på bunn. Torsken er særlig avhengig av lodde for å vokse godt, og av det totale årlige konsumet på 2–6 millioner tonn utgjør lodda normalt omtrent halvparten (Bogstad et al. 2008).

Barentshavet har en av de største konsentrasjonene av sjøfugl i verden, sommerstid ca. 20 millioner individer av nær 40 arter. Mange av bestandene er av stor nasjonal og internasjonal betydning, og havområdet er således en viktig sjøfuglregion i global sammenheng. De viktigste artene

hører til alke- og måkefuglene. De store sjøfuglbestandene i Barentshavet er i stor grad et resultat av høy primær- og sekundærproduksjon (plante- og dyreplanktonproduksjon) og store bestander av små, pelagiske fiskearter som lodde, sild og polartorsk. Krepsdyr, lodde, sild, polartorsk og tobis er svært viktige næringsemner for mange arter. I Barentshavsområdet er det 91 sjøfuglkolonier som har mer enn 10 000 hekkende individer. På 18 av disse overstiger hekkbestanden 100 000 individer. De store fuglefellene er jevnt fordelt i de eksponerte kystområdene og huser majoriteten av de hekkende alkefuglene, krykkjene og havhestene (Føyn et al. 2002).

Rundt 24 sjøpattedyrarter opptrer regelmessig i Barentshavet. Av disse er sju selarter, 12 arter store hval og fem små. Av de mest tallrike store hvalene i Nordøst-Atlanteren er vågehval, finnhval og spermhval, mens den mest tallrike selen i Barentshavet er grønlandsselen. Sjøpattedyrene er viktige konsumenter i økosystemet i Barentshavet der de kan spise halvannen gang så mye som det blir fisket av fiskeflåten. Sjøpattedyrene faller naturlig inn i to grupper. Den ene gruppen tilbringer hele tiden i dette området, mens den andre består av arter som tilbringer vintrene på sørligere breddegrader og vandrer nordover og inn i Barentshavregionen om sommeren for å dra nytte av den høye produksjonen her på denne tiden av året (Sakshaug et al. 1994;

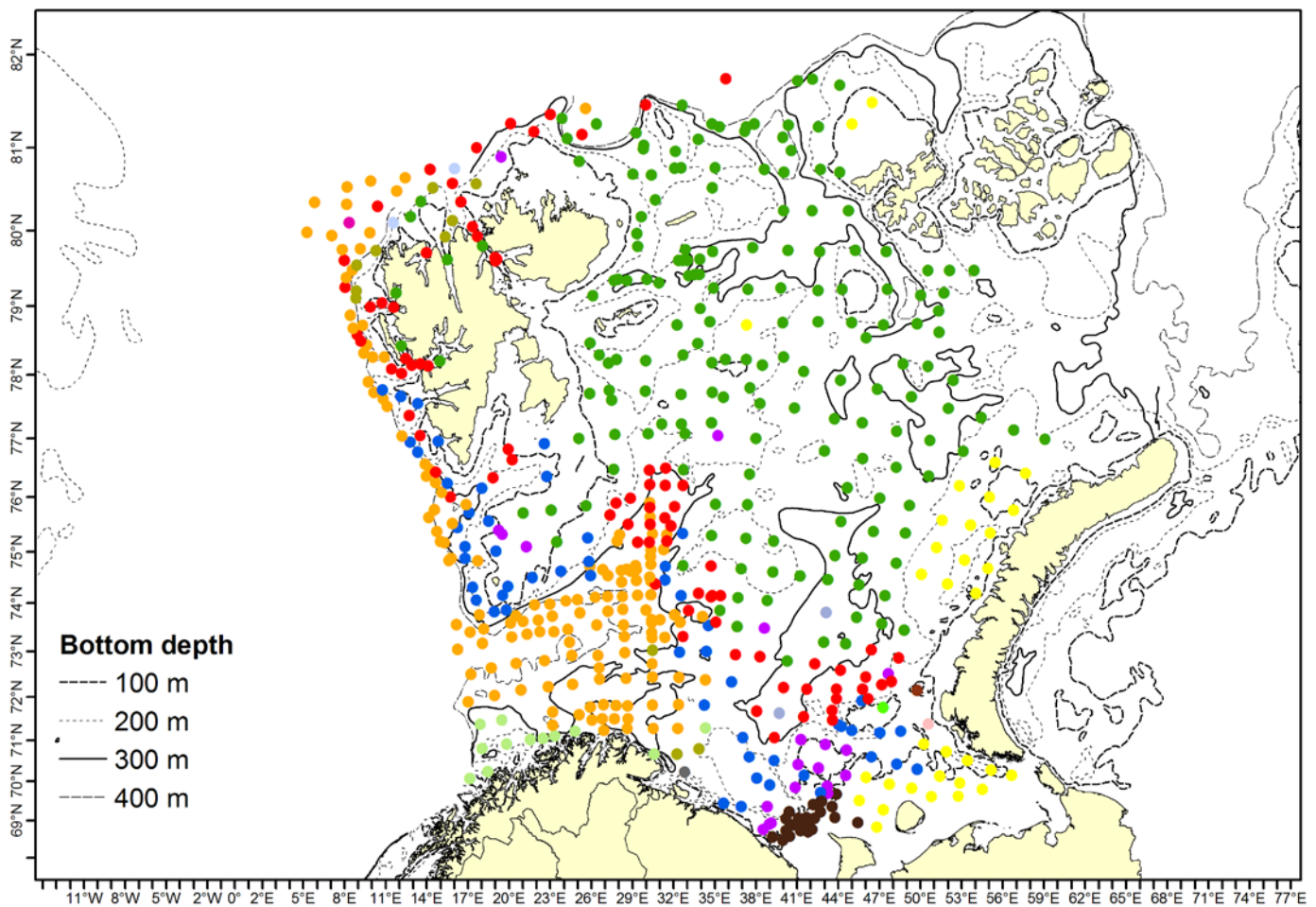
Bogstad et al. 2008; Loeng 2008b). I nord forekommer det arter som hele året er knyttet til iskantøkosystemer eller høyarktiske kystområder. Disse artene omfatter grønlandshval, narhval, hvithval, storkobbe, ringsel, hvalross og isbjørn (Nøttestad & Olsen 2004; Haug 2008a; Øien 2008a).

Status

2008 var et varmt år i Barentshavet, og i begynnelsen av året var det varmere enn noen gang tidligere. Det var dessuten lite is. Utover året falt imidlertid temperaturen noe, og sett under ett var 2008 litt kaldere enn året før. Dette skyldes sannsynligvis at innstrømningen av atlantehavsvann var kraftig redusert i forhold til årene før. Årene etter 2000 er den varmeste sammenhengende perioden som er observert siden 1900 (Røttingen 2009).

I 2008 ble det målt vesentlig mindre dyreplankton enn de to foregående årene. Det er nærliggende å tro at beitepresset fra lodda er ansvarlig for mye av denne reduksjonen. En annen medvirkende årsak kan være at den minkende dyreplanktonmengden en har observert i Norskehavet de siste årene har ført til redusert import til Barentshavet (Knutsen & Dalpadado 2009).

Det ventes en økende mengde lodde i Barentshavet. Ungsildmengden går derimot ned, årsklassene 2005–2008 er svakere enn de forutgående. Det er også registrert en ned-



Figur 9. Fordeling av trålstasjoner under økosystemtoktet i Barentshavet i august og september 2007. Tråltrekk med samme farge har relativt lik artssammensetning. Torsk, hyse og gapeflyndre er utelatt fra analysene siden disse artene forekommer i mesteparten av området. Ved å inkludere disse i analysene, avdekkes stort sett bare variasjon av disse artene, mens de underliggende forskjellene i artssammensetning skjules (Høines et al. 2009).

gang i kolmulemengdene. For polartorsk ser det imidlertid ut til ikke å være store endringer i bestanden (Røttingen 2009). Bestanden av torsk er i rimelig god stand, omtrent på langtidsgjennomsnittet (1946–2007). Gytebestanden er voksende og over langtidsgjennomsnittet. Total fiskerikvotest for torsk var i 2007 445 000 tonn. En stadig større del av skreien (gytetorsken) gyter nå nord for det tradisjonelle hovedgyteområdet i Lofoten, noe en regner med har sammenheng med varmere vann. Bestanden av hyse er i god forfatning og rekrutteringen har vært høyere eller lik langtidsgjennomsnittet siden 2000. Situasjonen for blåkveitebestanden er ikke optimal, men ser ut til å bedre seg langsomt. Bestandene av både vanlig uer og snabeluer er begge nær et historisk lavmål. På denne bakgrunn tilrår Det internasjonale havforskningsrådet (ICES) strengere reguleringer (Bogstad 2009; Aanes 2009; Høines 2009; Nedreaas & Planque 2009a, 2009b).

Fiskearter som forekommer sammen og har sammenfallende krav til miljøforhold, danner artsgrupper, også kalt fiskesamfunn. Vanligvis blir fiskeartene i Barentshavet gruppert i 3–7 hovedgrupper. Blant disse er den arktiske den mest karakteristiske. De arktiske fiskeartene lever i kaldt vann nord for polarfronten. Gruppen er den mest artsrike i Barentshavet, men mange av artene er vanskelige å skille fra hverandre fordi de er nært beslektet og ser overfladisk like ut. Figur 9 – basert på Havforskningsinstituttets tokt høsten 2007 – viser hvordan bunntrålstasjoner med sammenfallende artssammensetning grupperes og hvor de forekommer. Utbredelsen og grensene til de ulike gruppene er knyttet til dyp og den geografiske plasseringen av polarfronten (Høines et al. 2009).

Langtidsmålet for forvaltningen av vågehval er at bestanden skal styres opp mot et nivå på 60 % av den opprinnelige. Det er beregnet at bestanden på begynnelsen av 1980-tallet var omtrent på 70 % av hva den var rundt 1950. Tellinger anslår den nordøstatlantiske bestanden av vågehval til å være i størrelsesorden 80 500, og for hele det nordøstlige Atlanterhavet 184 000 (Øien 2008b). Basert på tellinger foretatt i 1998–2003 ble det estimert at østisbestanden (Kvitsjøen/sørøstlige del av Barentshavet) av grønnlandssel totalt er på godt og vel 2 millioner. Nyere tellinger, fra 2004–2007, indikerer at det nå fødes færre unger enn tidligere, antageligvis på grunn av redusert isutbredelse i kasteområdene i Kvitsjøen (Haug 2008b).

Som for Norskehavet er sjøfuglsamfunnet i Barentshavet i stadig forandring som følge av både naturlige og menneskeskapte påvirkningsfaktorer. Noen arter har hatt en betydelig bestandsvekst de siste 20–30 år, mens andre har hatt en betydelig tilbakegang (Føyn et al. 2002; Anker-Nilssen & Aarvak 2006; Anker-Nilssen et al. 2008). Her gis kun noen utvalgte eksempler.

Lomvien har hatt en dramatisk nedgang siden 1960-tallet. Størst har nedgangen vært i de nordnorske koloniene vest for Nordkapp. Allerede i 1984 var den nordnorske lomvi-bestanden bare 25 % av hva den var i 1964. Tilstanden for

den nordnorske bestanden er fortsatt kritisk, og i dag må flere av koloniene vest for Nordkapp sies å være truet av utryddelse. Årsaken til tilbakegangen er trolig en kombinasjon av at fuglene blir hengende fast i fiskeredskap, jakt og næringsmangel (Norsk Polarinstitutt 2009).

Overvåkingen på Herynken, Røst har vist at lunden hadde en særlig dramatisk nedgang i bestanden fra 1979 til midt på 1980-tallet. Lundebestanden er fortsatt i nedgang. Hekkebestanden på Røst er estimert til å være redusert med ca. 1 million par siden 1979. Dette tilsvarer rundt halvparten av den norske lundebestanden i 1990. Imidlertid utgjør fortsatt Røst den største sjøfuglkolonien på det europeiske fastlandet. Nedgangen i lundebestanden antas å skyldes reproduksjonssvikt som følge av mangel på 0-gruppe sild.

Havsule og storjo er eksempler på to arter som har vist en betydelig bestandsvekst. Bestanden av havsule har vært i jevn vekst siden den for første gang i Norge etablerte seg på Runde i 1946. I 1995 ble bestanden anslått til ca. 300–700 par. Bestanden av storjo er liten, men voksende, særlig etter 1988. I 2000 talte bestanden et sted mellom 230–390 par (Føyn et al. 2002; Anker-Nilssen et al. 2006, 2008).

Barentshavets plante- og dyreliv utgjør til sammen et biologisk mangfold som er nødvendig for å bevare et produktivt og intakt økosystem. Arter vi ikke høster av har innflytelse på dem vi høster av. Norge er forpliktet av internasjonale konvensjoner til å sikre det biologiske mangfoldet, og dette berører reguleringen av menneskelig aktivitet i havområdene. Tiltak som bevarer de kommersielle artene sikrer ikke nødvendigvis mangfoldet av andre arter (Høines et al. 2009). Det felles norsk-russiske økosystemtoktet er en unik forskningsplattform for økosystembasert langtidsovervåking i Barentshavet. På toktet er det utviklet en kostnads- og tidseffektiv metode som gjør det mulig å bruke bunndyr i forbindelse med miljøovervåking. Dette er spesielt viktig i havområder som er utsatt for bunnfiske, petroleumsvirksomhet og fremmede arter. Forvaltningsplanen for Barentshavet omtaler økosystemtoktet i Barentshavet som en av de viktigste plattformene for overvåking og innsamling av data i dette økosystemet. Sammen med særskilte programmer for sjøfugl (SEAPOP) og havbunnskartlegging (MAREANO) vil toktet bidra med viktig kunnskap når forvaltningsplanen skal revideres i 2010 (Jørgensen & Sunnanå 2009).

2.2 Kjente effekter av klimavariasjon på økosystemene i Norskehavet og Barentshavet

Omfanget av og nivået på kunnskap om effekter av klimavariasjon er svært forskjellig mellom de ulike organismegruppene. De fleste kjente og veldokumenterte sammenhenger dreier seg om effekter av klimavariasjon på kommersielle fiskebestander, først og fremst torsk og sild. For noen sjøfugl- og sjøpattedyrarter er kunnskapen også rimelig god, for bunnlevende organismer vet en mindre. Mye fordi flere sentrale fiskearter lever av dyreplankton, har vi også en del viten om klimaeffekter på dyreplankton. For eksempel øker dyreplanktonbiomassen i Norskehavet under positive NAO-

forhold (Skjoldal & Sætre 2004) og det er også en positiv korrelasjon mellom dyreplanktonmengdene og sildas kondisjon (pers. komm. W Melle, Havforskningsinstituttet).

År-til-år variasjon og mer langsiktige trender i klimavariablene, og spesielt i havtemperatur og innstrømming av atlantehavsvann til Barentshavet, har historisk sett hatt sterk innflytelse på rekrutteringen til de store bestandene av torsk i nordområdene (Sætersdal & Loeng 1987; Ottersen & Loeng 2000; Ottersen & Stenseth 2001), og også på sild (Toresen & Østvedt 2000; Fiksen & Slotte 2002; Sætre et al. 2002), hyse (Ottersen & Loeng 2000), og trolig til en viss grad også for sei. Høyere temperatur ser ut til å ha en positiv effekt på overlevelsen til disse artene i tidlige livsstadier. Dette kan skyldes direkte effekter av temperatur på fisken (rask vekst), men trolig også at temperatur indikerer andre gunstige betingelser, eksempelvis størrelsen og tidspunkt for våroppblomstringen av plankton i kyststrømmen, eller mengde plankton som driver fra Norskehavet og inn i Barentshavet (Sundby 2000; Loeng 2008b).

Fiskebestandene i regionen er tilpasset et dynamisk miljø, der klimamønstre på nordatlantisk skala – ofte representert ved NAO (Ottersen et al. 2001; Ottersen & Stenseth 2001), dominerende strømmønstre og endringer i temperaturen – innvirker på rekruttering, fordeling og vandringsmønstre. Det er ikke unaturlig at fiskebestander som lever i samme storskala økosystem, har en stor grad av samvariasjon i endringer, kanskje særlig i rekruttering. Dette gjelder sild, torsk og hyse (Sætersdal & Loeng 1987; Borisov & Elizarov 1989; Ottersen & Loeng 2000), mens lodde som er relativt uavhengig av atlantehavsvannet og er mer påvirket av trofiske interaksjoner (for eksempel predasjon fra sild og torsk), vil kunne ha en annen respons på klimaendringer (Loeng et al. 1995). I utgangspunktet regner en valg av gyteplass som en ganske konservativ størrelse, men for norsk-arktisk torsk er det nylig vist at det er svingninger med frekvens på flere tiår og at tendensen er at en større del av gytingen foregår på sørligere felt i kalde perioder og nordligere felt i varme perioder (Sundby & Nakken 2008; Klyashorin et al. 2009). Vandringsmønsteret til norsk vårgytende sild har endret seg dramatisk flere ganger de siste 50 årene. Overvintrings- og beiteområder har forandret seg mye og i flere etapper siden bestandens forrige storhetstid på 1950-tallet. Endringer i strøm- og temperaturforhold er en innvirkende faktor, men fluktuasjoner i både bestandens størrelse og alderssammensetning er nok vel så viktig (en liten bestand trenger ikke dra langt for å finne tilstrekkelig med mat) (Slotte & Fiksen 2000; Holst et al. 2002). Det er mye som tyder på at den kraftige økningen i bestandsstørrelse som ble observert for kolmule i perioden 1995–2003 henger sammen med gunstige rekrutteringsbetingelser som følge av høye temperaturer (Ottersen & Auran 2007).

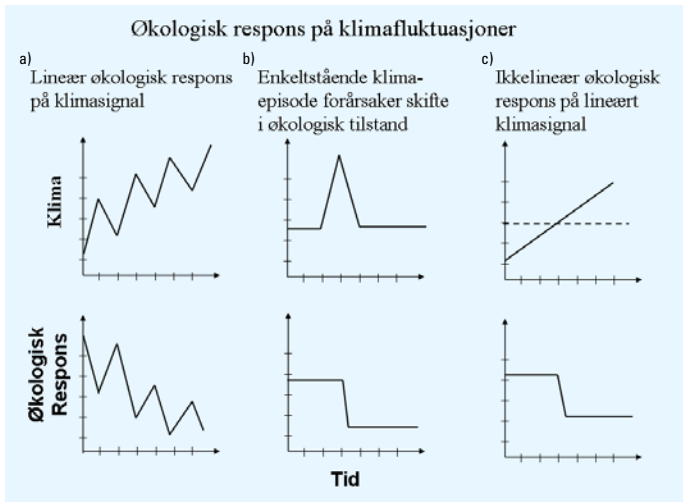
Sjøfuglenes utbredelse i regionen er i stor grad styrt av klimatiske og oseanografiske forhold, med en særlig markert gradient fra sørvest til nordøst, fra varmt og saltholdig atlantehavsvann i sydvest til kaldt saltfattig polart vann i nord.

Området hvor disse vannmassene møtes kalles polarfronten og dette frontsystemet er et viktig beiteområde for sjøfuglene. Fordelingen av vannmasser og polarfrontens beliggenhet gjenspeiles også i utbredelsesmønstrene til de ulike sjøfuglartene. Sjøfuglene har generelt sen kjønnsmodning, lavt potensial for reproduksjon (små kull) og lav voksendelighet. Dette gjør sjøfuglene svært sårbare for faktorer som reduserer voksne fuglers overlevelse (Loeng 2008b). Sjøfugl påvirkes av klima både direkte og indirekte. De fleste sjøfugler befinner seg på et høyt trofisk nivå i næringskjeden og den langt viktigste påvirkningen fra klima skjer indirekte, ved at sjøtemperatur, havstrømmer og vindretning påvirker tilgjengeligheten av sjøfuglenes byttedyr (Christensen-Dalsgaard et al. 2008). Direkte påvirkning skjer primært gjennom temperatur, vind og nedbør i hekkesesongen, og kraftig uvær utenfor hekkesesongen. Utover de indirekte effekter gjennom trofiske interaksjoner, kan ekstreme værforhold, eller endring i dominerende vindretninger ha en direkte effekt på populasjonene ved å øke tap av egg og dødelighet hos unger. Perioder med dårlig vær kan hindre voksenfugler i å søke etter mat, hvilket igjen kan ha betydning for ungenes vekst og overlevelse. Massestrandinger av døde og døende sjøfugler vinterstid skyldes som regel at fuglene har sultet i hjel, enten som følge av matmangel eller værforhold som har gjort maten utilgjengelig (Christensen-Dalsgaard et al. 2008).

Mange av de stedfaste sjøpattedyrartene som lever i nær tilknytning til havis er allerede i dag utsatt for at tilgjengelig habitat blir mindre og begrensninger i mattilgangen i enkelte områder i Arktis (Loeng 2008b). Selarter tilknyttet isen er spesielt følsomme, da de er avhengige av is både til yngling, næringsøk og hårfelling. Ringsel er spesielt påvirket av klimavariasjon som influerer isforhold. Mange sider ved deres livshistorie og fordelingsmønstre er tilknyttet havis. Selungene fødes i hulrom i snøen på isen, og er derfor avhengige av tilstrekkelig snødekke på isen for å overleve. Det er viktig at både snø- og isdekke holder seg til langt utpå våren. Isbjørn er avhengig av havis for å jakte sel, og for å bevege seg mellom hiområdene på land og jaktområdene ute på isen (Derocher et al. 2003; Loeng 2008b), og reduksjoner i habitat og byttedyr vil sannsynligvis føre til bestandsreduksjon for denne arten. Klimaendringer og temperaturstigning har også ført til forandring i isdannelsen i Vesterisen. En kan derfor heller ikke utelukke at tilgjengeligheten av den iskvaliteten klappmyssen foretrekker for å føde unger allerede har endret seg, og at dette har bidratt til at færre dyr nå fødes i det tradisjonelle forplantningsområdet i Vesterisen (Ottersen & Auran 2007). Vi vet ikke at nedgangen fra tellingen i 1997 til 2005 er klimarelatert, men den kan neppe forklares med fangstene i denne perioden.

2.3 Forventede effekter av klimaendringer på marine økosystemer

Dette kapitlet drøfter hvordan klimadrevne endringer i de fysiske og geokjemiske prosessene påvirker de biologiske systemene i havområdene. Klimaendringer kan påvirke

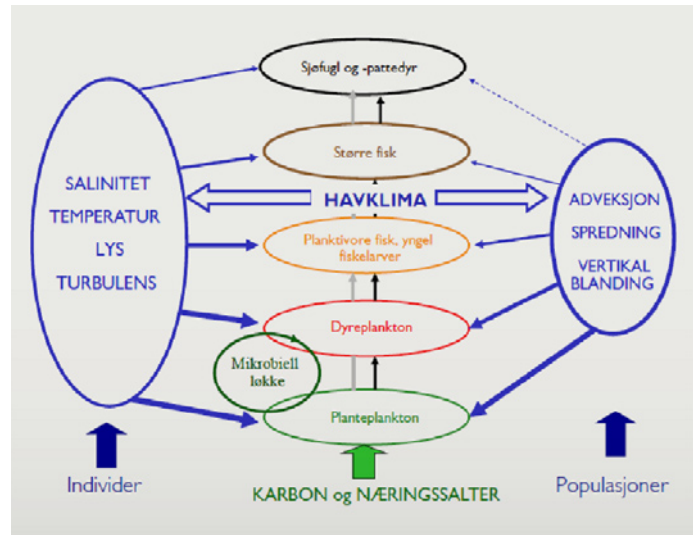


Figur 10. Ulike økologiske responser til et klimasignal. a) Lineært klimasignal og lineær økologisk respons. b) Klimahendelse forårsaker skifte i økologisk tilstand eller regime. c) Lineært klimasignal som forårsaker skifte i økologisk tilstand eller regime når klimaterskel passerer. Dersom nye nivåer på klimaparametre opptrer i fremtiden øker sannsynligheten for situasjon c) (Ottersen et al. 2004).

økologien gjennom mange ulike prosesser og sammenhengene kan være komplekse (fig. 10 og 11). Samtidig må det tas hensyn til at selv der en har etablerte sammenhenger er det ikke sikkert disse lenger gjelder dersom for eksempel havtemperaturen blir høyere enn det som har vært observert tidligere. Forventede effekter baserer seg på historiske observasjoner av endringer i biologiske forhold i relasjon til klimavariasjon i Barentshavet og Norskehavet, samt modellresultater. Til en viss grad benyttes også informasjon fra andre nordlige havområder. Hovedvekten ligger på effekter av en moderat temperaturøkning, men også konsekvenser av endringer i vind og strømmønstre blir belyst. I tillegg til det som vanligvis ligger innenfor klimabegrepet inkluderer vi også forsuring (reduert pH) og økt UV-stråling. Prosjeksjoner for de neste 100 årene indikerer et redusert pH-nivå som i følge studier av fossile kalkskall sannsynligvis ikke har eksistert på 20 millioner år (Golmen et al. 2008).

I ACIA 2005 konkluderer en med at det i Arktis generelt må forventes forhøyede UV-verdier ved havoverflatenivå fremover. Ozonnivået har spesielt stor innflytelse på UV-strålingen, men også skydekke, aerosolnivåer og albedo (strålingsrefleksjon fra hav/is/land) er viktige faktorer. En trendstudie (1980–2000) for arktiske havområder viser blant annet at skydekningsgraden har en signifikant negativ trend om vinteren på ca. -5 % per tiår og en signifikant positiv trend om våren på ca. +3 % per tiår, og at det ikke er signifikant positive trender om sommeren og høsten. Her må det understrekes at den positive trenden om våren er nær null i Barentshavet, mens den negative trenden om vinteren er mest utpreget i den atlantisk-eurasiske delen av Polhavet med Barentshavet (Hansen & Flatøy 2007).

Kapitlet er strukturert ut fra artsgrupper: planteplankton, dyreplankton, fisk, bunnsamfunn, sjøpattedyr og sjøfugl. Avslutningsvis drøftes de samlede effektene i et økosystemperspektiv og vi ser kort på klimaeffekter på særlig verdifulle og sårbare områder.



Figur 11. Mekanismer som påvirker de ulike ledd i den pelagiske næringskjeden i Barentshavet. Energi overføres fra planteplankton til dyreplankton. Videre oppover i næringskjeden blir dyreplanktonet spist av fiskelarver og planktonspisende fisk som sild, lodde og polartorsk. Planktonspisende fisk blir igjen spist av større fisk som torsk og hyse. På toppen av næringskjeden finner vi sjøfugl, sjøpattedyr og, ikke minst, mennesket som høster fra flere av nivåene lavere ned i næringskjeden. I dette samspillet fra primærprodusenter til topppredatorer påvirker havklimavariabler økosystemet dels på individnivå og dels på populasjonsnivå. På den ene siden har vi temperatur, lys, turbulens og saltinnhold. Dette er havklimavariabler som påvirker adferd, næringsopptak og vekst hos de marine organismene og er følgelig variabler som påvirker dem på individnivå. På den andre siden har vi virkningene av strømmønstrene i havet som horisontal transport av vannmasser, spredning og vertikal blanding. Dette er havklimavariabler som påvirker den romlige fordelingen av organismene og følgelig opererer på populasjonsnivå. Det er i særlig grad planktonet, organismene som driver fritt med strømmen, som påvirkes av disse prosessene (Sundby 2006).

2.3.1 Primærproduksjon og planteplankton

Primærproduksjonen i området forventes i utgangspunktet generelt å øke med stigende temperatur. Forholdene er likevel mer kompliserte enn dette indikerer. Sikre prognoser for planteplanktonproduksjonen under et nytt klimaregime er dessverre ikke tilgjengelige ennå. Selv om en sannsynligvis har grunnlag for å lage slike modeller i dag, vil dette kreve omfattende arbeid.

En eventuell oppvarming av våre nordlige havområder kan føre til at grensene mellom ulike vannmasser forskyver seg. For Norskehavet vil grenseområdene mellom atlantisk vann og arktisk vann skyves nordover og vestover. Disse frontsonene er områder hvor vi gjerne finner høy primærproduksjon og som følge av dette gode beiteforhold for fisk, sjøfugl og sjøpattedyr.

Dersom stormfrekvensen øker vil det kunne føre til mer ustabile vekstforhold på grunn av stor variasjon i omrøring av vannmassene, og dermed også variasjon i lysforhold og tilførsel av næring. Dette er nokså usikkert. Per i dag tror en at stormbanene vil flytte seg, men ikke nødvendigvis at frekvensen vil øke. Et annet usikkerhetsmoment er at økt omrøring sannsynligvis vil favorisere andre algegrupper enn de som dominerer i dagens oppblomstring.

Den indirekte effekten temperatur har på primærproduksjon gjennom endret isutbredelse og omrøring i vannsøylen er av større betydning enn den direkte effekten på vekst-

hastighet. En økning i sjøtemperaturen vil likevel kunne få direkte konsekvenser for artssammensetningen ved at arter som i dag ikke klarer seg under en viss temperatur, får bedre vekstbetingelser i dette området. Tilsvarende vil endring i tilførsel av ulike næringsalter kunne slå ulikt ut for forskjellige algegrupper. Slike endringer i artssammensetningen i ulike planktonsamfunn kan også brukes i tolkning av blant annet klimaendringer (Ottersen & van der Meeren 2008).

I Barentshavet vil klimaendringer kunne medføre store økologiske endringer gjennom reduksjon i isdekket. Forandringer i skyer, tåke og isutbredelse, inkludert snø på isen, mengde partikler tilført fra bresmelting, sot og mengde oppløst karbon vil påvirke lysforholdene og dermed den marine primærproduksjonen. Økt skydekke over områder som i dag er isfrie vil sannsynligvis føre til redusert primærproduksjon, mens områder som i dag er isdekket i deler av eller hele året vil få økt produksjon dersom isen forsvinner eller reduseres dramatisk. Årsaken er at mindre is vil føre til en lengre vekstsesong i områder som i dag har vinterisdekke. Gitt dagens vindforhold, vil primærproduksjonen i den delen av Barentshavet som i dag er islagt kunne øke fra under 40 gC/m² per år til 100–150 gC/m² per år dersom isen forsvinner.

I Barentshavet finnes det flere typer issamfunn (hvor alger er en viktig komponent) på, i eller under forskjellige typer is: flerårsis, tynn årsis, og tykkere årsis. Isalgene står i dag for omlag 20 % av den totale primærproduksjonen i nordlig del av Barentshavet. Noen beitere (isfauna) baserer seg helt eller delvis på issamfunn. De forventede reduksjonene i isutbredelse og istykkelse vil føre til en reduksjon i artsmangfoldet i issamfunnene, hvor de artene som er avhengige av flerårsis vil bli sterkest rammet (Hop & Pavlova 2008). Det vil sannsynligvis bli en generell dreining mot mer pelagiske systemer (Loeng 2008b).

Redusert pH vil redusere karbonatmetningen og dermed kunne påvirke kalkdanningen hos kalkdannende marine organismer. Mange av planktonartene i utredningsområdet har kalkbasert skall og vil være sårbare for forsuring av havet (reduksjon i pH) (Golmen et al. 2008). Organismer som bygger skall av kalsiumkarbonat benytter stort sett formene *kalsitt* (mange planktonarter, snegler, skjell) eller *aragonitt* (koraller og vingesnegl). Foruten effekt på skall og skjell vil CO₂ og pH ha effekter på respirasjon og fysiologi, samt på kjemiske likevekter i sjøvann og sediment (Golmen et al. 2008). CO₂ produsert gjennom kalkdanning skaper en negativ feedback på grunn av at CO₂-mengden øker, og som en følge av dette blir pH ytterligere redusert. Det er likevel stor usikkerhet knyttet til størrelsen på denne faktoren, og det avhenger av hvilket dybdenivå kalsifiserende plankton vil sedimentere på.

I polare farvann kan det i overflaten oppstå undermetning for aragonitt innen utgangen av 2100. Organismer som små pelagiske snegler (pteropoder) kan da forsvinne helt eller forflytte seg til varmere vann. Kalsittbyggende plante- og dyreplankton kan ha et par tiår ekstra å gå på. Dyphavskor-

aller vil også kunne være sårbare for forsuring, spesielt i Norskehavet og Grønlandshavet (og det nordvestlige Atlanterhavet) der effekter vil nå dypere vannlag.

Klimaendringenes virkning på planteplankton kan ha meget stor indirekte innvirkning på dyreplanktonet, kanskje større enn de direkte følgene av endret transport inn til/ut av Norskehavet og Barentshavet og eventuelle fysiologiske effekter av økt temperatur på de ulike artene av dyreplankton. Ulike arter av både plante- og dyreplankton vil ha ulik evne til å tilpasse seg klimainduserte endringer. Dette medfører at interaksjonen mellom artene vil bli påvirket, noe som fører til endret samfunnsstruktur og sammensetning (Loeng 2008b).

2.3.2 Dyreplankton

Den til enhver tid eksisterende mengde av dyreplankton i havet er et resultat av reproduksjon, vekst og dødelighet. Veksten er primært styrt av mattilbudet (planteplankton), mens dødeligheten er bestemt av mengden predatorer og organismenes adferd. Både vekst og dødelighet reguleres også av de fysiske omgivelsene, slik som temperatur, lys og omrøring. Et varmere klima kan således komme til å øke dyreplanktonbestandene, enten gjennom planteplanktonleddet (mattilbudet) eller gjennom direkte påvirkning på vekst hos dyreplanktonet (Framstad et al. 2006).

Den dominerende dyreplanktonorganismen i atlantisk vann i Norskehavet og Barentshavet er kopepoden *Calanus finmarchicus* (raudåte). Den finnes i det meste av Norskehavet, men de største mengdene finnes i sentrale deler i temperaturområdet 4–7 °C. Raudåta og dens livssyklus er godt tilpasset sirkulasjonsmønstrene i nordlig del av Nord-Atlanteren, og spesielt til gyrene i Norskehavet (Melle et al. 2004). Det meste av raudåta i Barentshavet har kommet dit via adveksjon fra Norskehavet. Variasjoner i raudåtebiomasse i Barentshavet er følgelig under innflytelse av havstrømmene og derfor også av klima. Raudåta er av en så stor betydning i planktonsamfunnet at en endring i populasjonen vil kunne få vidtrekkende følger for økosystemet i hele Norskehav- og Barentshavregionen.

I varmere deler av havområdet har raudåta to generasjoner i året. I utgangspunktet vil en da kunne tro at et noe varmere hav vil gi økt raudåteproduksjon, men så enkelt er det sannsynligvis ikke. Dagens generasjonsutvikling er et resultat av lang tids evolusjon. En temperaturøkning vil kunne endre sjiktningen i den lyspåvirkede sonen. Dette kan ha implikasjoner på primærproduksjonen, det vil si mattilbudet til dyreplanktonet, men også på selve populasjonsdynamikken hos dyreplanktonet, gitt at generasjonsutviklingen er temperaturavhengig. En rask endring i populasjonsdynamikk hos dyreplanktonet kan medføre at det samspill i tid og rom som i dag eksisterer mellom planteplankton, dyreplankton og høyere trofiske nivåer endres, noe som vil påvirke stabiliteten til økosystemet. (Postmyr 2008). Også andre viktige arter forventes å bli påvirket av klimaendringer i området, det gjelder ikke minst slektningene til raudåte, *C. glacialis* og *C. hyperboreus*.

Det er imidlertid svært vanskelig å si noe om hvordan mengden av dyreplankton vil utvikle seg under endrede klimaforhold, da dette er nært knyttet til endringer i næringsforhold og predatortrykk (Dalpadado et al. 2003). En del modellkjøringer antyder at biomassen ikke vil øke, mens ACIA-rapporten sier at biomassen sannsynligvis vil øke (ACIA 2004). Det er trolig at vilkårene for vekst og reproduksjon vil bli bedre i selve Barentshavet på grunn av temperaturøkning. På den annen side kan transporten av dyreplankton fra Norskehavet, som i dag er fundamental for raudåta, bli redusert dersom mengden med Atlanterhavsvann som strømmer inn avtar, slik noen modeller antyder. Også større mengder pelagisk fisk i Norskehavet og de vestlige deler av Barentshavet, som makrell og kolmule, vil gjennom beiting bidra til å redusere mengden dyreplankton (Loeng 2008b). Et redusert isdekke og høy temperatur vil også kunne påvirke den kvalitative sammensetningen av dyreplankton ved at det kanskje blir flere små arter som har mindre energi per individ. Dette kan føre til betydelige konsekvenser særlig for arter som er spesialister med hensyn til fødevalg (Loeng 2008b).

Klimaendringer kan føre til at reproduksjon og oppblomstring av plante- og dyreplankton skjer på andre tidspunkt enn tidligere. Det er uklart om de tidsmessige sammenfall mellom oppblomstring av byttedyr/alger og predatorer som fungerer godt i dag også vil fungere i fremtiden. Alle forholdene nevnt her gjør det vanskelig å forutsi hvordan utviklingen av dyreplankton vil foregå.

På grunn av kompleksiteten i biologiske system er det også her svært vanskelig å gi et pålitelig varsel angående effekter av forsuring av havet. Fra forsøk vil en pH-reduksjon tilsvarende den som er forventet i 2025 (pH rundt 8) ikke indikere dødelige effekter på voksne dyreplankton og heller ikke på unge stadier som er mer sensitive enn voksne. På lavere pH er det vist effekter på kopepoder, på eggproduksjon og klekkesuksess. Kun små endringer i eksempelvis reproduksjonssuksess eller overlevelse hos viktige dyreplanktonarter kan tenkes å føre til endringer i strukturen på det pelagiske økosystemet (Golmen et al. 2008; Postmyr 2008).

2.3.3 Makroalger og bunndyr

Temperatur, saltholdighet, lys, havis, strømforhold og bølgeaktivitet, inkludert eksponeringsgrad, påvirker forekomst og vekst hos makroalger (tang og tare). Temperatur er den viktigste faktoren for utbredelsen av makroalger i Arktis, men spiller mindre rolle når det gjelder å regulere veksten. Økt temperatur vil derfor i første omgang påvirke artssammensetningen. Makroalger er som alle planter avhengig av lys til fotosyntesen. Derfor vil endrede lysforhold som følge av økt mengde partikler (enten som sediment eller mikroalger) i vannet, også påvirke produktiviteten til makroalgene. Også økt sedimentering av partikler som legger seg på makroalgene i områder med liten vannbevegelse vil kunne bli et problem. Havis påvirker også mengde lys som når makroalgene, og derfor vil fravær/kortere perioder med is gi lengre vekstsesong og dermed økt årlig produksjon. I ekspo-

nerte områder med stor bølgeaktivitet fungerer imidlertid også isen som en beskyttelse ved kraftige vinterstormer. Videre vil økt ferskvannstilførsel påvirke artsforekomsten i de områdene hvor dette fører til redusert saltholdighet i tidevannssonen. Resultatet kan bli at en del arter som vokser øverst i tidevannssonen «foretrekker» større dyp enn i dag, eller forsvinner. På den annen side vil områder som i dag utsettes for isskuring og derfor mangler alger eldre enn ett år, kunne få mer artsrike samfunn, inkludert flerårige arter (Loeng 2008b).

Voksne, boreale (nordlige) arter av bunndyr har en bredere temperaturløp enn arktiske arter. Fordi boreale arter vil være i stand til å overleve ved lavere temperaturer, vil endringer i bunnfaunaen være lettere å oppdage ved en oppvarming enn ved en avkjøling. Endringer som følge av en oppvarming kan også skje raskt, fordi sørlige arter i stor grad har larver som lever lenge i de frie vannmassene og følgelig kan fraktes langt dersom havstrømmene blir varmere. Arktiske arter har i langt mindre grad slike larvestadier. Fravær av bunnavende arter kan ha flere årsaker, blant annet ugunstige bunnforhold, ugunstige strømforhold samt endringer i temperatur. Økt temperatur ved sjøbunnen vil virke inn på enzymaktiviteten i de mikrobielle prosessene og dermed hastigheten på nedbrytning av organisk materiale som blir tilgjengelig for bunnsamfunn, regenerering av næringsalter samt flere andre prosesser. Omfanget er imidlertid usikkert med dagens kunnskap. I tillegg kan andre arter i økosystemet i betydelig grad endre hvordan en art reagerer på temperaturendringer. Samlet er det derfor stor usikkerhet knyttet til endringer i artssammensetning og andre prosesser i bunnsamfunn som følge av klimaendringer. At boreale arter raskt vil kunne kolonisere Barentshavet under et varmere klimaregime er imidlertid sannsynlig (Loeng 2008b).

Iskanten er et område med stor biologisk produksjon, ofte i en kort tidsperiode. Deler av denne produksjonen nedbeites i vannsøylen, men over grunne områder (dvs. store deler av Barentshavet) vil også betydelige deler av produksjonen synke til bunns og gi økt mattilbud for bunndyr i området. En utvikling mot mindre vinteris og nordligere isgrenser vil redusere eller forflytte dette viktige bidraget til bunndyrssamfunnet i Barentshavet nordover (Loeng 2008b).

Forsuring

Koraller er blant de bunnorganismene som først vil kunne merke konsekvensene av endringer i CO₂-konsentrasjoner og pH-nivå. En heving av dybden for metningsnivået til aragonitt og kalsitt har allerede skjedd. I Norskehavet forventes negative effekter først på rev som ligger nær nedre grense for mulig dybdeutbredelse. Overflatevannet i polhavene vil bli undermettet med hensyn til aragonitt i løpet av de neste 40–50 årene. Dette vil få betydelige konsekvenser på lang sikt også for nordlige norske farvann, med sannsynlig effekt på koraller innen 2025. Mer enn 95 % av de 410 kjente lokalitetene for dypvannskoraller (i 2006) ligger grunnere enn metningsdypet for aragonitt (der aragonitt er i overmetning). I 2099 vil 70 % av disse ligge dypere

enn metningsdypet. Aragonitt vil være i undermetning i sjøvannet og kalsifiserende organismer vil sakte løses opp, med dramatiske konsekvenser for korallene. (Golmen et al. 2008; Postmyr 2008).

Det er gjort lite forskning på effekter av reduksjon i pH på bunnplanter, men den algegruppen som sannsynligvis først vil oppleve effekt er kalkalgene som har cellevegger dekket av kalk. Redusert pH vil redusere konsentrasjonen av karbonat, som vil redusere kalsifiseringshastigheten. En kan imidlertid forvente økt vekst hos makroalger ved økt CO₂-mengde (Golmen et al. 2008).

Planktoniske larver av bunndyr kan være langt mer følsomme enn voksne bunndyr. Endringer i CO₂-konsentrasjoner og pH-nivå vil derfor kunne endre struktur og diversitet i bunndyrsamfunn gjennom påvirkning av tidlige livsstadier. Adapsjon til redusert pH vil kunne være en modererende faktor. Som for andre grupper er det mest grunn til å frykte for langtidseffekter (Golmen et al. 2008).

2.3.4 Fisk

I et lengre perspektiv og med større klimaendringer kan en viktig faktor være hvor langt raudåtas hovedutbredelse vil forskyve seg. Raudåte er det viktigste byttedyret for fiskeyngel på drift nordover og dermed for rekruttering til de viktigste fiskebestandene i området. Det må med andre ord være nok raudåte langs norskekysten om våren til å fø sterke årsklasser av særlig sild og torsk, for å opprettholde fiskebestandene.

Ved vedvarende høye temperaturer forventer vi, i tillegg til en utvidet utbredelse av etablerte arter, å få mer sørlige arter inn i Norskehavet. Det siste tiåret har det kommet inn fiskbare mengder av ansjos og sardin i Nordsjøen og de er til og med observert så langt nord som i skotske farvann. En knytter denne utviklingen til økte sjøtemperaturer. Det skal likevel mye til for at disse artene får noen større betydning i Norskehavet (Postmyr 2008).

I de siste par år med relativt varmt havklima har ung kolmule opptrådt i store mengder i det sørvestlige Barentshavet (Heino et al. 2008). Kolmulebestanden gyter i hovedsak vest for de britiske øyer men det forekommer også noe gyting utenfor norskekysten så vel som i norske fjorder. Den nordlige utbredelsen av kolmule kan også skyldes en stor bestand etter god rekruttering i perioden 1996–2004. Den dårlige rekrutteringen i ettertid, sammen med et stort fiskepress, førte til vesentlig mindre kolmule i Barentshavet i 2007, selv om temperaturen lå godt over langtidsmiddelet. Dette tyder på at utbredelsen av kolmule også henger sammen med størrelsen på bestanden (Heino et al. 2008). Likevel, vi forventer at et relativt varmt Norskehav åpner for et stort utbredelsesområde i beiteperioden, noe som igjen er gunstig for rekrutteringen og bestandsstørrelsen generelt. Vi har ikke grunnlag for å forvente større endringer i gyteområde.

Langsiktige variasjoner i havklima og innstrømming vil også på sikt påvirke vandringsmønsteret til norsk vårgytende sild. Endringer i vandringsmønsteret vil ha stor betydning for

tilgjengelighet av sild for fiskeriene i utbredelsesområdet.

Vi forventer at et varmere Barentshav med mindre is sannsynligvis vil gi et utvidet leveområde for flere arter nord- og østover i Barentshavet. Slike utvidelser kan omfatte hele eller deler av livssyklusen, avhengig av om det finnes egnede gyteplasser i de nye leveområdene. Det er også slik at en arts respons på klimaendringer kan bli modifisert av andre arters respons, noe som gjør det vanskeligere å forutsi hvordan hver enkelt art vil endre sin utbredelse (Loeng 2008b).

Tyngdepunktet i fordelingen av loddebestanden har historisk forskjøvet seg noe øst-vest i Barentshavet i forhold til vekslinger mellom kalde og varme år, men utbredelsen er også nær knyttet til bestandsstørrelsen (pers. komm. R Ingvaldsen og H Gjøsæter, Havforskningsinstituttet). De fastslår at den nordlige utbredelsen er avhengig av isforhold, temperatur og alderssammensetning av lodde. Den østlige fordelingen bestemmes av temperatur og bestandsstørrelse. Under de varme årene 2000–2008 har de høyeste konsentrasjonene av lodde trukket nordover selv om bestanden ikke har vært stor. Dette tilskrives is- og temperaturforholdene (pers. komm. R Ingvaldsen og H Gjøsæter, Havforskningsinstituttet) Det er imidlertid sannsynlig at lodda ikke har særlig større rekkevidde i sin beitevandring nordover i Barentshavet med dagens gytefeltet utenfor Troms, Finnmark og Kola. En ytterligere forskyvning nordover betinger derfor sannsynligvis også en forskyvning av gytefeltene. Mulige gytefelt i et varmere hav vil kunne være grunnere banker vest for Novaja Semlja og rundt Svalbard og øygruppene i det nordlige Barentshavet. Ved en slik østlig og nordlig forskyvning er det sannsynlig at loddebestanden vil forsvinne fra de sørvestlige deler av sin nåværende utbredelse i Barentshavet (Loeng 2008b).

Torskebestanden i Barentshavet har vist store svingninger i bestandsstørrelse over tid og disse kan, i tillegg til variasjoner i fisketrykk, relateres til klimasvingninger. Få studier har sett på mulige klimaendringseffekter på fisk. En av disse få studiene fokuserte på responsen nordatlantiske torskepopulasjoner har til økninger i havtemperatur. Konklusjonen med hensyn til Barentshavet er at en økning på 1 eller 2 °C vil kunne gi grunnlag for økning i mengden torsk, mens en ved 3 eller 4 grader høyere temperatur (enn i dag) får en populasjon i samme størrelsesorden som i dag (Drinkwater 2005).

Klimatiske forhold ser ut til å påvirke også hvor torskebestanden gyter. De tradisjonelle gytefeltene i Lofoten er etter de senere årenes oppvarming i stor grad erstattet av gytefelt utenfor Vesterålen og til dels kysten av Troms og Finnmark. Dette i motsetning til forholdene under de kalde årene i begynnelsen av forrige århundre, da mye av gytingen foregikk langs kysten ned til Møre (Sundby & Nakken 2008). Ved et varmere hav ventes det at torskebestanden i Barentshavet kan bre seg lengre øst og nord. Torsken vil kunne ha en utbredelse lengre nord enn nå og fortsatt ha sine gytefelt langs Nord-Norge (Loeng 2008b).

Polartorsk er en av de vanligste fiskeartene i Arktis. Den er det viktigste byttedyret for ringsel, hvithval og en rekke

sjøfuglarter, og utgjør rundt 10 % av dietten til den nord-østatlantiske torskebestanden. Polartorsk er en viktig del av økosystemet i isen, men det er kun en liten del av polartorskbestanden i Barentshavet som er tilknyttet is. Polartorsken er imidlertid en arktisk fiskeart, som er spesialtilpasset kaldt vann. Både dette, og eventuell konkurranse fra sørlige arter, kan føre til en forskyvning av polartorsk mot nord og øst. (Loeng 2008b).

En har ikke resultater som er direkte relevante for å kunne forutsi mulige effekter av forsuring på fisk. Fisk er trolig mindre sensitiv enn evertebrater, og det er ingen studier som viser at pH-reduksjonen tilsvarende den som er forventet i 2025 (pH rundt 8) vil gi dødelige effekter på noe livsstadium, verken akutt eller ved lengre tidseksposering. Redusert vekst er kun påvist ved betydelig lavere pH. Byttedyrene til viktige fiskearter er mer sensitive enn fisken, hvilket tilsier at eventuelle effekter på fisk først og fremst vil være indirekte i form av endring i mattilgang. En forventer imidlertid heller ikke å se effekter på dyreplankton ved det aktuelle pH-nivået (Golmen et al. 2008; Postmyr 2008). På lengre sikt vil konsekvensene av forsuring kunne bli så dramatiske for lavere trofiske nivå at også fiskebestandene blir rammet.

2.3.5 Sjøpattedyr

I en nylig utgitt og omfattende oversiktsartikkel over status hos verdens pattedyr peker Schipper et al. (2008) på at trusselen fra klimaendringer generelt er større for marine pattedyr enn terrestriske, og de er større i nordlige havområder enn de fleste andre steder i verden. Kunnskapsnivået er dessuten lavere for sjøpattedyr. Mange av sjøpattedyrene i arktiske økosystemer er spesielt tilpasset iskantmiljøet. Havis er livsviktig for disse dyrene og en vesentlig reduksjon eller total bortsmelting av is vil fundamentalt endre arktiske marine økosystemer slik vi kjenner dem i dag (Derocher et al. 2003). Som følge av klimaendringer er det sannsynlig at Barentshavregionens nærmere 3000 isbjørner vil bli færre allerede i løpet av de kommende tiår. Redusert kondisjon og lavere reproduksjonsrater er allerede påvist i områder hvor den isfrie perioden av året har blitt lengre, og skyldes også sannsynligvis en samtidig reduksjon i rekruttering hos ringsel i sørlige deler av isbjørnens utbredelsesområde (Loeng 2008b).

Andre istilknyttede marine pattedyr vil trolig følge samme mønster etter hvert som isutbredelsen avtar og byttedyrsammensetningen endres. Endringer i og reduksjon av utbredelsesområde, samt nedgang i bestandsstørrelse vil sannsynligvis bli utfallet for istilknyttede arter som ringsel, storkobbe, grønlandssel og klappmyss i nærmeste fremtid. Artene som yngler på is har til nå vist liten tilpasningsevne til dårlige isår. Ungeproduksjonen hos grønlandssel og ringsel har vært svært lav i de varme sesongene vi har hatt den senere tid, med dokumentert svært høy dødelighet hos grønlandssel (Loeng 2008b).

Utfordringene som sjøpattedyrene i utredningsområdet

er forventet å møte kan eksemplifiseres ved forholdene til ringsel på Svalbard. Ringselen har to hovedtaktikker i valg av storskala sommerhabitat, noen velger områder innaskjærs, mens andre migrerer helt til den sørlige grensen av havisen. Den forventede innskrenkningen i isutbredelse antas å svekke muligheten for den sistnevnte beitevandringstaktikken. Effektene på ringsel er avhengige av hvor og hvor langt isgrensen flytter seg (Freitas et al. 2008).

Vesterisen er en drivisodde som hvert år fryser til i gyren som dannes av Jan Mayen-strømmen. Både grønlandssel og klappmyss i Vesterisen har vært kommersielt beskattet og bestandene er trolig vesentlig mindre enn før beskatningen tok til. Felles for begge artene er at de føder unger på is som er i ferd med å brytes opp når dieperioden er over. Reduksjon i areal eller helt bortfall av Vesteris-odden kan medføre relokalisering av yngleområdene for grønlandssel og klappmyss og eventuelt en reduksjon i bestandsstørrelse fordi forplantning vil kunne foregå i et mindre egnet ishabitat. Vi ser allerede indikasjoner på dette, ungeproduksjonen for klappmyss i Vesterisen var i 2005 bare ca. 60 % av den i 1997. Dette kan neppe forklares med fangstene i perioden, men det kan være en effekt av redusert isareal og/eller endret iskvalitet (Postmyr 2008).

Frontdannelser er viktige beitehabitater for arter i det pelagiske systemet inkludert blant annet blåhval og finnhval, spekkhogger og grindhval, men også grønlandssel. Frontene er viktige på grunn av høy primærproduksjon, stor produksjon og biomasse av dyreplankton og planktonspisende fisk. Hovedbyttedyrene er her de store artene av dyreplankton, særlig krill og amfipoder og planktonspisende fisk. Endring av havets temperatur og sirkulasjonsmønster vil kunne ha dramatisk effekt på styrke og utbredelse av slike frontsoner. Arter som beiter på tildels større dyp vil sannsynligvis være mindre påvirket av endringer i frontsystemer i overflatelagene. Dette gjelder nebbhvaler som nebbhval og spissval, men også spermhval og til dels klappmyss (Postmyr 2008).

Kun tre hvalarter, hvithval, narhval og grønlandshval, finnes året rundt i disse farvannene og de tilbringer mye av tiden inne i isen eller ved iskanten. Hva som vil skje med disse i et varmere klima er noe mer usikkert da vi ikke helt forstår hva som knytter disse artene så sterkt til is. De er alle sentvoksende arter som blir svært gamle (alle over 100 år; grønlandshval over 200) og som produserer få avkom i løpet av livet. Et varmere klima vil da føre til økt konkurranse fra arter som reproducerer raskere, samt økt predasjon fra for eksempel spekkhoggere som forventes å opptre i større mengder i et varmere klima (Loeng 2008b).

De marine pattedyrartene som er sesonggjester i Barentshavregionen i dag vil sannsynligvis endre sine utbredelsesområder i nordlig retning, og de vil muligens tilbringe større deler av året i de nordlige områdene etterhvert som isen forsvinner og særlig hvis det blir en økning i primærproduksjonen i Barentshavet. Indikasjoner på slike trender er allerede til stede, hvor vi ser en stor økning i observasjoner av finnhval, helt nord for Svalbard, samt rapporter fra svært

høye breddegrader om andre mer sørlige arter som seihval og nise (Loeng 2008b).

2.3.6 Sjøfugl

Markante endringer i havklima opptrer naturlig på ulik skala i tid og rom, men disse skiftningene kan tenkes å bli både hyppigere og sterkere som følge av menneskeskapte klimabidrag. Sjøfuglene i regionen livnærer seg hovedsakelig av dyreplankton og små, pelagiske fiskearter som lodde, tobis (sil), sild og polartorsk. Forandringer i strømforhold og vannmassenes temperatur vil medføre endringer i byttedyrenes utbredelse og forekomst. Temperatur og vind påvirker fuglenes energibudsjett, og endringer i disse faktorene kan påføre fuglene større energikostnader (Christensen-Dalsgaard et al. 2008). Disse endringene vil sjøfuglene måtte tilpasse seg, med påfølgende endringer i antall og utbredelse (Loeng 2008b). Både direkte og indirekte effekter av klimaendringer på sjøfugl må forventes å forekomme sterkere eller hyppigere i ytterkanten av artenes utbredelsesområde. Når varmere eller kaldere vann påvirker mengde og fordeling av byttedyr, er det sannsynlig at sjøfuglartene vil fordele seg i samsvar med fordelingen av makrodyreplankton og fiskepopulasjoner (Postmyr 2008).

Selv om de fleste sjøfuglartene kan utnytte flere ulike fødeemner, vil de alltid ha fordel av å tilpasse seg de lokale ressurs- og miljøforholdene. De spesialiseringer dette innebærer kan imidlertid gjøre det vanskeligere for dem å tilpasse seg når store, raske endringer i vanntemperatur plutselig forandrer tilgangen på byttedyr (Irons et al. 2008; Christensen-Dalsgaard et al. 2008). Arter med et smalt nærings- eller habitatkrav er mest utsatte for forandringer (Durant et al. 2004).

Endring i klima antas å ha større påvirkning på hekkesuksess og rekruttering til bestanden enn på voksenoverlevelse, især hvis effektene primært er koplet til tilgang på mat. Endringer i byttedyrfaunaen i tid og rom vil i stor grad være bestemmende for hvilke konsekvenser klimaendringer vil få for sjøfugl, siden tilgjengelighet av byttedyr er en essensiell faktor for både hekkesuksess og overlevelse. Hvis næringsstilgangen er dårlig, eller bestandene av andre årsaker er stresset, vil det som oftest først gjenspeiles i endret hekketidspunkt, redusert tilstedeværelse av voksne fugler på hekkeplassen og dermed dårligere hekkesuksess. Hekkende sjøfugler er begrenset av avstanden mellom kolonien og områdene hvor de kan finne mat. For mange arter er det begrenset tilgang på egnede hekkeplasser, og sjøfuglene er avhengige av å ha et godt næringsstilbud i nærheten av disse. Hvis klimaendringene fører til større avstand mellom hekkeområdene og beiteområdene kan det få store konsekvenser for sjøfuglbestandene (Christensen-Dalsgaard et al. 2008).

Hekkesuksessen til sjøfuglene er videre avhengig av at hekkeinnsatsen og tilgangen på optimal mat er sammenfallende i tid. Det synes å være en klar sammenheng mellom tilgjengeligheten av 0-gruppe sild (ca. 5 måneder gammel), som driver nordover langs kysten etter klekking lengre sør, og hekkesuksess for lunde. Ved en «mismatch» mellom disse

hendelsene vil sildeveksten bli dårlig og sildelarver av god kvalitet blir mindre tilgjengelige for lunden i hekketida. I perioden 1978–2001 kunne faktisk sjøtemperatur og saltholdighet i kyststrømmen i mars måned alene predikere lundens hekkesuksess senere samme år med en treffsikkerhet på 84 % (Durant et al. 2006). Slike sammenhenger åpner for prediksjoner lengre frem i tid gitt bestemte klimascenarier. Sjøfugler som er avhengige av havis vil få redusert sin utbredelse, og i enkelte tilfeller forsvinne helt på lang sikt. Flere av de arktiske sjøfuglartene er avhengige av havis gjennom hele eller deler av sin livssyklus. Et eksempel her er ismåke, som henter næring i iskanten eller i råker inne i selve isen (Loeng 2008b).

Klimaeffektene vil også kunne være positive for flere arter. Dersom en reduksjon i utbredelsen av havis bidrar til økt biologisk produksjon, og områder som tidligere har vært dekket av is blir tilgjengelig for næringsøk, kan dette gi positive utslag for noen sjøfuglarter (Loeng 2008b). Det er forløpig ikke større grunn til å anta at endringer i UV-stråling vil ha særlig betydelige effekter for sjøfugl (Postmyr 2008). Likevel, dersom de lavere ledd i næringskjeden påvirkes vesentlig, vil dette etter hvert forplante seg høyere opp i næringskjeden, og dermed kunne ha indirekte effekt på sjøfugl.

2.3.7 Nye arter

I «Tverrsektoriell nasjonal strategi og tiltak mot fremmede skadelige arter» blir «fremmed art» definert som «en art, underart eller lavere takson, inkludert populasjon, som er blitt introdusert utenfor sitt nåværende eller historiske naturlige utbredelsesområde. Dette inkluderer alle deler, gameter, frø eller egg som kan overleve og formere seg». I samme strategi blir «introduksjon» definert som «forflytning ved menneskers hjelp, direkte eller indirekte, av en art utenfor artens naturlige utbredelsesområde. Forflytningen kan skje innenfor et land eller over landegrenser». I det følgende vil vi dessuten omtale invaderende arter, som på naturlig vis har utvidet eller endret sitt leveområde. En kan også tenke seg at arter som har blitt introdusert til for eksempel Nordsjøen kan spre seg videre til Norskehavet og Barentshavet på naturlig vis (sekundære introduksjoner).

Klimaendringer kan indirekte forårsake introduksjon av nye arter gjennom at nye områder åpnes for skipstrafikk, fiskeriaktivitet eller petroleumsaktivitet. I denne korte gjennomgangen går vi ikke videre inn på dette, men har fokus på effekter av klimaendringer på forflytninger uten direkte menneskelig innblanding.

Den viktigste naturlige transportvei for organismer inn i Norskehavet og eventuelt Barentshavet vil være den norske kyststrømmen som går fra indre Skagerrak, rundt Lindesnes, og nordover langs Norskekysten. Fremmede arter som har etablert seg lengre sør i Nordøst-Atlanteren eller Nordsjøen, vil kunne vandre inn i Norskehavet med kyststrømmen langs Norskekysten (slike tilfeller kan betegnes som sekundære introduksjoner), og vil dermed introduseres

samtidig som Nordsjø-arter ekspanderer sitt utbredelsesområde nordover (Postmyr 2008). Den sistnevnte utvikling er allerede godt dokumentert, blant annet av Perry et al. (2005) som viser at en rekke bunnfiskarter i Nordsjøen flyttet sitt utbredelsesområde nordover i løpet av en 25-års periode. Dette kan vel ikke kalles en invasjon, men illustrerer hvordan endringer i havtemperatur kan forandre den geografiske fordelingen av fisk og andre marine dyr.

Norskehavet påvirkes i stor grad av Atlanterhavsstrømmen (Golfstrømmen) som bringer forholdsvis varmt, salt vann til området. Fastsittende organismer har vanligvis en spredningsenheter (ofte egg- og larvestadium) som svømmer eller beveger seg fritt med vannet. Med en gjennomsnittshastighet på ca. 3,6 km/t bruker Atlanterhavsstrømmen ca. 3 måneder fra Karibia til Stadt. Det er dermed svært få spredningsstadier som har lang nok levetid til å kunne spres med Atlanterhavsstrømmen fra det vestlige Atlanterhav. Atlanterhavet fungerer dermed som en forholdsvis effektiv spredningsbarriere. I atlantisk vann vil det likevel være en del planktoniske organismer og fisk som skaffer seg næring underveis, og som kan følge Atlanterhavsstrømmen inn i Norskehavet. Disse vil typisk være tilpasset tropisk eller subtropisk klima, og har til nå i liten grad hatt mulighet til å etablere reproduserende bestander i våre farvann. Hvis tendensen til økende havtemperaturer langs Norskekysten fortsetter, kan vi imidlertid forvente at mer varmekjære arter vil kunne etablere seg som en naturbetinget utvidelse av utbredelsesområdet (Postmyr 2008).

Det kanskje mest kjente tilfellet av introduserte arter i norsk Arktis er utsettingen av kongekrabbe i Barentshavet. Kongekrabben har spredd seg langs kysten av Nord-Norge, og det er observert flere individer utenfor Tromsø. Gjentatte utsettinger av kongekrabben gjør det vanskelig å si hvor langt vest den har spredd seg, men det regnes som sannsynlig at utbredelsesfronten forårsaket av krabbens egnavandring og larvedrift i dag er ved Nord-Troms. Enkeltobservasjoner går helt sør for Rørvik i Nord-Trøndelag (2005), men eksemplarene er sannsynligvis utsettinger. Kongekrabben kan være habitat for en igle som er mellomvert for parasitten *Trypanosoma murmanensis*, og kongekrabbe kan derfor bidra indirekte til å smitte torsk, som er hovedvert. Det er stor usikkerhet knyttet til økosystemeffekten av kongekrabbe (Postmyr 2008). Kongekrabben er en kaldtvannsart og foretrekker temperaturer lavere enn 4 °C, men har til tross for det vandret inn i noe varmere vannmasser (Loeng 2008b).

Snøkrabbe ble for første gang observert i Barentshavet (langt øst) av russere i 1996 (Havforskningsinstituttet 2009). Senere har det vært flere observasjoner også utenfor Finnmark, men det er bare snakk om enkeltobservasjoner, ikke store kvanta. Effekten av klimaendringer på videre utbredelse av kongekrabbe og snøkrabbe er usikker, men siden snøkrabben foretrekker temperaturer på under 3 °C (Havforskningsinstituttet 2009; Loeng 2008b) vil den allerede med dagens temperaturer neppe spre seg sørover langs kysten av Nord-Norge i stort antall. Ytterligere temperaturøkninger

forventes å begrense vandringen sørover av både snøkrabbe og kongekrabbe.

Flere arter har etablert seg i, eller i grenseområdene til Norge (for eksempel japansk drivtang, japansk sjølyng, japansk spøkelseskreps og ribbemaneten *Mnemiopsis leidyi*). Potensielle konsekvenser av at slike allerede introduserte arter og eventuelle fremtidige introduksjoner sprer seg nordover med atlantehavsvann eller kyststrømmen, eller ved migrerende arter nordfra, er vanskelig å forutsi. Samtidig vurderes inn-treden av fremmede arter som en av de største truslene mot det biologiske mangfoldet i marine økosystemer, og det er således grunn til å frykte at slike sekundære introduksjoner vil kunne medføre konsekvenser for økosystemkomponenter, og i verste fall gi store konsekvenser (Postmyr 2008).

2.3.8 Effekter i et økosystemperspektiv

Det hersker betydelig usikkerhet knyttet til hvordan de enkelte komponentene i økosystemet vil respondere på klimaendringer. Denne usikkerheten blir ikke mindre når vi skal forsøke å forstå hva helhetsbildet blir. Det er nærmest umulig å forutsi hvordan økosystemet i detalj vil respondere på klimaendringer. Økosystemene i Barentshavet og Norskehavet har utviklet seg under og tilpasset seg de store naturlige klimavariasjonene vi så langt har hatt, og synes å tåle en god del før det blir dramatiske endringer. Uansett retningen i klimaendringene må vi regne med forandringer i balansen mellom artene, noen vil profitere mens andre får problemer, og jo sterkere og raskere endringer, dess større kan effektene bli (Loeng 2008b). Det forventes at generalister, som lettere kan tilpasse seg et endret byttedyrtilbud vil komme bedre ut av det enn mer spesielt tilpassede arter. Videre vil populasjoner på randen av artens utbredelsesområde kunne være spesielt følsomme. Dersom vi får en utvikling mot et gjennomsnittlig varmere hav, vil en i utgangspunktet forvente økt produksjon på alle ledd. Høyere temperatur kan videre antas å åpne for flere arter enn i dag. Vi kan få økt biologisk mangfold, men gjerne færre av hver art. I virkeligheten vil mer enn én påvirkningsfaktor virke samtidig på et økosystem og det vil være den kombinerte effekten det enkelte individ må forholde seg til. Det er derfor holdepunkter for å si at risikoen for en omfattende endring øker med annen menneskeskapt påvirkning i økosystemet samtidig med endringer i klimaet. Andre menneskeskapt påvirkningsfaktorer enn klimaendringer inkluderer overfiske, overgjødning, utslipp fra petroleumsvirksomhet og skipstrafikk, samt forurensning mer generelt. Den mest betydelige påvirkningsfaktoren i utredningsområdet i dag antas å være fiskeriene, og en kan derfor tenke seg at overfiske i kombinasjon med endringer i klima kan øke faren for en omfattende økologisk endring. Tidligere eksempler på dette kan være kollapsen i bestanden av norsk vårgytende sild på slutten av 1960-tallet, og kollapsen i torskbestanden utenfor østkysten av Canada på 1990-tallet (Loeng 2008b). For norsk-arktisk torsk er det mye som tyder på at rekrutteringen fra den gytebestanden en har i dag, som på grunn av størrelsesselektivt fiske består av yngre fisk fra færre årsklasser, er mer følsom for

klimasvingninger enn tidligere (Ottersen et al. 2006).

Organismer med tilhold nær havoverflaten vil være utsatt ved økt UV-stråling. Mange arktiske arter er tilpasset lave nivåer av UV-stråling. For eksempel har de ofte mindre beskyttende pigment enn arter i andre områder. Derfor kan de skadelige virkningene av eventuelt økt UV-stråling bli store. Det er fortsatt uklart i hvilken grad plankton tar skade av UV-nivåene i disse havområdene. Resultater av undersøkelser er så langt sprikende, men i og med at enkelte nyere effektstudier viser at moderat økte naturlige UV-nivåer ikke har negative konsekvenser for marine økosystemer, er det muligens først dersom for eksempel reduksjonen av havis fører til betydelige endringer i UV-nivåer at det vil oppstå negative effekter på arktiske marine økosystemer (Loeng 2008b).

Det er et samvirke mellom klimaforhold og miljøgiftbelastning som vil kunne ha en effekt på blant annet kondisjon, helsestatus og hormonstatus hos en rekke arter. I tillegg til den rene miljøgiftbelastningen vil arter som opplever økt stress fra både miljøgifter og klima være sårbare i forhold til infeksjonsorganismer og virus. Sjøfugler tærer for eksempel på fettlagene i perioder med dårlige miljøforhold (for eksempel næringsmangel), og miljøgiftene frigjøres således fra kroppsfett til blod. Frigjorte miljøgifter kan bidra til redusert hekkesuksess og overlevelse, med påfølgende bestandsnedgang. Pågående klima- og økosystemforandringer vil endre tilførselsbildet og vil trolig føre til et behov for å revidere etablerte modelleringsverktøy for opptak av miljøgifter og radioaktive stoffer i marine økosystemer, valg av referanseorganismer eller akseptable nivåer av miljøgifter i forhold til trygg sjømat (Loeng 2008b).

Klimafluktasjoner fører til betydelige variasjoner i populasjonsstørrelsen til arter i nordområdene. For eksempel kan store årsklasser av norsk vårgytende sild, som typisk oppstår i varme år, utøve et stort beitepress på loddeelarver. Dette vil redusere loddebestanden sterkt slik det har gjort ved flere anledninger etter at sildestammen ble gjenoppbygd (ved den vellykkede rekrutteringen i 1983) (Hjermann et al. 2004). Det er usikkert om det oftere vil oppstå store årsklasser av sild ved et varmere klima. Lodda er et svært viktig byttedyr for torsk, og svingninger i loddebestanden har betydning for torskebestanden. Klimaendringer kan også føre til store endringer i utbredelsesområder, som tidligere nevnt. Det stilles spørsmål om hva som vil skje dersom arter som kolmule og makrell oppholder seg vest i Barentshavet over lengre tid og beiter ned dyreplanktonet som kommer inn fra Norskehavet. Næringsgrunnlaget kan bli svekket for de andre artene som lever lengre øst og er avhengige av dyreplankton. Kanskje vil næringsgrunnlaget for bunnfiskartene som lever av de pelagiske artene bli svekket.

Iskanten er en annen naturtype som har stor betydning som habitat for en rekke arter, samtidig som det er et viktig område for pelagisk produksjon. Iskanten danner et eget «mini-økosystem». Under isen er det egne alger som vokser som tråder eller matter og på flerårgammel is kan disse trådene

av *Melosira arctica* bli et par meter lange og danne tykke matter. Veksten hos de algene som sitter fast i isen kan starte tidligere enn våroppblomstringen i det åpne pelagiske systemet, fordi de ikke er avhengig av temperaturbetinget stabilisering av overflatelaget. I den delen av året som havisen avgir smeltevann kan det ferske vannet stabilisere overflatelaget, noe som også påvirker produksjonen av planktonalger langs iskanten. Flere arter krepsdyr (særlig amfipoder) lever tilknyttet dette issamfunnet og er viktige byttedyr for fisk, fugl og sjøpattedyr. Et scenario med økende vanntemperatur og mindre areal av is som overlever sommersesongen vil medføre reduksjon av mengden flerårsis som strømmer inn i utredningsområdet fra nord. Dermed kan mengden is med den rikeste iskantflora og -fauna bli redusert eller forsvinne helt. Dersom isgrensen både sommer og vinter trekkes inn i polbassenget, vil trolig arter som grønlandssel, narhval og hvithval følge etter, mens arter som profiterer på iskant i nærhet av kyst eller grunne områder (storkobbe, ringsel, hvalross) kan bli negativt påvirket (Loeng 2008b).

2.3.9 Klimaeffekter på særlig verdifulle og sårbare områder

I forvaltningsplanene for Norskehavet og Barentshavet ble noen områder identifisert som særlig verdifulle og sårbare. Et særlig verdifullt område er et geografisk avgrenset område som kjennetegnes av en rekke faktorer som, vurdert ut fra biologiske kriterier, definerer områdets verdi. To hovedutvalgs-kriterier ble benyttet i arbeidet med forvaltningsplanene; viktighet for biologisk mangfold og viktighet for biologisk produksjon (Olsen & von Quillfeldt 2003; Ottersen & Auran 2007). I det marine miljø finnes slike områder ofte der det er spesielle oseanografiske eller topografiske forhold. Ved å identifisere disse spesielle områdene vil en også kunne identifisere områder med et spesielt rikt/unikt dyre- og planteliv. I tillegg tar marine organismer i bruk ulike habitater i ulike deler av sine livsforløp. Slike områder omfatter for eksempel gyte- og oppvekstområder, og er ikke alltid knyttet til en spesiell oseanografi eller topografi (Olsen & von Quillfeldt 2003; Vongraven 2004; Ottersen & Auran 2007).

Sårbarhet kan defineres ut fra en arts eller naturtypes evne til å opprettholde sin naturtilstand i forhold til ytre, ofte menneskeskapt påvirkning. Et områdes sårbarhet vurderes gjerne på bakgrunn av forekomsten av arter og leveområder som naturlig hører hjemme i området, og artenes produksjonsevne. For sårbarheten til en enkelt art har årstidsvariasjon, utbredelsesmønster, alder/livsstadium, atferd og organismenes biologiske egenskaper betydning. Sårbarheten vurderes ut fra hvilke effekter ulike påvirkninger kan ha på artens og bestandens utvikling og overlevelse. Enkelte arter kan være spesielt sårbare i perioder av året der arten lever konsentrert innen et begrenset område (Olsen & Auran 2008).

Både lokalisering og størrelse på særlig verdifulle og sårbare områder kan endre seg som følge av klimaendringer i og med at klima påvirker utbredelse og mengde av havis,

snøforhold, dypvannsdannelse, havnivå, temperatur, saltholdighet, vindmønster og surhetsgrad som i sin tur påvirker bestandsstørrelse, utbredelse, næringstilgang, introduksjon av arter med mer.

3 Terrestriske økosystemer

3.1 En introduksjon til økosystemene i Nord-Norge på Svalbard og Jan Mayen

3.1.1 Nord-Norge

Golfstrømmen gir et relativt mildt og fuktig klima langs kysten av Nord-Norge, mens innlandet har et tørt og betydelig kaldere klima. Landskapet er dominert av store fjellområder og lavereliggende daler og kyststrøk med skog. Nord-Norge ligger noe under landsgjennomsnittet med hensyn på vernet areal (Statistisk Sentralbyrå 2008), store arealer i Nord-Norge er like fullt relativt lite påvirket av menneskelige inngrep, og det meste (72 %) av de «villmarksliknende» områdene i Norge befinner seg i Norges tre nordligste fylker (Direktoratet for Naturforvaltning 2008).

Den klimatiske skoggrensa går ved 200–300 moh. ved kysten og ved 600–700 moh. i innlandet, i de sørligste delene av Nord-Norge (Moen 1998). De aller nordligste delene av Finnmark ligger nord for den klimatiske skoggrensen, og er dermed uten skog også ved havnivå. Områder nord for den klimatiske tregrensa kalles arktisk tundra. I det videre vil vi omtale disse områdene som en del av fjelløkosystemet (alpin tundra). Fjelløkosystemet dekker ca. 50 % av arealet i Nord-Norge (Nybø et al. 2009) og er dermed det økosystemet med klart størst utbredelse. Skogdekte områder dekker ca. 27 % av arealet, mens myrer dekker i overkant av 5 % (Statens Kartverk 2008). Bjørkeskog er den dominerende skogtypen i Nord-Norge (77 % av skogsarealet, Nybø et al. 2009) og har sin globale hovedutbredelse i dette området. I lavtliggende innlandsdaler og skjermede kyststrøk finner man barskog.

De viktigste herbivorer (plantespisere) i fjellet og bjørkeskogen i Nord-Norge er tamrein og smågnagerne. I løpet av tiåret 1998–2007 gikk reintallet opp med 36 % (Reindriftsforvaltningen 2008). Det er uklart hvor stor direkte effekt denne økningen i antall rein har hatt på økosystemet, men høyt beitepress kan ha en betydelig negativ effekt på både rekrutteringen av bjørk (Dalen & Hofgaard 2005), utbredelsen av lav (Tømmervik et al. 2004), tettheten av rype (Ims et al. 2007), og mer generelt på primærproduksjonen i fjellet (Bråthen et al. 2007). Det er også mulig at den betydelige økningen i reintallet kan ha gitt grunnlag for økte bestander av predatorer og åtseletere som jerv, ravn, kongeørn og gaupe.

Smågnagerne i nordområdene er kjent for sine sykliske bestandssvingninger, og deres betydning i økosystemet er særlig knyttet til de store tetthetene de oppnår i toppårene, såkalte muse- og lemenår. Ved høye tettheter kan de ha en betydelig

effekt på vegetasjonen (Rammul et al. 2007) og er viktige som byttedyr for en rekke små til middels store predatorer, deriblant snøugle, fjelljo, fjellvåk, røyskatt, snømus og fjellrev (Ims & Fuglei 2005). Siden begynnelsen av 1990-tallet synes smågnagersvingningene å ha avtatt i Nord-Norge og Nord-Finland, og store lemenår har ikke vært observert siden slutten av 1980-tallet. Bortfallet av betydelige smågnagerår synes å ha gitt en reduksjon i fjellrevbestanden i nord-Fennoskandia (Ims & Fuglei 2005) og etter all sannsynlighet hatt tilsvarende negative effekter i Nord-Norge på predatorer som er smågnagerspesialister (Killengreen et al. 2007). I tillegg til å ha en direkte effekt på predatorer som er smågnagerspesialister, er smågnagerne ved høye tettheter viktige byttedyr for mange predatorer som er mer generalister i matveien. Predatorer som rødrev vil ved høye smågnagertettheter i stor grad kunne livnære seg av mus. Dette kan gi bedret overlevelse for eggene og kyllingene til mange fuglearter som hekker på bakken i lemenår, og dermed føre til samvariasjon mellom smågnagersvingningene og bestandstettheten av for eksempel vadefugl og hønsefugl, som rype.

Målere er en tredje gruppe herbivorer som har stor betydning i Nord-Norge. Fjellbjørkemåler og liten høstmåler er sommerfugler som kan opptre i utbrudd med høye tettheter i bjørkeskogen og forårsake skogsdød gjennom gjentatt nedbeiting av bladverket over flere år. De siste årene synes disse artene å ha økt sin utbredelse og forekommer nå i hele Nord-Norge (Jepsen et al. 2008).

Elgen finner man i tilknytning til skogsområdene i hele Nord-Norge. Disse bestandene har vist en svak oppgang de siste 10 årene. De består generelt av dyr med god kondisjon, og forvaltes gjennom jaktuttaket. Jaktbare bestander av storfugl og orrfugl finner man særlig knyttet til barskogsområdene. I tillegg er det bestander av hare, lirype og fjellrype i Nord-Norge som tiltrekker seg et betydelig antall jegere i jakt sesongen. De siste årene har rypebestandene vært relativt små. Det er foreløpig uklart hva dette skyldes.

Av de store rovdyrene har både jerv, gaupe og brunbjørn levedyktige bestander i Nord-Norge. Disse bestandene er under et intensivt forvaltningsregime der bestandsstørrelsene reguleres gjennom utstedelse av fellingstillatelser. De store rovfuglene; havørna og kongeørna, har relativt store bestander i regionen. Disse bestandene er i liten grad manipulert av naturforvaltningen.

3.1.2 Svalbard

Svalbard er dekket av store fjellområder som er oppdelt av fjorder, daler og isbreer. Godt over halvparten av Svalbard er vernet som nasjonalparker og naturreservat. En arm av Golfstrømmen gir vestkysten av Svalbard sett i lys av bredgraden et relativt mildt klima med åpne fjorder om sommeren. Like fullt er selv de varmeste områdene på øygruppa preget av et arktisk klima, permafrost, og lav primærproduksjon.

Det arktiske klimaet og øygruppas isolerte lokalisering er nok hovedgrunnen til at det bare er to terrestriske pattedyr-

rarter som har sin naturlige utbredelse på Svalbard: svalbardreinen og fjellreven. I tillegg klarte østmarkmusa i forrige århundre å etablere seg i deler av Isfjorden på Spitsbergen (Fredga et al. 1990). Fuglefaunaen er dominert av trekkfugler, og svalbardrypa er den eneste terrestriske fuglearten som overvintrer på Svalbard. Særlig sjøfugl og gjess opptrer i store antall om sommeren, mens verken ugler eller rovfugl hekker på øygruppa (Kovacs & Lydersen 2006). Det er rapportert 1107 arter virvelløse dyr fra land og ferskvann på Svalbard (Coulson 2007). I jordbunnen er særlig spretthaler og midd tallrike.

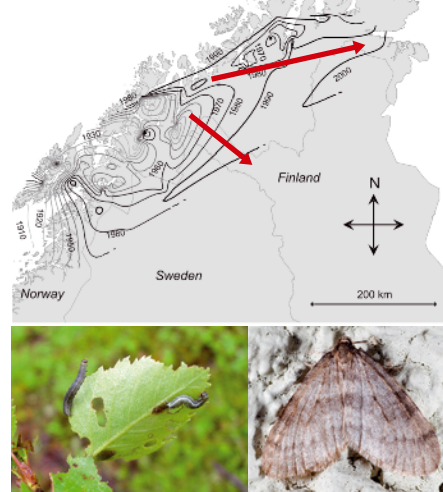
Drøyt 170 arter karplanter og 370 arter moser er kjent fra Svalbard i tillegg til om lag 600 arter av lav og 700 arter sopp (Norsk Polarinstitutt 2008).

I det terrestriske økosystemet på Svalbard er det bare svalbardreinen, fjellreven, østmarkmusa og svalbardrypa som inngår i «Miljøovervåkingen av Svalbard og Jan Mayen», MOSJ (mosj.npolar.no). Disse artene har alle livskraftige bestander på Svalbard, og Sysselmannen på Svalbard gir tillatelse til en begrenset jakt og fangst på fjellrev, rein og rype. I overvåkingsområdene på Nordenskiöld Land, Spitsbergen, har svalbardreinbestandene økt noe de siste 10 årene (Solberg et al. 2008; Tyler et al. 2008). Det er ingen tegn til at bestandene av svalbardrype, fjellrev og østmarkmus har forandret seg betydelig over de siste 10 til 20 årene. De tre gåseartene på Svalbard, hvitkinngås, kortnebbgås og ringgås, opptrer totalt i et meget stort antall i hekkesesongen og utsetter derigjennom Svalbards vegetasjon for et betydelig beitepress. Bestandene av hvitkinngås og kortnebbgås har vokst kraftig de siste tiårene (Kovacs & Lydersen 2006) som et resultat av bedre levevilkår i vinterhabitatene i Storbritannia, Danmark, Tyskland, Nederland og Belgia. Mangelfull overvåking innebærer at det ikke er datagrunnlag for å vurdere om plantesamfunnene eller sammensetningen av virvelløse dyr i økosystemet har forandret seg betydelig de siste 20 årene.

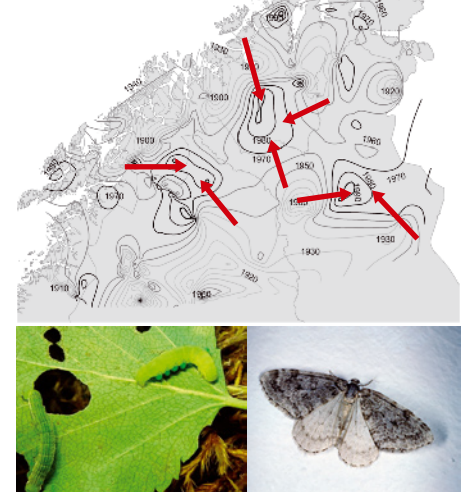
3.1.3 Jan Mayen

Jan Mayen ligger isolert i havet og kan i all hovedsak karakteriseres som upåvirket villmark. Klimaet er relativt midt om vinteren og kaldt med mye tåke om sommeren. I mai 2008 sendte Direktoratet for naturforvaltning forslag til Miljøverndepartementet om vern av så godt som hele øya (375 km²) gjennom opprettelsen av Jan Mayen naturreservat. Floraen og faunaen på Jan Mayen er relativt lite studert. Fjellreven var ved starten av forrige århundre tallrik på øya, men bestanden ble sterkt desimert av intensiv fangst og er nå utryddet. Rike omliggende havområder gjør at fuglefaunaen er dominert av sjøfugl. I tillegg er øya sannsynligvis viktig som raste- og hvileplass for trekkfugl. Plantegeografisk ligger Jan Mayen i overgangen mellom den mel-

a) Liten høstmåler



b) Fjellbjørkemåler



Figur 12. a) Liten høstmåler og b) fjellbjørkemåleren kan forårsake betydelige skader på bjørkeskogen ved at larvene beiter ned bladverket. De siste hundre år har disse artene økt sin utbredelse betydelig i respons til økt vintertemperatur og finnes i dag i hele Nord-Norge. Konturlinjene viser år for første rapporterte utbrudd, mens de røde pilene antyder i hvilke retninger artene har økt sin utbredelse. Liten høstmåler har beveget seg nordøstover og inn i innlandet, mens fjellbjørkemåleren har økt sin utbredelse inn i de kaldeste kontinentale områdene (Omarbeidet etter Jepsen et al. 2008. Foto av larver fra www.birchmoth.com, foto av voksne målere Arne C Nilssen).

lomarktiske og sørarktiske tundrasone. Det er registrert 70 karplanter, ca. 180 mosearter og 150 lavarter på Jan Mayen. Enkelte av disse er endemiske arter (Direktoratet for naturforvaltning 2007). Det er registrert 103 arter av terrestriske virvelløse dyr på Jan Mayen (Coulson & Refseth 2004).

3.2 Kjente effekter av klimavariasjon på økosystemene

Det er velkjent at klima er av stor betydning for arters utbredelse og tetthet. De fleste plante- og dyrearter har en grense for hvor lave temperaturer de kan tåle, de har fuktighetspreferanser i vekstsesongen, er avhengige av egnede snøforhold i vintersesongen og av at vinteren ikke blir for lang. Dette innebærer at et mildere klima gir en utvidelse av utbredelsen til mange arter inn i tradisjonelt kaldere områder, sørlige arter trekker mot nord og arter øker sin utbredelse oppover i høydegradienten. Både fjellbjørkemåleren og liten høstmåler har økt sin utbredelse inn i tradisjonelt kalde områder de siste hundre årene (Jepsen et al. 2008, fig. 12). Mens liten høstmåler har hatt en markant økning mot nord og øst, har fjellbjørkemåleren trukket inn i de kaldeste kontinentale områdene i Nord-Norge. Dette innebærer at vi nå kan oppleve målerutbrudd med betydelige effekter på bjørkeskogen over hele Nord-Norge. Begge artene overvintrer som egg, og har høy dødelighet ved vintertemperaturer under -35 °C. Det er derfor grunn til å tro at disse artene er mer avhengige av frekvensen av ekstremt lave vintertemperaturer enn variasjoner i gjennomsnittstemperatur. Særlig de siste 15 år har frekvensen av ekstremt lave vintertemperaturer gått ned i de kontinentale delene av Nord-Norge, og dette har vært foreslått som en hovedårsak til den betydelige økningen disse artene har hatt i sin utbredelse (Jepsen et

al. 2008). Målerlarvene er også avhengige av at bjørkeløvet spretter omtrent samtidig som de klekker fra egget, og klimaet om våren synes å være av avgjørende betydning for om disse to hendelsene er synkrone og derigjennom om man får betydelige utbrudd av målere (Jepsen et al. 2009).

Plantearter har gjerne krav til både temperatur og fuktighet i vekstsesongen. Gjennomsnittstemperaturen for juni til og med september brukes ofte som mål på temperaturen i vekstsesongen, og mens bjørk krever en gjennomsnittstemperatur på ca. 7,5 °C, krever furu og gran ca. 8,4 °C i vekstsesongen. Denne forskjellen mellom artene i temperaturkrav er en hovedgrunn til at bjørka danner skoggrensa de fleste steder i Norge. Likefullt er det verdt å merke seg at skoggrensa ikke utelukkende er bestemt av temperatur, men på lokal skala også i stor grad synes bestemt av snøforhold, grad av vindeksponering og beitepress (Dalen & Hofgaard 2005). Disse faktorene er en viktig grunn til at det ikke er funnet en klar sammenheng mellom variasjon i temperatur og tregrensa i alle områder hvor dette har vært undersøkt.

Økt sommertemperatur gir generelt økt primærproduksjon da de fleste karplanter som lever i kjølige habitater har økt vekst eller økt investering i reproduksjon ved økt temperatur. Særlig trevekster og gras synes å respondere positivt på høyere sommertemperatur (Dormann & Woodin 2002; Walker et al. 2006), og den generelle økningen i utbredelsen av vierkratt i Arktis de siste 100 årene synes å være en storskala respons til økte temperaturer. Økt vår- og sommertemperatur påvirker vekstsesongens start, blomstringstidspunkt og vekstsesongens lengde (Menzel et al. 2006). Positive effekter av økt temperatur på karplanter sammenfaller gjerne med negative effekter på moser og lav. En viktig grunn til dette er sannsynligvis økt konkurranse fra karplantene (ACIA 2005).

Mange insekter og andre virvelløse dyr vil også påvirkes sterkt av økte vår- og sommertemperaturer, da de gjerne utvikler seg raskere fra egg til voksent stadium ved høy temperatur. Dette kan gi sverming tidligere på året og økte bestander hvis økt temperatur medfører at de gjennomfører flere generasjoner per sommer. En slik positiv effekt av økt temperatur vil på den andre siden i en del tilfeller motvirkes av at varmen gir tørke. Spesielt jordbunnsfaunaen vil kunne være sensitiv til slike effekter på fuktigheten i jorda (Hodkinson et al. 1998). Mange virvelløse dyr krever også relativt høy temperatur for å være aktive. Reinsdyr er for eksempel særlig påvirket av mygg og brems på dager med høye temperaturer om sommeren (Hagemoen & Reimers 2002). Mange parasittiske arter hører til gruppen av virveløsedyr som det kan forventes responderer med hurtigere utvikling og overlevelse til smittestadiet ved økt temperatur. Av parasitter på rein er det godt kjent at utviklingen til de frittlevende stadier av parasittiske rundmark er temperatur-sensitive.

En tidligere vår har vist seg å påvirke mange fuglearter mot et tidligere trekk til hekkeområdene (Jonzen et al. 2006). I Tromsø-området har en rekke trekkfugler de siste årene

ankommet mer enn to uker tidligere enn det de gjorde på begynnelsen av 1980-tallet (Barrett 2007). Variasjonen i ankomstdato for trekkfuglene viser en klar sammenheng med gjennomsnittstemperaturen i februar–mai, og observasjonene synes dermed å være i overensstemmelse med det bildet man har internasjonalt. For mange av disse fuglearter er det viktig at hekkeperioden sammenfaller med perioder med god mattilgang til avkommet. Særlig er tettheten av insekter viktig for mange arter. Ettersom tidligere vår gjerne fører til en tidligere våroppblomstring av insekter, vil en tilsvarende forskyvning av hekkesesongen være viktig. Fuglearter som har klart å justere hekkesesongen etter når det er optimal mattilgang, har generelt klart seg bra de siste femti år. Bestander som ikke har klart å justere seg inn etter mattilgangen, har vist en nedadgående trend i samme periode (Møller et al. 2008)

Blant planter og dyr som har respondert på de siste ti års økte temperaturer, er den generelle trenden at vekst, reproduksjon og trekkadferd har blitt igangsatt tidligere på året enn det som har vært vanlig ved kjøligere klima. Sopp skiller seg fra denne trenden. Den generelle trenden for sopp er at de danner fruktlegemer seinere på sommeren og høsten som en respons på økt temperatur. Forklaringen på denne utviklingen ligger sannsynligvis i at mange sopp danner fruktlegeme om høsten først etter at de har opplevd et temperaturfall på minst 5 °C, og at slike temperaturfall nå kommer seinere på året (Kausrud et al. 2008).

I tillegg til temperatur er særlig snømengde og snøstruktur viktig for svært mange arter i kalde klimasoner. I hvilken grad nedbør kommer i form av snø eller regn er viktig for utbredelsen og bestandsstørrelsen til mange arter. Snø gir beskyttelse mot ekstreme værforhold, beiting og predatorer. I områder med et tykt snødekke finner man for eksempel at bjørka har en høyere tregrense. Dette kan skyldes en kombinasjon av økt jordfuktighet om våren og reduserte vintereffekter av vindeksponering, beitepress og lav jordtemperatur (Dalen & Hofgaard 2005). Blåbær er en art som foretrekker et beskyttende snødekke, og som kan få store skader ved direkte eksponering for perioder med mildvær vinterstid og påfølgende sterk kulde (Bokhorst et al. 2008). Et tykt snødekke er regnet som positivt for smågnagere, mens det gjennom en forsinket snøsmelting gir redusert vekstsesong for planter og virvelløse dyr og kan være negativt for rein som beiter på bakken og får redusert fødetilgjengelighet.

For mange arter er snøens struktur og spesielt grad av ising viktigere enn snødybden. Ising forårsakes av varmeperioder med smelting eller regn vinterstid. Ising kan forårsake plantedød ved isbrann, og ha store negative effekter på både jordbunnsfaunaen (Coulson et al. 2000) og reinsdyrs fødetilgang og derigjennom dyras reproduksjonsevne og overlevelse (Helle & Kojola 2008). Også for smågnagere er det en økende forståelse av at snøens struktur og ising er viktig for vinteroverlevelse og reproduksjon. Dårlige snøforhold på grunn av milde vintre synes å være en hovedårsak til at lemenår ikke har forekommet siden tidlig på 1990-tallet i

Sør-Norge (Kausrud et al. 2008), og kan være en hovedårsak til at smånagersvigningene også har avtatt i Nord-Norge (Ims et al. 2008).

Varmblodige predatorer synes i hovedsak å påvirkes av klima gjennom effekter på byttebestandenes størrelse. I tillegg vil tilgjengeligheten til byttedyrene kunne påvirkes av klimatiske forhold gjennom for eksempel effekter på snødekke. Et tykt snødekke vil kunne redusere tilgjengeligheten til smånagere for mange rovfugler og ugler, mens det kan tenkes å bedre forholdene for gaupe og jerv som jakter på rein. Som for mange andre fuglearter, kan store snøfall i hekkeperioden ha direkte negative effekter på hekkesuksessen til rovfugl.

3.3 Forventede effekter av klimaendringer på økosystemene

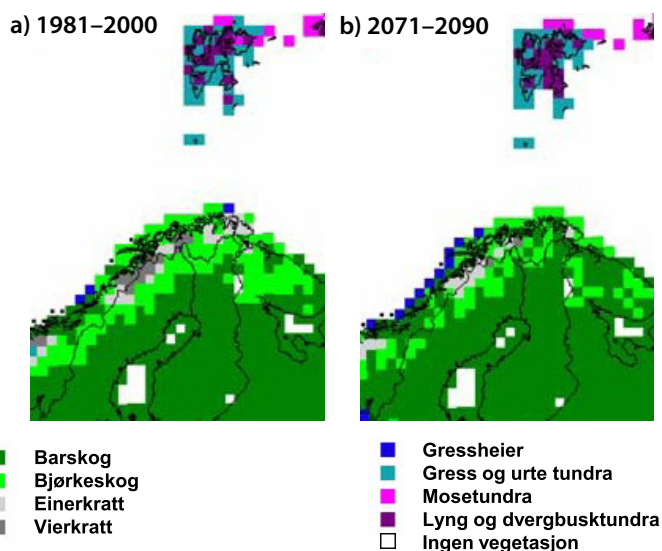
3.3.1 Generelle forventninger

En forandring mot et varmere og noe fuktigere klima er forventet å ha betydelige effekter på både biodiversitet, struktur og funksjon i nordnorske og arktiske økosystem (ACIA 2005; Ims & Fuglei 2005). De største forandringene forventes å skyldes effekter av økt temperatur med tidligere vår og senere høst, økt primærproduksjon og forandringer i arters utbredelse. Arter som i dag finnes lengre sør er forventet å trekke nordover, og arter er forventet å etablere seg høyere over havet og i kaldere innlandsområder enn der de finnes i dag. Tidligere vår vil medføre en tidligere sesongstart for plante- og dyreliv, og deres evne til å tilpasse seg slike sesongforandringer i næringstilgang vil være viktig for artenes bestandsutvikling. Avhengig av i hvilken grad nedbøren kommer som snø eller regn, vil økt nedbør kunne medføre større snødybde (i innlandsområder i Nord-Norge, Førland et al. 2009) eller redusert snødybde (som langs kysten av Nord-Norge, Førland et al. 2009). Leveforholdene til arter som er sensitive til snødybde, vil med andre ord forandre seg i positiv eller negativ retning avhengig av lokale temperaturforhold. I kalde områder forventes det negative effekter av mildværsperioder med reduserte snødybder og isdannelse på vinteren på mange viktige planter og herbivorer. Økt nedbør forventes også å gi økt tilførsel av nitrogen til de næringsfattige økosystemene i nordområdene (Hole & Enghardt 2008). Dette kan ha negative effekter på mose og lav og positive effekter på gress og trevekster. Totaleffekten av disse prosessene er vanskelig å forutsi da artene i økosystemene også er sammenbundne gjennom biotiske interaksjoner som konkurranse, predasjon og parasittisme. Disse biotiske interaksjonene vil kunne gi effekter som ikke samsvarer med den konklusjon som fremkommer ved analyse av de enkelte arters sensitivitet til klimavariasjoner. I tillegg vil også tilfeldigheter knyttet til hvilke arter som immigrerer fra sør og hvilke lokale arter som dør ut, innebære at overraskende utviklingsretninger må forventes.

3.3.2 Skogøkosystemene

Det er forventet at barskogen i løpet av de neste 100 år skal trekke nordover og opp i høyden som en respons på høy-

ere temperaturer. Dette kan gi grunnlag for økt skogsdrift i Nord-Norge. Tilsvarende forventes det at også bjørkeskogen vil trekke oppover og nordover, mens fjellområdene i all hovedsak vil reduseres i areal i Nord-Norge (fig. 13). En svakhet med disse modellstudiene er at økosysteminteraksjoner ikke er inkludert i analysen. Høyt beitepress fra rein vil muligens kunne stoppe fremrykkingen til bjørkeskogen (Dalen & Hofgaard 2005). I tillegg er det forventet at økt temperatur vil gi økt frekvens av målerutbrudd (Jepsen et al. 2008). Disse beiteeffektene kan føre til at bjørkeskogen i redusert grad blir i stand til å vokse inn i dagens fjellområder og kommer i skvis mellom fjellområdene og en ekspanderende barskog. Dette vil i så fall medføre en betydelig reduksjon og fragmentering av bjørkeskogsområdene.



Figur 13. Beregnet utbredelse av hovedvegetasjonstyper i a) år 1981–2000 og b) år 2001–2030. Modellen predikerer mer barskog, mer gress langs kysten, mindre kratt og mindre fjellområder for Nord-Norge, og mer gress og urter på Svalbard (Wolf et al. 2008).

Dyre- og plantearter knyttet til barskog kan forventes å få større utbredelse som en følge av økte barskogsområder. Arter som bjørn, elg, mår, ekorn, storfugl og orrfugl kan dermed forventes å øke sin utbredelse og bestandstørrelse i Nord-Norge. Rådyr finnes i dag i meget små bestander og er sannsynligvis begrenset av lange vintre og generelt mye snø i skogområdene (Mysterud & Østby 2006). Bedre vinterforhold for rådyra vil kunne gi en betydelig økning i deres utbredelse, og hjort vil sannsynligvis også komme inn i deler av Nord-Norge.

Arter knyttet til bjørkeskogen vil derimot kunne oppleve reduserte bestander ved en reduksjon og fragmentering av bjørkeskogen. Det er særlig blant lav, sopp og insekter man finner arter som i stor grad er avhengige av bjørkeskog. Av fuglearter er lirypa særlig viktig ettersom den er ettertraktet som jaktbart vilt. De fleste pattedyr som benytter fjellbjørkeskogen er også knyttet til barskogen eller fjellet. En reduksjon og fragmentering av arealet dekket av fjell og bjørkeskog vil kunne ha store negative effekter på bestandene av arter som jerv, rein, hare og lemen.

3.3.3 Fjelløkosystemet

Fjellområdene forventes å reduseres i areal i Nord-Norge (Wolf et al. 2008, fig. 13). Dette vil føre til økt fragmentering og reduserte bestander av arter knyttet til fjellet. Fjelløkosystemet synes allerede å være sterkt påvirket av klimaforandringene gjennom reduserte smågnagersvingninger og en medfølgende reduksjon av bestander av predatorer som er smågnagerspesialister. En videre utvikling mot mildere vinterklima vil kunne sementere denne situasjonen og gir lite håp for at bestandene av snøugle og fjellrev kan reddes uten en betydelig og kontinuerlig forvaltningsinnsats.

Reinen kan forventes å oppleve en negativ effekt av reduserte fjell og bjørkeskogområder. I tillegg vil mildere vintre kunne ha en negativ effekt på tilgjengeligheten av føde på vinterbeitene. Økt primærproduksjon på grunn av økte sommertemperaturer på beitene, vil på den andre siden kunne forårsake bedre beiteforhold lokalt i mange rein-distrikt, men også økte problemer knyttet til parasittisme, mygg og brems. Det er ingen grunn til å tro at reindriften vil gå til grunne som følge av den projiserte klimatiske utviklingen, men den romlige utbredelsen av reindriften og bestandsstørrelsen av tamrein vil sannsynligvis måtte justeres hvis barskogen gjør store innhugg i dagens fjell og bjørkeskogområder.

Vierkratt er viktige for en lang rekke arter i fjellet både som mat og for skjul. Vierkrattene er blant annet viktige for de jaktbare artene fjellrype og hare, spurvefugl og mange insekter. På global skala har vierkratt økt sin utbredelse i Arktis, men utviklingen ser ut til å gå i motsatt retning i Nord-Norge (Bråthen et al. 2007). Årsaken til dette er ikke klar, men kan godt skyldes høyt beitepress fra rein. Klimarelaterte forandringer og endringer i forvaltningen av reinbestandene kan i så fall forventes å ha effekter på vierkrattens utbredelse og derigjennom også på rype- og harebestandenes størrelse.

3.3.4 Svalbard og Jan Mayen

Svalbard er en relativt isolert gruppe øyer. Forandringer i biodiversitet vil derfor 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 (Coulson et al. 2002) og fugl har en spredningsevne som gjør det mulig for mange arter å invadere og etablere seg på fjerntliggende øyer ved forbedrede klimatiske forhold. Terrestriske pattedyr har derimot begrenset spredningsevne til fjerntliggende øyer. Dersom klimaforandringene fører til at eksisterende arter dør ut er det derfor liten grunn til å tro at nye arter kommer til, og deres økosystemfunksjoner kan dermed bli borte og føre til tap av økosystemtjenester som anses for viktige. Pattedyr som allerede lever på slike isolerte øyer vil på den annen side kunne være beskyttet mot konkurranse fra invaderende sørlige arter og derigjennom ha økt lokal overlevelsessannsynlighet. Det er for eksempel mulig at fjellreven vil forsvinner helt fra store deler av sitt nåværende sirkumpolare utbredelsesområde

som følge av klimatisk betinget konkurranse med rødrev og tap av lemenår. I fremtiden er det i så fall mulig at fjellrevbestander utelukkende blir å finne på isolerte øyer som Svalbard og Island (Fuglei & Ims 2008).

Plantesamfunnene på Svalbard forventes å øke primærproduksjonen som en respons til økte sommertemperaturer og en forlenget vekstsesong. Større områder vil bli dekket av vegetasjon, og dagens mosedominans vil bli redusert. Mosedekket i Arktis isolerer underlaget slik at jordbunnen blir kaldere. Ved redusert mosetykkelse blir det aktive jordlaget over permafrosten dypere. Dette innebærer at den forventede reduksjonen i mosedekket gir en økt temperatureffekt på jordbunnen, med økt mikrobiell aktivitet i jordsmonnet og ytterligere bedre vekstforhold for karplanter gjennom en forlengelse av vekstsesongen og mer næring tilgjengelig (Gornall et al. 2007). Økt artsdiversitet vil kunne fremkomme gjennom økt innvandring av sørlige plantearter, men det er liten grunn til å tro at klimaet vil gi grunnlag for at oppreiste trær og vierkratt vil klare å etablere seg på Svalbard i løpet av de neste 50 år (Wolf et al. 2008).

Reinsdyrbestandene på Svalbard forventes å påvirkes positivt av økt primærproduksjon (Aanes et al. 2002) og lengde på sommersesongen (Tyler et al. 2008), negativt av økt snødybde (Aanes et al. 2000; Solberg et al. 2001) og negativt av økt frekvens av mildvær og regn vinterstid som forårsaker ising (Kohler & Aanes 2004). I tillegg vil høyere temperaturer kunne føre til økt myggplage og at parasittiske brems klarer å etablere seg på øyene. Hvordan det totale utfallet vil bli for reinbestandene vil være avhengig av den relative størrelsen på disse negative og positive effektene. Den positive bestandsutviklingen man har sett i reinbestandene på Nordenskiöld Land de siste 10 årene, kan tyde på at den positive effekten av varme somre har vært stor, og ikke motvirket av økt hyppighet av ising på vinteren.

Fjellreven på Svalbard skiller seg fra bestandene i kontinentale deler av Nord-Norge ved at den ikke opptrer som en smågnagerspesialist, men i stor grad lever av marine arter som sjøfugl og sel i tillegg til rype, gjess og kadaver av rein. Det er liten grunn til å tro at fjellreven på Svalbard påvirkes sterkt av klimatiske forhold direkte. Eventuelle klimaeffekter vil derfor måtte komme gjennom effekter på byttedyrenes bestandsstørrelse og tilgjengelighet (Fuglei & Ims 2008). Særlig utviklingen i bestandene av de viktigste byttedyr om vinteren; rype, sel og rein, vil være av betydning. Vi har foreløpig for liten kunnskap om svalbardrypa til å kunne si noe om dens respons til klimaforandringer.

Klimaforandringer vil føre til forandringer i Jan Mayens plantesamfunn, men det er i dag for lite informasjon tilgjengelig til å kunne forutsi noe annet enn at utviklingen sannsynligvis vil gå mot at mer varmekjære arter vil øke sin utbredelse på øya.

3.3.5 Nedbrytning

Økt temperatur gir generelt økt nedbrytningshastighet og økt næringsomsetning i jorda. Dette favoriserer gress og

urter fremfor moser i arktiske områder og trevekster fremfor urter og gress lengre sør. I tillegg er fuktigheten i jorda og snødekke viktig for mikroorganismer, sopp og invertebrater som står for nedbrytningen. Plantesamfunnets sammensetning er av avgjørende betydning for nedbrytningshastigheter; moser brytes ned sakte, og blant karplanter brytes urter og gress ned relativt raskt, mens trevekster brytes ned sakte. Plantesamfunnets sammensetning er også av avgjørende betydning for mikroklima i jordsmonnet. Dette innebærer at den fremtidige nedbrytningshastigheten i jordsmonnet sannsynligvis vil være mer avhengig av klimatiske effekter på plantesamfunnets sammensetning enn de direkte effektene av klima på nedbrytningsprosessene (Wookey et al. 2009).

3.3.6 Parasitter

Som for andre organismer er klima av stor betydning også for parasittiske organismers utbredelse og tetthet, og kan påvirke dem gjennom flere mekanismer: 1) Klima har direkte effekter på parasitters utviklingshastighet og overlevelse på frittlevende stadier og i mange tilfeller også på parasittiske stadier. Det siste gjelder særlig for parasittiske stadier i planter, virvelløse og kaldblodige dyr, der vertens (dvs. arten som parasitteres) temperatur og metabolisme følger miljøvariasjonen i temperatur. 2) De fleste parasitter er avhengige av en spesifikk gruppe vertsarter, og i mange tilfeller lever de utelukkende på individer av bare en enkelt art. En klimaindusert generell økning i artsmangfold i et område vil derfor gjerne også øke antall parasittiske arter som kan etablere seg i området. 3) Smitte mellom verter er gjerne mer effektiv ved høye vertstettheter enn ved lave, og ofte må vertstettheten være over et visst nivå for at smitteeffektiviteten skal kunne opprettholde parasitten i vertsbestanden. Dette innebærer at klimatiske effekter på vertsbestandsstørrelser også vil kunne ha effekter på bestandenes infeksjonsnivå av parasitter og parasittenes artsmangfold. 4) Mange parasitter benytter blodsugende virvelløse dyr som vektorer for å spre seg fra en vert til den neste. I nordlige områder er vektorene gjerne mygg, knott eller flått, arter som ofte er mer aktive ved høye temperaturer enn lave. Varmere klima kan derfor øke smitteeffektiviteten til slike parasitter gjennom økt aktivitetsnivå hos vektorene. 5) Klimatiske forhold kan føre til redusert motstandsdyktighet hos verten og dermed økt infeksjonsfare. Ett eksempel på det siste er furuas knopp- og greintørkesopp som vanligvis angriper ved vinterskader på furu.

Det er ingen klare eksempler på at det siste hundre års trender i klima har ført til nye parasittarter eller økte parasittproblemer i Nord-Norge. Et mulig eksempel av ny dato er flåtten som også kan være bærer av den relativt farlige bakteriesykdommen borreliose. Flåtten har de siste årene økt sin utbredelse inn i Nord-Norge, muligens som et resultat av større hjortedyrbestander og at lengre somre har gitt en lengre vekstsesong.

Et eksempel der man kan forvente en klimarespons, er hjernemark hos rein. Denne er en rundmark som parasitterer reinsdyr og som kan føre til lammelser hos infiserte

kalver. Larvestadiene utvikler seg i snegler, og både utviklingshastigheten og overlevelsen til hjernemarkens larver er temperaturavhengig. Utbredelsen til de viktigste snegleartene for hjernemarken strekker seg i liten grad opp på fjellet. En klimaforandring mot høyere sommertemperaturer vil derfor kunne føre til høyere smittefare for reinen, særlig gjennom en høyere utviklingshastighet hos hjernemarkens larvestadier (Halvorsen 1987), og gjennom en økt utbredelse av sneglene den er avhengig av, ved utvidet skogdekke i Nord-Norge.

Det har vært spekulert på om forandrede trekkmonster hos fugl og nye arter trekkfugl vil øke sannsynligheten for at nye typer fugleinfluensavirus kommer til landet. Rabies og bendelmarken *Echinococcus multilocularis* som begge er infeksjonsorganismer som kan gi alvorlig sykdom hos mennesker, er også foreslått som kandidater for en invasjon av Nord-Norge, men vår epidemiologiske kunnskap om disse artene gir foreløpig lite grunnlag for å tro at de skal invadere som et resultat av de varslede klimaendringene.

3.3.7 Klimaeffekter på særlig sårbare vegetasjonstyper

Det er grunn til å tro at enkelte vegetasjonstyper er særlig sensitive for de forventede klimaforandringene. Palsmyrer er en slik vegetasjonstype som allerede er truet i Norge, og som man finner i områder med sporadisk permafrost. Palsmyrene gir levekår for en rekke sjeldne plantearter og enkelte fuglearter. De består av torvhauger med en kjerne av frossen torv og har norsk hovedutbredelse i Finnmark. Palsmyrene er dynamiske over tid og preges av naturlig vekst og kollaps. Ettersom palsmyrene er avhengige av permafrost i torvhaukene er de også direkte avhengige av lave temperaturer (Luoto et al. 2004). Økt temperatur og nedbør forventes å ha en direkte negativ effekt på palsmyrenes utbredelse (Nybø et al. 2009).

Kystlyngheiene er næringsfattige heilandskap dominert av røsslyng. Ved opphør av beiting eller brenning vil denne vegetasjonstypen gro igjen av trær og busker. I Nord-Norge finner man vegetasjonstypen langs kysten sør for Lofoten. Økt nitrogengjødsling ved fremtidige økte nedbørmengder kan være en trussel for naturtypen da økt gjødsling kan føre til at gressarter utkonkurrerer røsslyngen.

3.3.8 Nye arter

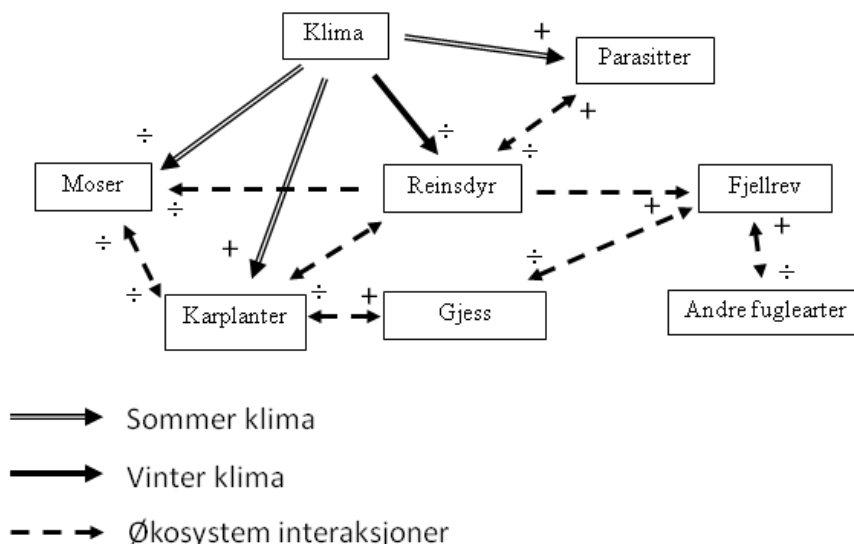
De fleste nye arter som har klart å etablere seg i Norge er arter som naturlig har en mer sørlig utbredelse. For slike sørlige arter vil et varmere klima i Nord-Norge kunne gi en økt sannsynlighet for at de vil utvide sin utbredelse til også å omfatte Nord-Norge. I tilfeller der klimaet i dag er begrensende for etablering, vil et mildere klima også åpne for at nye arter som innføres kan komme til å etablere seg som ville bestander. Hvilke nye arter som vil etablere seg eller øke sin utbredelse er uklart, men potensielle kandidater er iberiaskogsneglen og kjempebjørnekjeks (Gjershaug et al. 2009).

3.3.9 Effekter i et økosystemperspektiv

Klima er ikke den eneste faktoren som påvirker økosystemene. Generelt regnes menneskers forvaltningspraksis av naturen for å være den ytre faktoren som er av størst betydning for økosystemenes sammensetning og funksjon. Økosystemene påvirkes i særlig grad gjennom menneskers høsting av ressursene og bruk av arealene ved skogbruk, jordbruk og utbygging av områder for bolig og infrastrukturformål. Endringer i naturforvaltningspraksis vil kunne ha store konsekvenser for økosystemene og har potensial til både å redusere og øke betydningen av klimainduerte forandringer. Dette bidrar til å gjøre det vanskelig å forutsi hvordan økosystemene vil arte seg i fremtiden. På den andre siden vil økt kunnskap om hvordan forvaltningsstrategier påvirker økosystemene være av stor verdi hvis det fremkommer at de kan redusere eventuelle uønskede effekter av klimaendringene. I Nord-Norge er det grunn til å tro at forvaltningsstrategiene for de jaktbare dyrebestandene, rovviltet, reindriften og skogbruket er de faktorene som har størst økosystemeffekt, og derfor burde forstås bedre.

Ingen områder er i dag upåvirket av mennesker. Selv i områder der det ikke er høsting eller utbygging, vil langtransportert forurensning kunne påvirke økosystemene. Svalbard representerer et område der menneskepåvirkningen regnes som minimal, og der vi mener vi har en begynnende forståelse av de viktigste økosystemprosessene i det terrestriske miljø. Klima regnes som den viktigste ytre påvirkningen i dette økosystemet. Like fullt er vi fortsatt uten tilstrekkelig kunnskap til å komme med klare kvantitative eller kvalitative prediksjoner på hvordan økosystemet vil reagere på klimaforandringene. Dette skyldes i stor grad at forskjellige aspekter ved klima har forskjellige og til dels motstridende effekter på økosystemet (fig. 14). Et sommerklima med økte temperaturer er forventet å ha en positiv effekt på reinbestanden gjennom økt karplanteproduksjon og lengre vekstsesong. Samtidig vil mildere vintre kunne gi økt frekvens av ising på vinterbeitene og derigjennom ha en negativ effekt på reinbestanden. Disse to motvirkende sammenhengene innebærer at man både trenger detaljert kunnskap om sammenhengen mellom klima og ising på beitene, og kvantitative estimater på den relative effekten av økt karplanteproduksjon og økt frekvens av ising for å kunne estimere utfallet av klimaforandringene for reinbestanden. I tillegg er det naturlig nok flere klimaeffekter og økosysteminteraksjoner i denne enkle økosystemmodellen som gir indirekte effekter av klima på reinbestandene. Med mindre man kan anta at disse andre effektene er små, er en betydelig kvantitativ innsikt nødvendig for å evaluere klimaeffektene i selv de enkleste økosystem.

I overnevnte eksempel (fig. 14) antas artsammensetninger i økosystemet å være konstant. Dette er en urealistisk antagelse ettersom artsammensetningen i økosystemet er forventet å



Figur 14. En enkel økosystemmodell for det terrestriske økosystemet på Svalbard med fokus på reinsdyra som den sentrale plantespiser. De forventede klimaforandringene kan gjennom økte sommertemperaturer og utvidet sommersesong ventes å ha direkte positive effekter på biomassen av karplanter og infeksjonsnivået på reinens parasitter, og negative effekter på mosedekket. Reinsdyra vil kunne oppleve negative effekter av mildere vintre gjennom økt frekvens av nedisete beiter. Økt karplanteproduksjon gir positive effekter på reinsdyrbestandene, mens økt parasittbelastning har negative effekter. Moser påvirkes negativt av både økt karplanteproduksjon og av reinsdyr, mens karplantene er påvirket negativt av rein- og gåsebeiting og av økt mosedekke. Fjellreven spiser både gjess, andre terrestriske fuglearter og åtsler av rein og kan derigjennom ha negative effekter på fuglebestandene. Reinbestanden er forventet å påvirkes negativt av både vinterklima, og indirekte av sommerklima via parasittene samtidig som de er forventet å påvirkes positivt av sommerklima gjennom økt karplanteproduksjon. Forventet utfall av klimaendringene vil derfor avhenge av den relative styrken på de forskjellige klimaeffektene og interaksjonene i økosystemet (A Stien, Norsk institutt for naturforskning).

forandre seg over tid både som et resultat av klimaendringer, og som et resultat av klimauavhengige introduksjoner. Det er velkjent at introduksjoner av nye arter kan ha betydelige, ofte uforutsigbare, effekter på økosystem.

4 Limniske økosystemer nord for polarsirkelen – status

4.1 Forekomst av vann og vassdrag nord for polarsirkelen

Nord-Norge har om lag en tredjedel av samlet vannareal av innsjøer og elver i Norge. Særlig Finnmark med sine 62 000 innsjøer og Nordland med nærmere 30 000 innsjøer, er de to mest ferskvannsrrike fylkene i Norge. Området som omfattes av denne rapporten har flere enn 95 000 innsjøer og mer enn 75 000 km med elvestrekning. En relativt liten andel av vannarealet nord for polarsirkelen er påvirket av vannkraft, drikkevannsuttak, jordbruksvanning, dreneringer, gjenfyllinger osv. Forurensning i form av tilførsel av næringsstoffer har også svært liten betydning. Totalt sett er de fleste vann og vassdrag nord for polarsirkelen lite forurenset og har meget god vannkvalitet.

Store deler av Svalbard (76–81 °N; 61 000 km²) er dekket av isbreer, og mindre enn 400 km² (0,6 %) av øygruppen

er dekket av ferskvann. De dominerende vannforekomstene er grunne (ofte under 1–2 m) dammer og småvann som er dannet av permafrost. Disse har ofte en høy produksjon av insekter og krepsdyr, og er viktige biotoper for fugl. Slike systemer har vist seg svært sårbare for opptining av permafrost (Smith et al. 2005). Det finnes anslagsvis et par hundre innsjøer på øyriket, og de to største innsjøene, Femmilssjøen (6 km²) og Linnévatnet (4 km²), er henholdsvis ca. 80 og 35 m dype. På grunn av permafrosten er elvene åpne bare et par måneder i året. Likevel er elvene åpne lenge nok til at anadrom fisk (sjørøye) kan vandre mellom hav og innsjøer sommerstid. Anadrom røye finnes i et par titalls vassdrag på øyriket, mens mer enn 150 innsjøer har stasjonærrøye. Bjørnøya (74 °N) er bare 178 km², men har hele 740 innsjøer som dekker 11 % av landarealet. Bortsett fra Ellasjøen som er 0,7 km² og 40 m dyp, er de fleste innsjøene små og svært grunne. På Jan Mayen er Nordlaguna (1,5 km² og 40 m dyp) eneste permanente innsjø. Det finnes noen få andre innsjøer/dammer, men de tørker ut sommerstid. Verken Bjørnøya eller Jan Mayen har vassdrag med anadrom fisk.

4.2 Artssammensetning og biodiversitet

Det relativt høye antallet innsjøer og elver nord for polarsirkelen skyldes i all hovedsak utallige skuringer av ismasser og smeltevann, gjennom flere titalls med istider de siste 2–3 millioner år. Den siste istida varte i ca. 100 000 år, og områdene nord for polarsirkelen ble stort sett isfrie bare for om lag 10 000 år siden. Artssammensetningen av for eksempel ferskvannsfisk nord for polarsirkelen henger nøye sammen med innvandringen etter siste istid. De saltvannstolerante fiskeartene røye, ørret, laks og trepigget stingsild vandret inn fra vest, mens østfiskene som sik, abbor, gjedde, lake, harr, ørekyte og flere, vandret inn fra Ancylussjøen, en ferskvannssjø som på denne tiden omfattet nesten hele Østersjø-området. I tillegg har det foregått en utstrakt antropogen spredning av fisk. I Troms og Finnmark er anslagsvis halvparten av innsjøer med røye og/eller ørret basert på utsettinger. Andre ferskvannsorganismer vandret i hovedsak inn fra øst, samt at de kan være spredt via fugler og landdyr, samt med luftstrømmer. Den lave artsdiversiteten nord for polarsirkelen skyldes en kombinasjon av relativt begrensede spredningsmuligheter etter siste istid, artenes miljøkrav, samt lokalitetenes «krevende» miljøforhold. De mange permafrostdemmede småvannene mangler normalt fisk fordi de bunnfryser om vinteren.

Svalbard, Bjørnøya og Jan Mayen var også nediset under siste istid, og representerer noen av de mest isolerte øyene i Polhavet. Innvandring av ferskvannsorganismene har derfor skjedd etter istida, som på fastlandet. I hovedsak via havet, men også via luftstrømmer. Den sterke isolasjonen, i kombinasjon med det arktiske klimaet, har gitt ferskvannslokaliteter med svært få arter av plankton og bunndyr. Røye er eneste ferskvannsfisk med bestander i ferskvann. Faunaen i innsjøene er stort sett begrenset til hjuldyr, bjørnedyr, små detritusetende virvelløse dyr, noen få krepsdyrarter, fåbørstemakk, samt relativt mange fjærmyggarter. Den eneste

vårfluearten i dette området (*Apatania zonella*) finnes bare i noen få innsjøer. Hoppekreps, som er mellomvert for bendelmakk, finnes i de fleste innsjøene. Vannlopper og skjoldkreps beites raskt ned av røya og finnes stort sett kun i fisketomme dammer og i innsjøer der røyebestandene har lav tetthet. Steinfluer, øyenstikkere, knott, vannkalver osv., som finnes i de fleste innsjøene i Nord-Norge, er ennå ikke påvist på Svalbard, Bjørnøya eller Jan Mayen. Marflo er heller ikke funnet på Svalbard (Svenning 2000).

Den nordvestre delen av Svalbard har muligens en litt spesiell istidshistorie. Hele øyriket har nok gjentatte ganger vært dekket av mektige, opptil kilometer tykke isskjold som presset jordskorpa kraftig ned. En del av disse isdekkene har trolig hengt sammen med den skandinaviske innlandsisen. Den siste istida var mindre omfattende og i en relativt mild periode smeltet mye av isen bort. En del områder på nordvestre Spitsbergen ble helt isfrie under denne perioden og har ikke hatt noen landheving siden. Dette betyr at avsmeltingen og danningen av innsjøer og vassdrag på Nordvest-Spitsbergen (for eksempel Danskøya) kan ha skjedd for mer enn 100 000 år siden (Svenning 1993), altså mange titusener av år tidligere enn vassdragene på resten av øyriket og på fastlandet (ca. 10 000 år siden). En reise fra vassdrag med røye på fastlandet til røyevassdrag på Svalbard, kan dermed også være en reise tilbake i historien om røyas utvikling. Vi må anta at vår eneste høyarktiske ferskvannsfisk, røya, overlevde istidene under forhold som ligner på det vi har på Svalbard i dag. Dette kan også bety at svalbardrøya har andre arveegenskaper enn dem vi finner hos fastlandsrøye, samt at røyebestander i isolerte bestander på Nordvest-Spitsbergen er spesielt godt egnet til å studere økologiske effekter av seleksjons- og evolusjonsprosesser.

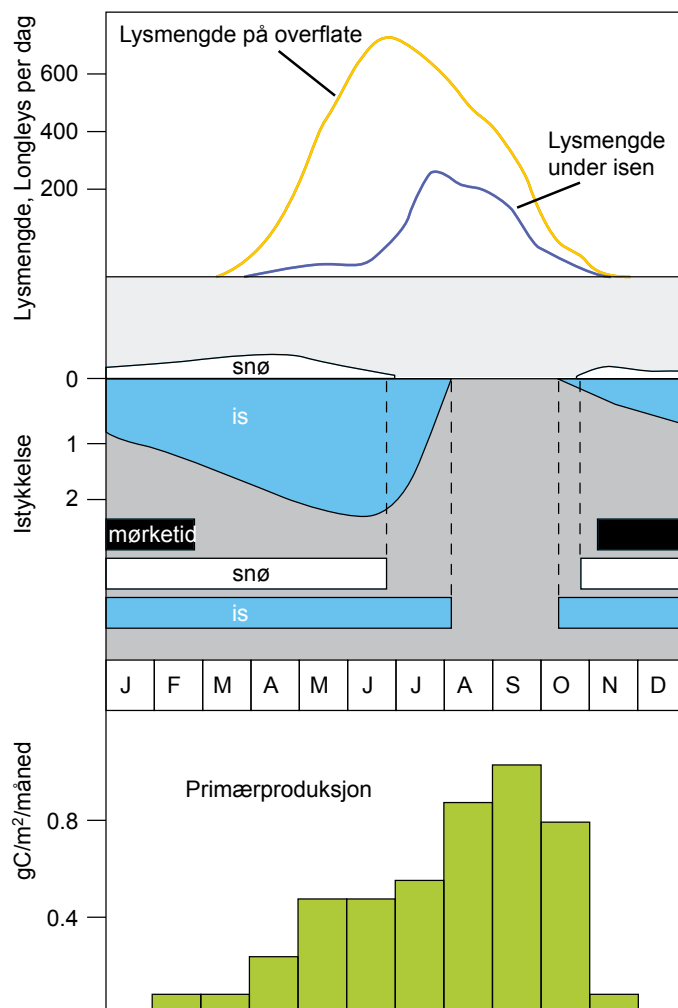
4.3 Klassifisering av innsjøsystemer og fysisk påvirkning

Påvirkning av fysiske faktorer som temperatur, nedbør og solinnstråling, er svært forskjellig i innsjøsystemer som ligger ved polarsirkelen (66 °N), sammenlignet med høyarktiske innsjøer på nordspissen av Svalbard (81 °N). I flere av innsjøene på Nordaustlandet tiner ikke isen hvert år og vanntemperaturen sommertid ligger som oftest mellom 0 og 4 °C. De fleste innsjøene på Svalbard og Bjørnøya er likevel isfrie i ca. to måneder i året, og vanntemperaturen stiger opp mot 6–7 °C på sensommeren. Næringstilførselen er svært lav i de fleste høyarktiske innsjøene. Kystnære innsjøer i nordre Nordland og Sør-Troms derimot, kan være isfrie fra midten av mai til midten av november (6 måneder), og vanntemperaturen i overflatevannet kan komme opp i 20 °C på sensommeren. Innsjøer i Nord-Troms og Finnmark, og/eller innsjøer som ligger særlig høyt til fjells (alpinsjøer), har mye til felles med typiske «Svalbard-sjøer». Mange av disse innsjøene har tykk is som ligger i 8–9 måneder. I motsetning til innsjøer på Svalbard, opplever imidlertid innsjøene på fastlandet vesentlig større nedbørmengder, noe som påvirker både produksjonsforholdene i innsjøen og tidspunktet for isgang (Borgstrøm 2001).

Innsjøsystemer i høyarktiske områder (som for eksempel på Svalbard) er stort sett karakterisert ved lite nedbør, tykk og klar is, kort isfri periode, relativt lave sommervanntemperaturer, lav næringsstilførsel, relativt lav primærproduksjon, lav biodiversitet og har røye som eneste fiskeart. Istykkelsen varierer fra 1–2,5 m (Stonehouse 1989), men sammenlignet med for eksempel høyfjellssjøer i Nord-Norge, er isen i arktiske innsjøer mer gjennomsiktig (klar is). Dette skyldes lite nedbør, samt at lufttemperaturen under innfrysingen er lav. Dermed blir isen kompakt uten innfrosne snølag (stålis). Små nedbørmengder gjennom resten av vinteren gjør at det legger seg lite snø oppå isen. Totalt sett fører dette til at en vesentlig større andel av solstrålene trenger gjennom is- og snølaget. Eksempelvis vil bare om lag 15 % av sollyset trenge gjennom 25 cm tykk is med innfrosne snølag, mens nærmere 75 % av sollyset trenger gjennom dobbelt så tykk (50 cm) klar is i en arktisk innsjø (Welch & Kalff 1974). Tykkelsen på snølaget oppå isen har enda større betydning. Dersom det ligger 25 cm nysnø eller 5 cm «gammel» snø på isen, vil dette redusere lystransmisjonen med hele 90 % (Hand & Lundquist 1942).

De arktiske områdene har relativt lange perioder med sollys i løpet av året. På Svalbard er det mer enn 8 timers lys gjennom døgnet allerede fra 10. februar. Fra 20. april til 20. august (4 måneder) er det lys døgnet rundt (midnattssol), mens det er totalt mørke i fire av vintermånedene. Til tross for at innsjøene er islagte omlag 10 måneder i året, vil klar is og lite snø føre til at mye av lyset trenger gjennom isen og dermed bidrar til en relativt høy primærproduksjon under isen. I Char Lake i Canada er det beregnet at opptil 80 % av den årlige primærproduksjonen faktisk skjer mens innsjøen er islagt (fig. 15). I innsjøer som ligger i nedslagsfelt med betydelige isbreer (bresjøer), vil økt solstråling om sommeren ofte føre til at store mengder breslam føres ut i innsjøene. Dette vil redusere siktbarheten i innsjøen, mye av lysinnstrålingen reflekteres/resorberes, og følgelig vil primærproduksjonen avta kraftig. I tillegg vil, paradoksal nok, den økte solinnstrålingen på varme sommerdager også føre til at vanntemperaturen avtar på grunn av økt tilførsel av kaldt smeltevann. I den brepåvirkede Femmiljøen på Spitsbergen, Svalbard, blir derfor vanntemperaturen sjelden over 3 °C i løpet av den isfrie perioden.

I de mange grunne systemene er en vesentlig del av årsproduksjonen knyttet til bunnlevende organismer. I de nordlige/alpine innsjøene på fastlandet faller det vesentlig mer nedbør enn på Svalbard. Dette fører til at isen blir mer innblandet med snø og mindre gjennomsiktig. I tillegg vil de relativt større nedbørmengdene i form av snø i høyfjellet, legge seg oppå isen og reflektere det meste av innstrålingen. Dermed reduseres produksjonspotensialet i innsjøen kraftig, samt at tidspunktet for isgang forskyves. I en innsjø på Hardangervidda er det i en årrekke påvist en svært god korrelasjon mellom snømengden i april og tidspunktet for isgang (Borgstrøm 2001), noe som trolig også vil gjelde for mange innsjøer i Nord-Norge. I de aller sørligste innsjøene i landsdelen, og spesielt i innsjøer nær kysten, vil imidlertid



Figur 15. Figuren viser sammenhengen mellom lysinnstråling, istykkelse, snømengde og primærproduksjon i en arktisk innsjø. Selv om isen er 1,5–2 m tykk, fører lav temperatur og lite nedbør (snø) til at isen ofte er svært gjennomsiktig. Dermed vil en relativt stor andel av lyset trenge gjennom isen og bidra til høy primærproduksjon også vinterstid. I Char Lake i Canada kan opptil 80 % av den årlige primærproduksjonen skje mens innsjøen er islagt (Rigler 1978). Bare noen få centimeter med snø på isen kan imidlertid bidra til dramatiske reduksjoner i lystransmisjonen og dermed også primærproduksjonen i arktiske innsjøer (Omarbeidet etter Rigler 1978).

nedbøren i hovedsak falle som regn også om vinteren. Selv om innstrålingen gjennom isen avtar på grunn av snøfall under innfrysingen, vil det legge seg mindre snø oppå isen, og en unngår derfor at isen blir liggende så lenge utover våren. I det nordligste fylket, Finnmark, vil både nedbør og lufttemperatur avta jo lengre østover en kommer. De mer snøfattige og kalde områdene på østvidda i Finnmark, er derfor til en viss grad sammenlignbare med de høyarktiske områdene for eksempel på Svalbard.

Årlig produksjon i innsjøer i Nord-Norge og på Svalbard, varierer følgelig med klimatiske forhold, og da først og fremst med temperatur og snømengde. Det er likevel mangel på næringsstoffer (og ikke sollys og temperatur), som er den antatt viktigste enkeltfaktoren som begrenser primærproduksjonen i arktiske innsjøer (Stonehouse 1989). Unntaket er innsjøer som mottar store mengder næringsstoffer (gjødsel) utenfra. Et godt eksempel er Ellasjøen på Bjørnøya, hvor flere tusen sjøfugl (alkekonge) hekker i fuglefjell kloss inntil innsjøen eller bruker innsjøen som

badeplass (krykkje). Fuglene som lever av marin fisk og marine krepsdyr i sjøen utenfor, tilfører dermed Ellasjøen store mengder organisk «marint» materiale i sommerperioden (Christensen et al. 2008). Primærproduksjonen i Ellasjøen er derfor vesentlig høyere enn i andre arktiske innsjøer som ikke får en slik ytre tilførsel av marint organisk materiale.

For flere områder på Svalbard har mindre ferskvannslokalteter gjennomgått en eutrofiering på grunn av økte bestander spesielt av kvitkinngås og dverggås som gjødsler vann og nedbørfelt (Van Geest et al. 2007). Dette har sammenheng med forbedrede overvintringsforhold i Europa og muligens også lengre vekstsesong på Svalbard.

4.4 Forventede effekter av klimaendringer i limniske økosystemer

4.4.1 Generelle fysiske endringer

I de neste 100 årene forventes en generell økning av både temperatur og nedbør og dette vil ha betydning for forholdene i det limniske økosystemet (Prowse et al. 2008). De viktigste endringene som har betydning for ferskvannssystemene er gitt i tabell 1. Effektene av klimaendringene på arktiske innsjøsystemer vil trolig bli svært komplekse, med et batteri av mulige direkte og indirekte årsakssammenhenger. Økningen i temperatur og nedbør vil blant annet påvirke parametre som vanntemperatur, permafrost, isykkelse, iskvalitet, lengden av islagt periode, avrenning, flompåvirkning, brepåvirkning, næringstilførsel osv. De viktigste fysiske effektene på limniske økosystemer vil trolig være knyttet til 1) varigheten av den isfrie perioden (tidspunkt for isgang og islegging) og 2) sommervanntemperaturen. Det er sannsynlig at de fleste innsjøene langs kysten av Nord-Norge vil få en lengre isfri periode, samt økt vanntemperatur sommerstid. For de aller østligste innsjøene i Finnmark, samt innsjøer i fjellet, kan en tenke seg et scenario der økende snømengde kompenserer for økt temperatur, og dermed bidrar til at isen på innsjøene faktisk tiner senere (Borgstrøm 2001). Det samme kan komme til å gjelde enkelte innsjøer på Svalbard. Den generelle oppfatningen at de kommende klimaendringene vil gi et varmere og mer isfritt klima for våre vassdrag, er derfor ikke noen selvfølge. Det forventes at de fleste større elvene i Nord-Norge vil fryse senere, få tidligere isgang og større flomnivåer. Dette betyr redusert isdekke og økning av vanntemperaturen. På Svalbard kan dette utvikle seg annerledes. Her er elvene åpne bare et par måneder i året. Dette skyldes i stor grad kombinasjonen av lite nedbør og at grunnen er permanent frosset. Tidspunktet for når elvene tørker ut er ofte direkte avhengig av lufttemperaturen utover høsten, som igjen påvirker avrenningen fra isbreer i nedslagsfeltet. Økt temperatur utover høsten vil trolig forlenge elveperioden, såfremt temperaturen ikke har ført til at isbreene har minket så mye at de ikke lenger påvirker avrenningen til vassdragene nevneverdig. Elvene på Svalbard har således en svært viktig og sårbar funksjon som transportvei for anadrom røye på vei ut i sjøen (næringsvandring) på sommeren og tilbakevandringen på høsten. Den generelle oppfatningen om at klimaendringene også vil

bedre avrenningen og øke perioden med rennende vann, er derfor høyst usikker i høyarktiske områder som for eksempel på Svalbard.

4.4.2 Forventede effekter på vekstsesong og produksjon i innsjøer

De fleste innsjøene på Svalbard ligger nær kysten, er isfrie bare et par måneder i året, og eventuelle effekter av klimaendring antas derfor å få stor innvirkning på vekstsesong og primærproduksjon. Innsjøene er i dag isfrie fra juli/august til oktober, mens isykkelsen kan bli fra 1,5 til 2,5 m på senvinteren/våren. Isen er klar (transparent) og det er lite snø oppå isen (Svenning et al. 2007). Dersom klimaendringene fører til økt snøfall på senhøsten og vinteren, vil isen bli mindre klar på grunn av innblanding av snø, og/eller et tykkere snølag blir liggende på isen utover våren. Da vil 1) lystransmisjonen reduseres (Vincent & Hobbie 2000) og 2) isen kan også bli liggende lenger (Borgstrøm 2001). Grunne dammer utgjør store arealer av eksisterende vannlokalteter i Arktis. Disse ligger på permafrost, og vil drenere ved tining av denne, slik det har vært registrert blant annet i Sibir og Alaska (Smith et al. 2005).

Det eneste kjente flerårige studiet som er gjennomført i et høyarktisk område (som Svalbard), ble gjort i fire innsjøer på Nordøst-Grønland (Zackenberg) i perioden 1995 til 2007 (Christoffersen et al. 2008). De undersøkte blant annet tykkelsen på snødekket om våren, tidspunktet for isgang og sommervanntemperaturen, og de fant stor årlig variasjon i tidspunktet for ismelting (mer enn en måned), samt en sterk positiv korrelasjon mellom snødybden om våren og tidspunktet for ismelting. Dette er i godt samsvar med forholdene på i Litlosvatnet (1172 moh.) på Hardangervidda (Borgstrøm 2001). Begge undersøkelsene viser at snømengden er den viktigste enkeltfaktoren for å forklare lengden på den isfrie perioden. Studiene til Christoffersen et al. (2008) viser også at snømengden og dermed tidspunktet for ismeltingen har større innvirkning på vanntemperaturen enn lufttemperaturen utover sommeren. Klorofyll a, samt mengden av planteplankton og flere nøkkelarter av zooplankton så ut til å øke ved høyere vanntemperatur. De delte også inn undersøkelsesperioden i tre kalde, tre middels og tre varme år, og fant at tettheten av planteplankton og krepsdyr var høyere i varme år, samt at dette også påvirket artssammensetningen. Christoffersen et al. (2008) mente at de høyere næringskonsentrasjonene i «varme» år skyldes økt smelting av permafrostlaget som igjen ga større tilrenning av næringsstoffer og humus. Budskapet her er at studiene til både Christoffersen et al. (2008), og delvis Borgstrøm (2001), viser 1) at snømengden er den viktigste faktoren for å forklare tidspunkt for ismelting, vanntemperatur, lengden på vekstsesongen og primærproduksjonen i arktiske og alpine innsjøer, samt 2) at små variasjoner i nedbør trolig vil kunne få dramatiske effekter på produksjon, biomasse og artssammensetning. Dette er en stor utfordring dersom en skal forsøke å kvantifisere effekter av klima på limniske økosystemer. I motsetning til tidligere studier av europeiske

innsjøer, blant annet i Alpene (Livingstone & Dokulil 2001; Straile et al. 2003; George et al. 2004), fant Christoffersen et al. (2008) ingen sammenheng mellom NAO-indeksen og de fysiske og biologiske parametrene. Dette indikerer at lokale klimavariabler er de viktigste driverne i systemet på Grønland, selv om en ikke kan avvise at en tidsserie på bare ni år er for kort til å forvente påvisbare sammenhenger med NAO-indeksen. Borgstrøm (2001) fant for eksempel en positiv sammenheng mellom NAO-indeksen og snømengden på Hardangervidda, der tidsserien strakte seg fra 1950 til 1998.

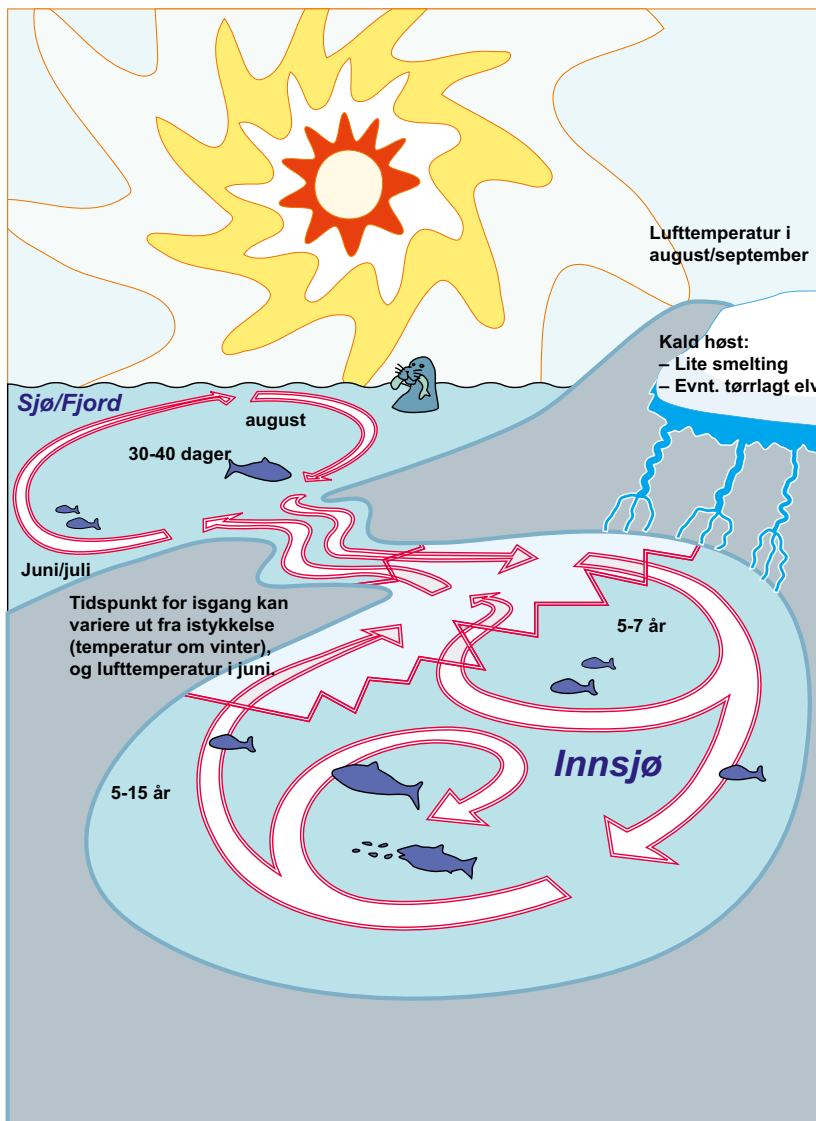
Klimaendringene vil kunne få både kumulative og synergistiske effekter på limniske systemer. Den projiserte globale økningen i temperatur og nedbør vil trolig øke transporten av miljøgifter til arktiske områder, og føre til at en enda større andel persistente miljøgifter (POP) og tungmetaller (kvikksølv) avsettes i Arktis. Effektene på organismer i limniske systemer vil trolig bli både kumulative og synergistiske (Wrona et al. 2006). Endringer i ozonlaget i stratosfæren med påfølgende økt ultrafiolett stråling (UV) vil trolig også ha kumulative og synergistiske effekter på struktur og funksjon i limniske økosystemer (Hessen 2001). Selv om ozonlaget reduseres ytterligere, og stadig større deler av Arktis vil motta økende doser av UV-stråling de kommende tiårene, vil et eventuelt tynnere isdekk (og snølag) ha vesentlig større betydning. Den antatt største økningen i UV-stråling skjer på vårparten, og mengden is (og snø) vil direkte påvirke hvor mye av UV-strålene som blir reflektert. Den projiserte globale reduksjonen i snø- og isdekket på grunn av oppvarmingen, vil derfor generelt sett gi økende skadelige effekter på limniske dyr og organismer som tidligere var beskyttet av snø og is. I tillegg til økt avsetning av miljøgifter vil også miljøgifter som i mange tiår har ligget magasinert i snø- og isbreer nå frigjøres med smeltevannet og tilføres innsjøsystemene, med de mulige toksiske effektene dette påfører limniske planter, evertebrater og ferskvannsfisk. På grunn av lav omsetning og kroppsvekst, samt høy overlevelse, vil det hos toppredatorer (inkludert kannibaler) som for eksempel røye, skje en sterk bioakkumulering med svært høye verdier av PCB og kvikksølv i fiskekjøttet. Dette er blant annet vist for røya i Arresjøen på Danskøya der det ble funnet relativt høye verdier av tungmetaller i de eldre røyene (Rosseland et al. 1997; Rognerud et al. 1998).

4.4.3 Forventede effekter i rennende vann

På Svalbard er grunnen permanent frosset (permafrost). Bare litt av det øvre laget tiner hvert år, og det skjer lite eller ingen magasinering av nedbøren. På forsommeren (juni/juli) smelter snøen i nedbørfeltet og det dannes bekker/elver som gir mulighet for at sjørøya kan vandre mellom innsjøene (ferskvann) og havet (saltvann). Vannmengden i utløpselvene karakteriseres ved 1) snøsmeltingen i nedslagsfeltet (samt ismeltingen i innsjøene) på forsommeren (juli), 2) fluktuierende vannføring gjennom sommeren, grunnet varierende smelting av isbreer i nedbørfeltet, samt til en viss grad varierende nedbørmengder gjennom sommeren,

3) sterkt redusert vannføring utover høsten, fordi lavere lufttemperatur reduserer eller stopper bresmeltingen og 4) absolutt ingen vannføring vinterstid, det vil si fra september til juni (Svenning & Gullestad 2002). Dette betyr at elvene åpnes når snø- og ismeltingen starter, og «stenges» når bresmeltingen stopper utpå høsten. Elvene er dermed i beste fall åpne bare et par måneder (juli–august), og sjørøya har derfor relativt kort tid på seg for å gjennomføre næringsvandringen til sjøen og være tilbake før elva tørregges igjen (fig. 16). Undersøkelser i Diesetvassdraget på Svalbard, viste at i år med lave høsttemperaturer døde store deler av sjørøyebestandene, fordi den ikke kom tilbake til innsjøen før elva var tørrlagt (Svenning & Gullestad 2002). Dette innebærer at marginale endringer i lufttemperaturen utover høsten kan ha stor innvirkning på overlevelsen og suksessen hos anadrom røye. De forventede klimaeffektene med økende lufttemperatur og økning i nedbør de neste 100 årene, vil i utgangspunktet bedre oppvandringmulighetene for sjørøya på Svalbard. På lengre sikt er det likevel mulig at isbreene blir så «nedsmeltet» at de ikke lenger bidrar i vannføringen utover høsten. I så fall vil den anadrome livsstrategien bli fatal. I år med lite nedbør er smeltingen av innsjøene stort sett påvirket av lufttemperaturen og solinnstrålingen på vårparten (mai/juni; Svenning & Gullestad 2002). Kommende klimaendringer med mye snø, vil trolig føre til senere smelting og senere åpning av utløpselvene, noe som kan føre til «mis-match» mellom tidspunktet for utvandringen hos sjørøya og suksessen med hensyn til optimalt føeropptak og predasjonsunnvikelse.

Selv om vannmengden varierer kraftig gjennom sesongen i elvene på fastlandet, er de fleste større nordnorske elvene mulige å forsere oppstrøms for laksefisk stort sett gjennom hele året. På vinteren, når vannføringen er lavest, er de fleste elvene dekket av is. Isleggingen av elvene i Nord-Norge vil påvirkes sterkt av eventuelle klimaendringer, og mange vassdrag har trolig allerede fått større eller mindre reduksjoner i islegging. Også menneskeskapte påvirkninger som kraftreguleringer kan påvirke isdekket. Et eksempel er Altaelva i Finnmark, der lange elvestrekninger nedstrøms magasinutløpet er isfrie vinterstid. Selv om høyere vanntemperatur i seg selv fører til raskere vekst hos laks, er vinteren den mest utfordrende tiden for laksefisk, og en antar at hos for eksempel laksunger skjer det meste av dødeligheten gjennom vinteren (Finstad et al. 2004). Dødeligheten er trolig i stor grad bestemt av hvor mye fett fisken har lagret i løpet av sommeren, og enda viktigere, hvor fort fettreservene brukes opp gjennom vinteren (Finstad et al. 2004), noe som betyr at selv små miljøendringer om vinteren vil ha stor betydning for fiskens overlevelse. Fjerning av isen gir økt lysinnstråling i vassdragene og det beskyttende isdekket forsvinner, og kostnadene ved å opprettholde metabolismen øker. Eksperimentelle forsøk med laksunger har vist at lysøkningen som følge av redusert isdekke kan øke hvilemetabolismen (hvileforbrenningen) med 30 % (Finstad et al. 2004). I tillegg bruker fisken mer energi på å unngå predatorer som et isdekke ville gi beskyttelse mot. Forsøk har også vist at røye, trolig på



Figur 16. Næringsvandring hos sjørøye på Svalbard. Røya gyter i ferskvann på senhøsten og yngelen klekker neste vår. Når røya blir 6–7 år og 15–20 cm foretar noen av fiskene en næringsvandring ut i havet på sommerstid, det vil si at de blir sjørøyer. Etter 5–6 uker vandrer de tilbake til innsjøen igjen for å overvintre. Neste sommer gjentas sjøvandringen og etter noen år med slike sjøvandringer er sjørøyene blitt store, gytemodne og av flott kvalitet. På grunn av den gode mattilgangen i sjøen kan sjørøyene doble kroppsvekta i løpet av det korte sjøoppholdet. Utløpselvene i innsjøer på Svalbard er frosset eller tørre i omlag 10 måneder av året og fungerer derfor som transportårer for sjørøyene i knappe 2 måneder. Fiskene vandrer ut i havet så snart isen på innsjøene smelter, slik at de etter en kort og hektisk periode skal rekke å vandre tilbake til ferskvann før elvene fryser til (tørker inn) igjen. Tidspunktet for når elvene åpner vil avhenge av istykkelse, snømengde og lufttemperatur. Om høsten vil små endringer i lufttemperaturen direkte påvirke hvor lenge isbreene gir smeltevann og dermed oppvandringsmuligheter for røya. I enkelte år tørker/fryser elvene så tidlig at store mengder sjørøye dør under sjøoppholdet. De fremtidige klimaendringene, med høyere lufttemperatur og mer nedbør, vil kunne endre vandringsmulighetene til sjørøya, spesielt i arktiske områder (Illustrasjon: A Igesund, Norsk Polarinstitutt).

grunn av sin ekstremt nordlige utbredelse og spesielle tilpassning til kaldt klima, er mer utsatt enn laks og ørret (Finstad et al. 2004). Det er også vist at laksefisk i for eksempel Nord-Norge er mer utsatt enn laksefisk i Sør-Norge.

4.4.4 Forventede effekter på planteplankton, zooplankton, bunndyr og fisk

Data fra ulike kartlegginger, paleolimnisk arkiver og langtidsstudier i ulike typer av innsjøer bekrefter at limnisk økosystem er svært sensitive for klimatiske endringer

(Primicerio et al. 2007). Eksempelvis vil et varmere klima gi høyere produksjon og endret sesongdynamikk hos plankton og bunndyr. Forholdet mellom ulike arter kan endres og nye arter av for eksempel plankton kan etableres. Bortsett fra anadrome arter, er det usannsynlig at andre ferskvannsfiskearter kan etablere bestander. Det forventes at fisk vil ha en sterk drivende effekt på arts- og størrelsessammensetning hos plankton ("top-down"), blant annet ved å modifisere fenologi og ontogeni i habitat og diettskifte, samt i ressurs spesialisering. Totalt sett forventer vi at klimaendringene vil påvirke hele strukturen i økosamfunnet, og i de relativt enkle limnisk systemene i arktiske områder, vil fisk som toppredator ha signifikant betydning. I mange fisketomme samfunn i Arktis (Bjørnøya, Svalbard, Grønland) finnes ofte store tettheter av skjoldkrepser (*Lepidurus arcticus*), og som dermed overtar som toppredator.

Gitt et endret klimascenario i arktiske innsjøer vil både produksjon, sammensetning, diversitet og fenologi av planteplankton i innsjøene endres i takt med forandring av de fysiske-kjemiske forholdene. Ved å inkludere isdekke og vanntemperatur, vil endring i klima påvirke lengden på den isfrie perioden, mengden av næringsstoffer (via resuspensjon fra sedimentene) og graden av termisk stratifisering. Lengre isfri periode, med økt mengde næringsstoffer og termisk stratifisering vil øke produksjonen av fytoplankton, etablering av alger med høyere næringsbehov,

økt diversitet av alger og endret tidspunkt for algeoppblomstring. Høyere produksjon av alger og planteplankton vil fremme en økning i produksjonen av dyreplankton og kolonisering av grupper med større næringsbehov (hjuldyr, vannlopper, cyclopoide hoppekreps). Dyreplanktonarter vil trolig øke antall generasjoner per år, og arter med flerårig livssyklus kan bli ettårige. Dette vil totalt øke vekstraten i populasjonene. I de mest ekstreme høyarktiske områdene, som for eksempel på Svalbard, kan økt nedbør om vinteren (snø) imidlertid reversere de ovennevnte antagelsene, blant annet på grunn av senere isgang og kortere vekstsesong. Så vidt vi vet er det ikke igangsatt noe overvåkingsprogram i innsjøer verken i Nord-Norge eller på Svalbard, som registrerer fysiske-kjemiske parametre som snødekke, isutvikling, produksjon og så videre. Det er dessuten grunn til å vente at økt vekstsesong, økt vanntemperatur og økt forekomst av migrerende fugl som gress (som er transportvektorer for hvilestadier av zooplankton) vil kunne gi økt forekomst av «nye» arter.

Bunndyrene er en viktig komponent i ferskvannsøkosystemene, hvor de skaper viktige koblinger i næringskjedene mellom primærprodusenter som alger og vannplanter og konsumenter som fisk og fugl, og mellom dødt organisk materiale (både av akvatisk og terrestrisk opprinnelse) og

konsumenter. Vi har svært lite kunnskap om hvordan fremtidige klimaendringer vil påvirke nordlige bunndyrsamfunn i ferskvann. Det er vanskelig å skille ut effekten av klimafaktorer på utbredelsen av akvatiske bunndyr, men i en stor-skala-studie fra Finland kommer vanntemperatur ut som en signifikant forklaringsfaktor i utbredelsen av en rekke bunndyr (Heino et al. 2002). Forskning fra mer tempererte områder indikerer at arter tilpasset varmt vann vil øke i tetthet, mens mer sjeldne kaldtvannsararter forsvinner (Durance & Ormerod 2007). Bunndyrenes livsløp er temperaturavhengig, og varmere vann vil dermed føre til raskere vekst og potensielt økt produksjon, noe som, isolert i fravær av andre faktorer, kan tenkes å gi økt mattilgang for fisk (Heino et al. 2008). Mønsteret til de ulike artenes livssyklus vil imidlertid også kunne endres med stigende temperatur, for eksempel ved at klekkesidspunkt endres. Økende temperatur vil også føre til økt mikrobiell aktivitet og økt nedbryting, noe som kan bety mindre mat tilgjengelig for bunndyrene og dermed også mindre mat for fisk. Selv svært små endringer i vanntemperatur kan gi alvorlige utslag for bunndyr. I nordlige ferskvannssystem er for eksempel mange bunndyr tilpasset å være i eggstadiet ved nær 0 °C gjennom en lang vinter, hvorpå eggene er avhengige av en rask temperaturøkning på våren for å klekke. En liten temperaturøkning om vinteren kan føre til problemer for disse artene. Vassdragsutbygging er et eksempel på en påvirkning som ofte fører til økt vintertemperatur og lokal utrydding av enkelte arter bunndyrarter. Varmere vann kan også føre til lavere oksygeninnhold i vannet. Mange bunndyr, særlig kaldtvannsararter, er avhengige av høyt oksygeninnhold i vannet, og disse vil kunne oppleve at klimaendringene fører til dårligere vannkvalitet. I takt med at oksygeninnholdet synker, vil det også skje en endring i artssammensetningen i bunndyrsamfunnene, fra arter som krever høyt oksygeninnhold til arter som tolererer lite oksygen. Denne typen endringer er allerede velkjent fra forurensningspåvirkede områder, hvor tilførsel av næringsstoffer som et resultat av menneskelig aktivitet gir økt eutrofiering og dermed endrer hele økosystemet.

Et grunnleggende kunnskapshull i de nordlige (Nord-Norge) og arktiske (Svalbard) områdene er mangelen på basisdata om utbredelse av bunndyr (både på arts- og samfunnsnivå). Det eksisterer også et stort behov for å få etablert systematiske tidsserier for å påvise eventuelle forandringer i bunndyrsamfunn over tid. Smol et al. (2005) gir et eksempel på hvorfor det haster med å få på plass denne typen bakgrunnsinformasjon, gjennom at de påviser hvordan bunndyrsamfunn i 55 innsjøer spredt ut over stor skala, alle i utgangspunktet tilsynelatende upåvirket av mennesker, har gjennomgått store endringer siden 1850. Studiet indikerer at endringene har kommet som en følge av varmere klima og lengre sommersesong.

Mye sol og høy lufttemperatur på vårparten vil normalt gi tidlig ismelting, lang isfri periode og økt tilvekst og overlevelse hos røyeungene i innsjøer i Nord-Norge og på Svalbard. Dermed skulle en tro at et varmere klima fremover

skulle gi enda bedre oppvekstforhold for ferskvannsfisk. I følge klimaprognosene vil imidlertid ikke bare temperaturen, men også nedbøren øke relativt kraftig på de neste 100 årene. Siden mye av den økte nedbøren trolig vil komme som snø, kan dette ha store negative effekter for ferskvannsfisk. Det er derfor høyst usikkert om den antatt økende lufttemperaturen de nærmeste 100 årene vil kompensere for den økte snømengden, og at for eksempel røyeungene i innsjøer på Svalbard dermed kan få oppleve dårligere vekstforhold sommerstid i fremtiden. Dette er analogt med det som allerede er påvist i innsjøer i høyfjellsområdene i Sør-Norge og på Grønland der mye av nedbøren vil falle som snø. Studiene på Hardangervidda har dokumentert at snørike vintre har ført til dramatisk nedgang i vekst og overlevelse hos ørretbestandene. Økende snømengder kan også gi lavere lystransmisjon, lavere primærproduksjon, lavere vanntemperatur og så videre, noe som totalt sett gir forverrede forhold for ferskvannsfisk. I bresjøer kan til og med økende lufttemperatur gi forverrede forhold for fisken, ved økende bresmelting, kaldere vann og lavere lystransmisjon. I klarvannsjøer kan en forvente bedre levevilkår for fisken.

Endret klima vil gi redusert islegging, høyere vanntemperatur, økt forbrenning av fiskens fettreserver og høyere predasjonsrisiko (se pkt. 4.4.3). Dette vil trolig gi økt dødelighet hos ungfisk av laksefisk (Finstad et al. 2004). Bestandene i Nord-Norge er mest utsatt, og røye er trolig mer utsatt enn laks og ørret. Utløpselvene i innsjøer på Svalbard fungerer som transportvei for anadrom røye på næringsvandring til og fra sjøen (saltvann) sommerstid. Endringer i klima, gjennom økninger i lufttemperatur og nedbør, vil påvirke sjørøyas tilgang til næring og dermed også i stor grad tilvekst og overlevelse (se pkt. 4.4.3). I noen tilfeller vil endringer i klima påvirke sjørøyebestandene negativt (Svenning & Gullestad 2002).

I de siste årene har sjøvanntemperaturen økt i havområdene utenfor Svalbard. Dette fører til at mer varmekjære saltvannsfisker trekker lengre nordover. Stingsild, som både forekommer som ferskvannsstasjonær, anadrom og marin, har blitt fanget stadig lengre nordover de siste årene (pers. komm. JC Holst, Havforskningsinstituttet). Dette er trolig årsaken til at det er fanget stingsild på oppvandring i to vassdrag i Isfjord-området på Svalbard de siste årene – i Linévatnet i 2001 og i Straumsjøen i 2006 (M-A Svenning, NINA, egne registreringer). Foreløpig har vi ingen kunnskap om stingsild er eller vil være i stand til å etablere seg i innsjøsystemer på Svalbard. Vi må likevel anta at økende havtemperaturer vil øke sannsynligheten for at nye anadrome fiskearter prøver å etablere seg i vassdrag på Svalbard. Det er også gjentatte ganger fanget pukkellaks både langs kysten, i utløpselvene og i innsjøene på Svalbard. Pukkellaksen gyter stort sett i elvene på Kolahalvøya, men det har vært påvist gyting i elver i Finnmark. I 2008 ble det for første gang påvist nyklekkede yngel av pukkellaks i Vestre Jakobselv i Finnmark.

4.5 Oppsummering ferskvann

Konsekvensene av de antatte endringene i klima og UV-stråling vil trolig ha store og vidtrekkende effekter på fysiske, kjemiske og biologiske parametre i de limniske økosystemene i Arktis. Den største effekten kan vise seg å bli indirekte ved at opptining av permafrost fører til at det store antallet grunne ferskvannslokaliteter som er karakteristiske for steder med permafrost i tundraområder i større eller mindre omfang forsvinner. Økningene i temperatur og nedbør vil påvirke økosystemene på en svært kompleks måte og føre til både akutte og langtrekkende effekter som er svært vanskelige å kvantifisere. Dessuten er den generelle kunnskapen om de limniske økosystemene i Arktis svært mangelfull. Enda mer mangelfull er kunnskapen om eventuelle økologiske effekter gitt ulike klimascenarier. Den nåværende kunnskapen er stort sett basert på beskrivelsen av historiske klimaendringer, samt en håndfull nyere studier der en har observert hvordan variasjonen i ulike miljøparametre har påvirket økosystemenes struktur og funksjon (se f.eks. Borgstrøm 2001; Christoffersen et al. 2008). I motsetning til i terrestre systemer (Callaghan et al. 2005), er det så vidt vi vet ennå ikke gjennomført noen storskala eksperimentelle forsøk på å studere klimaeffekter på limniske økosystemer i arktiske og nordlige områder. Det har likevel vært foretatt feltstudier i en del arktiske områder, der en har kunnet observere ulike effekter av endringer i klima (Canada: Prowse et al. 2006a; Alaska og Finland: Prowse et al. 2006b; Grønland: Christoffersen et al. 2008).

På generell basis er de viktigste effektene av klimaendringene i limniske systemer i Arktis stort sett antatt å være analoge med blant annet økt vanntemperatur, minkende snødekke, tining av permafrosten, tynnere isdekke og lengre isfrie periode på innsjøene, mindre isdekke på elvene, økt tilrenning av næringsstoffer og humus fra nedbørfeltet, økt tilførsel og avsetning av miljøgifter og økt UV-stråling. Dette vil trolig gjelde for relativt sett store områder av Arktis, der temperaturøkningen er såpass høy at nedbøren for det meste vil falle som regn. Det er imidlertid svært viktig å skille mellom de ovennevnte antatt generelle og globale effektene, og de lokale effektene i mer høyarktiske områder, som for eksempel det meste av Svalbard (Svenning & Gullestad 2002) og nordlige deler av Grønland (Christoffersen et al. 2008). I disse mest nordlige, arktiske limniske systemene vil koblingen mellom temperatur og nedbør være svært avgjørende for istykkelsen og iskvaliteten, lengden på den isfrie perioden og vanntemperaturen sommerstid (fig. 15). Det ventes også økt innvandring av mer sørlige fiskearter, våtmarksfugl, insekter og invertebrater. Det ventes også at plankton (som f.eks. vannlopper) kan spres med fjærdrakten til fugl.

De fleste miljøparametrene i ferskvann på Svalbard er direkte koblet til temperatur og nedbør, og er samtidig svært sensitive for endringer i disse to parametrene. I de høyarktiske områdene, og i høyfjellet på fastlandet, der lufttemperaturen i utgangspunktet er svært lav, vil mye snø

gi sen isgang (Borgstrøm 2001), lavere vanntemperatur, kortere vekstsesong, mindre solinnstråling og dermed lavere produksjon under isen (Christoffersen et al. 2008). Selv om ikke lavere vanntemperatur er sterkt begrensende for arktisk tilpassede dyregrupper i innsjøer, vil en kortere vekstsesong trolig også redusere muligheten for å fullføre livssyklus i løpet av et år. Mer nedbør (regn) sommerstid, i kombinasjon med høyere lufttemperatur, vil trolig øke tilrenningen, og dermed tilførselen av både organisk og uorganisk materiale. Økt sommertemperatur vil derfor trolig øke næringsgrunnlaget og produksjonen i innsjøen. En kan imidlertid ikke se bort fra at en økende produksjon i verste fall kan føre til oksygenmangel under isen og fiskedød, eventuelt i de grunneste innsjøene med lite vannvolum. Økt sommer-temperatur vil også øke tilrenningen av brevann/breslam, noe som vil bidra både til å senke vanntemperaturen og lystransmisjonen, og dermed bidra til å redusere produksjonen. Breslam og dermed tilslamming har også generelt sterkt negative konsekvenser for både plankton, bunndyr og fisk. Økt sommernedbør og -temperatur vil trolig også øke tilførselen av humus. Dette vil igjen bidra til å redusere lystransmisjonen, men kan også stimulere produksjonen av bakterier og mikrozooplankton (Christoffersen et al. 2008), samt også øke innsjøfaunaens beskyttelse mot UV-stråler. Dette kan igjen redusere produksjonen av pigmenter hos enkelte småkreps (for eksempel vannlopper) og dermed redusere predasjonsrisikoen (Sægrov et al. 1996). Mindre UV-stråling vil øke overlevelsen for fiskerogn (særlig i grunne innsjøer). Generelt sett vil også en kort isfrie periode og økt skydekke redusere både omfang og varighet av UV-stråling.

Effektene av variasjonene i temperatur og nedbør (snødybde) vil også påvirke livshistorien til svalbardrøya, blant annet årlig tilvekst, gonadeoppbygging og årlig rekruttering (årsklassestyrke). Dette er i godt samsvar med undersøkelser på Hardangervidda, hvor Borgstrøm & Museth (2005) fant at i år med mye snø og lave sommertemperaturer, døde hele årsklassen (0⁺) av ørret. I nordnorske elver er det ventet at endring i klimaet vil gi redusert isdekke og høyere dødelighet hos laksefisk (Finstad et al. 2004). Røye vil trolig være mer utsatt enn laks og ørret.

5 Hovedfunn

De viktigste hovedfunnene innen de ulike økosystemene når det gjelder effekten av endringer i klimaet er oppsummerte i dette kapitlet.

5.1 Marint

- *Primærproduksjon og planteplankton*: de nærmeste tiårene kan en trolig ikke vente store biologiske endringer. Små endringer i primærproduksjon og økt aktivitet på den biologiske pumpen kan kanskje forventes, men den største endring i primærproduksjonen vil antagelig skyldes økt sjøtemperatur og medfølgende endret nordgrense for mange arter. Enkelte arter vil likevel kunne fremvise

- konkrete effekter også av forsuring allerede i løpet av noen tiår. Lengre frem i tid kan det forventes konkrete forsuringseffekter art for art. Storskala endringer i primærproduksjon og for dyreplankton vil endre fødetilgangen til andre arter, inkludert fisk. Denne utviklingen er i praksis umulig å reversere med inngrep på kort sikt.
- *Dyreplankton*: ved et varmere klima kan biomassen av dyreplankton øke. Flere arter av dyreplankton kan få utvidet sitt leveområde. Arktiske arter vil måtte forflytte seg nordover og vestover i Norskehavet og nordover og østover i Barentshavet. Atlantiske arter vil overta nye områder. Samtidig vil det komme inn nye, mer sørlige arter. Den totale produksjonen av dyreplanktonbiomasse vil også kunne endres. Konsekvensene av forsuring i et fremtidsbilde for år 2080 kategoriseres som stor for dyreplankton.
 - *Bunndyr og makroalger*: en viktig forutsetning for å kunne påvise endringer i løpet av en valgt tidsperiode er at man kjenner artenes utbredelse ved periodens start. Slik kunnskap har vi generelt ikke for bunnlevende organismer i norske havområder. Vi kan likevel antyde noen forventede konsekvenser av en temperaturøkning: 1) Nye arter fra sør kommer nordover til oss og blir «norske» sørlige arter. 2) Sørlige arter utvider sitt leveområde nordover langs norskekysten og kanskje nordover mot Svalbard og østover i Barentshavet. 3) Nordlige arter ved norskekysten forsvinner ved at sørgrensene forflyttes til områder nord for Norge. 4) Relative mengdeforhold mellom arter i områder kan endres. 5) Økosystem, begrenset for eksempel til en fjord, endres ved at arter som tidligere bare hadde biroller i økosystemet overtar hovedroller (Postmyr 2008).
 - *Fisk*: høyere sjøtemperatur har historisk vært positivt for rekruttering av torsk, sild og hyse i nordområdene. På den andre siden vil et varmere hav også medføre en utvidelse av fiskefordelingen inn i områder som nå har lavere temperatur og en annen eller snevrere byttedyrfordeling (nordvest i Norskehavet og nordøst i Barentshavet). Der som havklimaet endrer seg ytterligere kan vi for eksempel igjen få overvintring av norsk vårgytende sild i havområdene utenfor østkysten av Island med de økologiske og fiskeripolitiske konsekvensene dette medfører.
 - *Sjøpattedyr*: noen arter sjøpattedyr i NorACIAs utredningsområde er sterkt knyttet til ishabitat for forplantning eller næringssøk, mens andre arter er knyttet til frontsoner for næringssøk. Hos begge disse gruppene vil endring i isareal eller areal av fronter med høy produksjon kunne få vesentlig effekt på populasjonsnivå. Hos arter knyttet til det pelagiske systemet vil en kunne forvente geografisk forskyvning i utbredelsesmønsteret som følge av klimaendringer. I et scenario med stadig varmere vann vil en forvente at arealer med egnet iskvalitet for flere selarters forplantning blir redusert, forflyttes eller blir helt borte. I et slikt scenario forventes også en nordlig forskyvning av utbredelsen av arter som beiter i Norskehavet slik at noen høyarktiske arter vil fortrenkes nordover, og nye, mer varmekjære arter trenger inn fra sør.
 - *Sjøfugl*: det er liten tvil om at en omfattende endring i klima vil ha vidtrekkende konsekvenser for artssammensetningen til sjøfuglene i utredningsområdet, både i forhold til utbredelse, tetthet og reprodutiv suksess. Konsekvensene behøver ikke å være negative. Postmyr (2008) vurderer at endringen i klima frem til 2080 vil ha en positiv effekt på alle de tre indikatorartene på sjøfugl (lomvi, lunde og ærfugl). Samtidig ble det imidlertid understreket at det er stor usikkerhet og et svært ufullstendig kunnskapsnivå knyttet til vurderingen. Sammenhengene er så komplekse og kunnskapsnivået ennå så utilstrekkelig at det er vanskelig å forutsi med god presisjon og sikkerhet hva konsekvensene av en klimaendring vil være.
 - *Fremmede arter*: høyere havtemperatur kan gjøre det lettere for arter som kommer sørfra med den norske kyststrømmen eller Atlanterhavsstrømmen å etablere seg i Norskehavet og Barentshavet. Dette gjelder både arter som har hatt for eksempel Nordsjøen som leveområde i lang tid og arter som mer nylig har blitt introdusert der ved menneskelig aktivitet.
 - *Effekter i økosystemperspektiv*: effekter av klimaendringer må sees på tvers av organismegrupper og biologiske systemer. Kunnskap om biodiversitet, nøkkelarter, utbredelse i tid og rom, produksjonspotensiale, økosysteminteraksjoner og sårbarhet er nødvendig for å kunne si noe om integrerte effekter i økosystemet.
-
- ## 5.2 Terrestrisk
- *Arters utbredelse*: økt temperatur vil føre til at mange arter vil forskyve sin utbredelse mot nord. Arter som i dag utelukkende finnes lengre sør vil etablere seg i Nord-Norge, på Svalbard og Jan Mayen. Dette vil gi økt artsmangfold men også en fare for at enkelte av dagens nøkkelarter forsvinner. Arter som i dag eksisterer i nordområdene kommer til å øke sin utbredelse opp i høyden og inn i kaldere innlandsområder. I Nord-Norge vil særlig en økning av barskogens utbredelse ha betydelige effekter på økosystemene.
 - *Plantefamfunn*: økt temperatur vil gi tidligere start på vekstsesongen, lengre vekstsesong og økt primærproduksjon. Mosedekket vil reduseres og særlig gress og urter øke sin utbredelse og tetthet i Arktis og i høyfjellet. Både barskogen og bjørkeskogen kommer til å øke sin utbredelse mot nord og opp i høyden, og vierkratt vil kunne bli mer utbredt i fjellet. Det er mulig at den forventede forskyvningen av tregrensa og den økte utbredelsen av vierkratt vil begrenses av planteetere som rein og målere. Enkelte arter som blåbær vil kunne respondere negativt på økt frekvens av mildværsperioder om vinteren.
 - *Plantespisere*: Økt økt primærproduksjon og mildere vintre vil gi økte bestander og utbredelse av mange planteetere. Særlig artsmangfoldet og bestandene av hjortedyr og insekter kan man forvente vil øke. Enkelte av dagens nøkkelarter som er avhengige av stabile kalde vintre vil kunne forvente hardere tider. Særlig lemen, men også muligens rein, kan gå mer usikre tider i møte.

- *Nedbrytere*: økt temperatur forventes å øke nedbrytnings-hastighet og næringsomsetning i jordsmonnet, men disse prosessene er også avhengige av fuktighet og i stor grad bestemt av plantesamfunnets sammensetning. Forandringene i plantesamfunnets sammensetning er forventet å være den faktoren som særlig bestemmer artsmangfold og effektivitet i nedbryterkjeden.
- *Rovdyr*: effekter på rovdyrbestandene vil sannsynligvis først og fremst komme gjennom klimaeffekter på bytte-dyrbestandenes størrelse. I tillegg vil arter knyttet til skog, som gaupe, kunne øke sin utbredelse og bestandstørrelse. Det forventede bortfallet av lemenår vil ha stor betydning for fjelløkosystemet i Nord-Norge, slik vi kjenner det i dag, der mange av karakterartene, som fjellrev, snøugle, røyskatt og fjelljo er smågnagerspesialister.
- *Fugl*: økt temperatur forventes å gi en tidligere våroppblomstring av mange insekter som er viktige for fugl i hekkeperioden. Det forventes at trekk- og hekkeperioden til mange fuglearter vil forskyves for å samsvare med våroppblomstringen av insekter, og at arter som ikke klarer å respondere på en slik måte vil gjøre det dårlig.
- *Parasitter*: høyere temperatur og økt artsmangfold av verter vil gi større mangfold av parasittarter og økt parasittbelastning i enkelte vertsbestander. Problemer med mygg, bitende fluer og flått vil kunne øke.
- *Effekter i økosystemperspektiv*: det er fortsatt vanskelig å bygge opp kvantitative modeller for effekten av klimaendringer på økosystemene da lite kvantitativ informasjon er tilgjengelig om styrken på klimaeffektene i forhold til de enkelte arter, og om styrken på økosysteminteraksjoner. Tilfeldigheter knyttet til hvilke nye arter som invaderer og usikkerhet knyttet til deres effekt på økosystemene gjør også slikt modellarbeid vanskelig.

5.3 Limnisk

- *Generelle fysiske effekter*: de ventede effektene på økosystemene som følge av økt temperatur og nedbør er svært komplekse, og innebærer et batteri av mulige direkte og indirekte årsakssammenhenger. Økningen i temperatur og nedbør vil blant annet påvirke parametre som vanntemperatur, permafrost, isstyrke, iskvalitet, isperiode, avrenning, flompåvirkning, brepåvirkning og næringstilførsel. De antatt viktigste fysiske effektene på limniske økosystemer vil likevel være knyttet til varigheten av den isfrie perioden (tidspunkt for islegging og isgang) og sommer-vanntemperaturen. Økt nedbør i form av snø på Svalbard (og i høyfjellet og de kaldeste områdene på fastlandet) kan bidra til mindre lysgjennomtrengelig innsjøis, mer snø oppå isen, senere isgang, kortere isfri periode, senere elveisløsning, lavere vanntemperatur sommerstid og dermed redusert tilvekst og produksjon av ferskvannsorganismer. I mer lavtliggende kystvassdrag langs kysten av Nord-Norge vil høyere temperatur og nedbør trolig føre til lengre isfri periode og høyere sommervanntemperatur. Tining av permafrosten kan føre til at de grunne ferskvannressursene i arktiske områder (Svalbard) forsvinner.
- *Primærproduksjon, plankton og bunndyr*: klimaeffektene vil trolig påvirke de arktiske ferskvannssystemene i Nord-Norge noe forskjellig sammenlignet med systemene på Svalbard/Bjørnøya. I Nord-Norge vil den antatt lengre isfrie perioden, og økt tilførsel av næringsstoffer og termisk stratifisering, gi høyere produksjon av alger og planteplankton, som igjen vil fremme produksjonen av dyreplankton og kolonisering av grupper med større næringsbehov (hjuldyr, vannlopper og cyclopoide hoppekreps). Kombinasjonen av økt temperatur og økt nedbør i form av regn vil bidra til smelting av permafrosten, større avrenning og økende tilførsel av både brevann/breslam, humus og næringsstoffer. Dette vil påvirke lystransmisjonen, produksjonen av bakterier og mikrozooplankton, samt innsjøfaunaens beskyttelse mot UV-stråler. Mindre UV-stråling vil øke overlevelsen hos fiskeegg/rogn, spesielt i grunne innsjøer. Studier på Svalbard, Øst-Grønland og høyfjellet på fastlandet tyder på at mer nedbør i form av snø kompenserer for økende lufttemperatur, og fører til kortere isfri periode og lavere produksjon i innsjøene.
- *Dyreplankton*: ved et varmere klima vil dyreplanktonarter trolig øke antall generasjoner per år, og arter med flerårig livssyklus kan bli ettårige. Dette vil totalt sett øke vekstraten i populasjonene. I de mest ekstreme høyarktiske områdene, som for eksempel på Svalbard, kan økt nedbør om vinteren (snø) imidlertid reversere de ovennevnte antagelsene. Vi kan derfor vente lavere primærproduksjon, vekstrate og biodiversitet hos plankton i innsjøer på Svalbard de neste årene.
- *Fisk*: høyere vinter- og sommertemperaturer gir høyere tilvekst og produksjon i ferskvannsfasen hos arktiske fiskebestander, mens dette kan kompenseres kraftig ved økende nedbør i form av snø. Små endringer i lufttemperatur og nedbør har stor innvirkning på vannføringen i utløpselvene og dermed livshistorie og overlevelse hos anadrom Svalbardrøye. Endret klima vil endre konkurranseforholdet mellom arter. Bestandene av sjørøye har for eksempel avtatt kraftig i nordnorske vassdrag de siste ti år, mens mengden av sjørøret har økt. Dette skyldes trolig tidlige effekter av et endret klima. Videre vil økende temperatur og lengre isfri periode i nordnorske elver gi økt forbrenning og redusert overlevelse hos laksunger. Høyere havtemperatur fører til at anadrome fiskearter beveger seg lengre nordover og dermed øker sjansene for at nye arter forsøker å etablere seg i innsjøer på Svalbard. Et eksempel er stingsild som nå er funnet i to vassdrag på Spitsbergen.
- *Fugl*: klimaendringene skaper nye overvintringsområder for fugl (gjess) som hekker på Svalbard, og dermed kan de overføre nye arter/parasitter til øyriket. Dette er et eksempel på at miljøendringer i et økosystem påvirker et annet ("Ecosystem connectivity"). Det ventes økt eutrofiering på grunn av økt belastning fra spesielt gjess.

6 Kunnskapshull og forskningsbehov

6.1 Behov for ny kunnskap

Klimaendringer vil som vi har sett kunne forandre både produksjonen og artssammensetningen i økosystemene. I tillegg til den langsiktige klimaendringen som kommer vil det være naturlige svingninger i økosystemet siden det påvirkes av årlige variasjoner i værforhold, og balansen mellom plante- og dyreliv. For å kunne skille mellom naturlige svingninger og klimaendringer, og medfølgende effekter på økosystemet, kreves et samarbeid innenfor fagområdene oseanografi, havis, hydrologi, meteorologi og biologi. Selv om de globale klimamodellene i stor grad er entydige i sine prediksjoner, er det viktig å huske at regionale forskjeller vil kunne være store. For å oppnå en dypere forståelse for hvilke konsekvenser endringer i økosystemet kan få for samfunn og næringsutvikling, kreves det i tillegg at også samfunnsvitenskapelige fagområder kobles inn i den videre forskningen.

I det følgende tar vi med en del fysiske forhold som har betydning for de ulike økosystemene, og deretter oppsummeres kunnskapshull i de forskjellige økosystemene

6.2 Fysiske forhold

Usikkerheten rundt innstrømningen av Atlanterhavsvann i fremtiden er stor, og dette vil få stor betydning for alle økosystemene på ulik måte. Det er derfor et spesielt behov for å vedlikeholde og oppgradere klimaovervåkingen i havet. Det er dessuten behov for å utvikle koblede modeller som har større fokus på havet gjennom bedre geografisk oppløsning. Nedskalering er et nøkkelord i denne sammenheng. Bedre scenarier for utviklingen i klimaet vil føre til større sikkerhet med hensyn til utvikling i økosystemene.

6.2.1 Marint

Polarfrontens posisjon skiller ikke bare to forskjellige vannmasser, men er også en barriere for utveksling av marine organismer. Vil den topografiske styringen være så sterk at posisjonen forblir den samme i de vestlige områder, eller vil frontene svekkes eller viskes ut? Dette har også betydning for isens maksimale utbredelse om vinteren. Havisens utbredelse og tykkelse er i sterk endring hvilket også vil få konsekvenser for tilhørende økosystem. Havisen har dessuten stor betydning for global og regional klimautvikling. ACIA og IPCC identifiserer kunnskap om overflateprosesser i Arktis som den største svakheten i dagens klimamodeller.

Det er stor usikkerhet knyttet til fremtidige vindforhold over havene. Dette gjelder vindstyrke, vindretning og hyppighet av ekstremer. Som en følge av dette er det også stor usikkerhet knyttet til fremtidig bølgeforhold.

Det mangler gode regionale oseanografiske modeller koblet opp mot de globale, men dette er man i ferd med å gjøre noe med. Det neste skrittet vil være å kombinere de fysiske modellene med biologi slik at man får gode biofysiske

modeller. Det vil være den beste metoden for å si noe mer sikkert om den biologiske utviklingen.

Et isfritt Arktis gir helt nye forutsetninger for utveksling av energi og masse mellom atmosfære og hav. Det er stor usikkerhet om betydningen dette vil ha for havstrømmer, vertikal sirkulasjon (både i havet og nedre del av atmosfæren), samt utveksling av gasser (for eksempel CO₂) og vanddamp mellom atmosfære og hav.

6.2.2 Terrestrisk

Dagens fysiske modeller for den fremtidige klimautviklingen gir prediksjoner på en relativt detaljert romlig og tidsmessig skala. Det er viktig at usikkerheten i disse klimaprediksjonene for nordområdene fortløpende evalueres etter hvert som de fysiske modellene videreutvikles.

Snø er en viktig faktor i nordlige økosystemer, og modeller for sammenhengen mellom værforhold og snøens struktur er ikke tilgjengelige i en praktisk anvendbar form. Videre metodeutvikling i retning av modellverktøy som kan koble prediksjoner fra klimamodeller til prediksjoner for snødybde, snøstruktur og særlig ising vil være en viktig oppgave på veien mot å oppnå bedre scenarier for hvordan de terrestriske økosystemer responderer på de predikerte klimascenarier.

6.2.3 Limnisk

Den fysiske koblingen mellom lufttemperatur og nedbør mangler. Det vil være helt sentralt å kunne påvise 1) betingelsene for at nedbøren faller som snø, samt 2) hvor dette skjer (breddegrad, høyde over havet) og 3) når på året dette skjer (sommer, vinter).

Kombinasjonen av lufttemperatur og nedbør vil være direkte bestemmende for tidspunktet for islegging, tykkelsen og egenskapene ved isen og når isen tiner igjen, det vil si lengden på den isfrie perioden.

Temperaturforholdene under den isfrie perioden (som vil ha varierende lengde) bestemmes av solinnstråling og lufttemperatur. Dette vil igjen påvirke danning av eventuelle temperatursjikt, omrøring og så videre. Videre vil temperaturen direkte påvirke metabolismen hos limniske organismer.

Det må etableres modeller som beskriver hvordan nedbør eventuelt kompenseres for lufttemperatur med hensyn på islegging, isgang og istykkelse ved ulike breddegrader og høyde over havet. I mye av den amerikanske/kanadiske litteraturen tas det for gitt at klimaet kommer til å bli varmere. Utfordringen er å inkludere nedbør i modellene, slik at en kan påvise i hvor stor grad nedbør (som snø) vil kompensere økningen i lufttemperatur og i noen tilfeller føre til kaldere forhold i ferskvann.

6.3 Biologiske effekter

Et sentralt spørsmål er om klimaendringer kan forårsake omfattende endringer i nordområdene. Med «omfattende endringer» menes her at strukturen i økosystemet forandres slik at andre grupper tar over som dominerende. Det

er også behov for økt kunnskap om hvordan ulike typer menneskelig aktivitet (f.eks. utbygging av infrastruktur, jordbruk, skogbruk, fiskeri og petroleumsvirksomhet) kan endre økosystemets motstandskraft mot klimaendringer. Økosystemmodeller må utvides og omarbeides for å ta inn nye prosesser og komponenter etter hvert som det fremkommer ny eksperimentell kunnskap. De må inkludere synergistiske effekter av pH, pCO₂ og klima/temperatur. Det er stort behov for mer kvantitativ kunnskap om effekter av klimaendringers retning, styrke og temporære variasjon på produksjon og trofiske interaksjoner på ulike nivåer i næringskjeden opp til topp-predatorene.

6.3.1 Marint

- Match/mismatch mellom predator og byttedyr er sentrale begreper. Klimaendringer vil kunne medføre endringer i tidspunktet for reproduksjon i ulike nivåer i næringskjeden. Det er uklart om de sammenfallene mellom byttedyr/alger og predatorer som fungerer godt i dag vil gjøre det også i fremtiden. Det er behov for økt kunnskap om dette for å forstå bedre hvordan økosystemet kan reagere på klimaendringer. Generelt bør det være mer innsats på modellering av samspill mellom ulike arter og over flere trofiske nivå.
- Klimaendringer kan føre til at nye infeksjonsorganismer (virus, bakterier og parasitter) etablerer seg i Barentshavet. Det er behov for kunnskap om hvilke arter av infeksjonsorganismer dette kan dreie seg om og hvilke effekter de kan ha på bestander og interaksjoner mellom øvrige arter.
- Arter kan påvirkes indirekte av klimaendringer ved at byttedyr de lever av eller arter de konkurrerer med påvirkes i første omgang. Jo sterkere slike indirekte effekter er, jo vanskeligere kan det være å forutsi totale effekter i systemet. For å kunne si noe om forutsigbarhet i økosystemet i Barentshavet, er det derfor behov for kunnskap om betydningen av indirekte effekter.
- Kunnskapen om responstiden til marine arter på en klimaendring er sterkt begrenset. Vil for eksempel en rask tilbaketrekking av isen tillate de mange spesialiserte artene som lever nær, på eller under isen å tilpasse seg dette? Mikroorganismer, dyreplankton, fisk, pattedyr og sjøfugl forventes å få endret utbredelse, og det er behov for økt kunnskap om hvor fort dette skjer.
- Mange arktiske arter har relativt små habitater og krav til omgivelser og mat, og det er uvisst hvordan disse organismene vil reagere på en økt konkurranse fra mer opportunistiske, boreale arter. Dersom kolmule og makrell, som er store planktonspisere, begrenser importen av dyreplankton fra Norskehavet, vil dette kunne påvirke oppvekstvilkårene for alle fiskelarvene som driver inn i Barentshavet i løpet av sommeren og høsten, samt ungsilda som befinner seg lengre øst i Barentshavet. Vi kan forvente at gytingen til norsk vårgytende sild forflytter seg nordover langs kysten ved et varmere klima, men det er behov for mer kunnskap om hvordan dette påvirker fordelingen resten av året.

- Nesten all evaluering av effekten av UV-stråling på alger er basert på korttidsstudier. Langtidsstudier av bestråling både på individer og produksjon i det marine økosystemet mangler, og det er derfor behov for økt kunnskapsinnsats på dette området.
- Det meste av data som finnes om biologiske effekter av forsuring, har vært påvist ved store endringer i pH. De nærmeste 10–100 år ventes mer moderate endringer i pH i havet, og det er derfor behov for kunnskap om biologiske effekter av moderate endringer i pH i sjøvann. Særlig viktig er det å fokusere på effekter av moderat forsuring på artssammensetning og suksjonsmønstre hos planteplankton, samt reproduksjonsprosesser og overlevelse av egg og yngel hos de store gruppene av dyr i næringskjeden, som raudåte, krill, vingesnegler og skalldyr. Det trengs mer kunnskap både på direkte effekter av forsuring på sjøfugl og pattedyr, og på de indirekte effektene gjennom påvirkninger på byttedyr.
- Det er gjort lite forskning som kan bidra til å forutse hvordan miljøgiftbelastningen vil endre seg som følge av klimaendringer. Det er stort behov for å kartlegge hvordan endringer i luft- og havstrømmer vil påvirke tilførsel av forurensning og hvordan sammensetningen av miljøgifter som belaster arktiske økosystemer vil endre seg som følge av dette. Det er videre viktig å få kunnskap om hvordan endret forurensningsbelastning, temperaturendringer og andre stressfaktorer samlet påvirker arter og økosystemer. Denne typen ny kunnskap er viktig for å kunne forutse effekten av endringene og eventuelt sette i verk tiltak for å motvirke de mest skadelige påvirkningene.

6.3.2 Terrestrisk

- Økologisk forståelse og modellutvikling ligger langt etter klimamodellene med hensyn til detaljerte prediksjoner i tid og rom. Det kan synes som om kvaliteten på fremtidige prediksjoner for utviklingen i økosystemene i nordområdene i all hovedsak er begrenset av vår økologiske kunnskap og dermed evne til å bygge inn klimatiske forandringer i egnede økosystemmodeller. Bedre kunnskap om hvilke store forandringer som forventes i økosystemene som et resultat av klimaforandringer, må derfor komme gjennom større forståelse av klimaets påvirkning på artene, artenes evne til å tilpasse seg eller kompensere for klimatiske forandringer, og interaksjonene mellom artene i økosystemene. Slike studier bør kombineres med overvåkning for å ha mulighet til tidlig å fange opp store uønskede forandringer og derigjennom gjøre det mulig å sette i gang mottiltak på et tidlig tidspunkt. Med tanke på slike mottiltak bør man også opparbeide bedre kunnskap om hvordan forskjellige naturforvaltningsstrategier påvirker økosystemet. Slik kunnskap vil gjøre det mulig å evaluere eventuelle mottiltak mot særdeles uheldige utviklingsforløp.
- Det terrestriske økosystemet på Svalbard har relativt lav kompleksitet på grunn av sitt relativt lave artsmangfold,

i tillegg forventes klimaforandringene å bli større på Svalbard enn i Nord-Norge. Den lave kompleksiteten i økosystemet tilsier at studier på Svalbard lettere vil gi sikker kunnskap om hvilke økosystemprosesser som påvirkes mest av klimaforandringene enn tilsvarende studier i Nord-Norge. Det er med andre ord grunn til å videreutvikle Svalbard som forskningsplattform for studier av arktiske økosystemprosesser.

- Det er i dag lite overvåkning av økosystemene i Nord-Norge og på Svalbard som er egnet til å fange opp eventuelle forandringer som skyldes klimaforandringer. For å fange opp viktige forandringer på et tidlig tidspunkt bør man opprette overvåkningsprogram som:
 - fokuserer på overvåkning av de deler av økosystemene der man forventer betydelige forandringer
 - fokuserer på utsatte og globalt eller nasjonalt sjeldne arter eller habitater
 - har potensial til å fange opp overraskelser
- Vi har i dag lite kunnskap om det terrestriske økosystemet på Jan Mayen. Dette kunnskapshullet bør i første rekke fylles av en systematisk kartlegging av vegetasjonen og dyrelivet er på øya.

6.3.3 Limnisk

Det finnes store kunnskapshull både med hensyn til 1) effekter av klima på limniske systemer i Arktis, og 2) mulige tilpasninger til klimaendringer. Den begrensede kunnskapen vi har, er basert på et fåtall feltstudier over relativt korte perioder, og det er ikke gjennomført noen storskala eksperimentelle studier i limniske økosystemer i Arktis. Svalbard innehar relativt enkle limniske økosystemer, spredt over et relativt stort geografisk område (76–81 °N) med stor miljøvariasjon, og der små endringer i temperatur og nedbør vil ha store effekter på økosystemene. De limniske økosystemene på Svalbard er derfor spesielt godt egnet for å studere økosystemenes påvirkning fra miljø og klima, og der spesielt effektene på økosystemenes dynamikk, relatert til om nedbøren kommer som snø eller regn, bør prioriteres. Langs kysten av Nord-Norge vil effektstudier av et mulig

varmere klima være viktig. Et eksempel er forholdet mellom anadromitet og residens i røypopulasjoner. I innsjøsystemer kan en designe studier langs to geografiske gradienter, der koblingen mellom temperatur og nedbør (snø) vil virke ulikt; 1) fra sør til nord langs kysten (eller lavland til høyfjell), der temperaturen avtar og snømengden øker og 2) fra vest til øst på Finnmarksvidda, der både temperatur og nedbør avtar.

Generelt mangler data på langtidsendringer i fysiske, kjemiske og biologiske parametre i hele det arktiske området (rundt Polhavet). Det er derfor også viktig at det gjennomføres en integrering/syntese av sirkumpolare data fra ulike prosjekter og studier, for eksempel samarbeidsprosjekter med Russland (Sibir), øyer i Barentshavet, Svalbard og Grønland. Forsker-nettverk vil være viktig i denne sammenheng.

Den lave kompleksiteten i de artsfattige limniske økosystemene på Svalbard er godt egnet til å studere samspillet mellom klimavariabler og livshistorieprosesser hos akvatiske organismer. Det finnes gode modellorganismer der en kan inkludere retrospektive analyser og kombinere dette med fremtidige overvåkningsprogram. Dette vil gi en raskere kunnskap om de viktigste årsakssammenhengene mellom klimatiske og økologiske variabler, og dermed detektere mulige mottiltak for å hindre uønskede effekter av et endret klima. Spesielt mangler gode modeller for å forutsi effektene av kombinasjonen økt temperatur og økt nedbør på akvatiske organismer. Ved å kombinere historiske livshistoriedata på akvatiske organismer med fysiske isdata (satellittbilder), kan retrospektive sammenhenger bygges inn i modellene. Dette må kombineres med fysisk overvåking av vanntemperatur, istykkelse, isgang og så videre i en del geografisk atskilte lokaliteter.

Endringer i klima vil påvirke den økologiske og genetiske balansen/koblingen innen arter i limniske økosamfunn. Hos fisk må en også inkludere beskatning som en ytre parameter, da den største og mest attraktive delen av bestanden (kannibal og sjørøye) kan utgjøre en egen genetisk fraksjon av bestanden. Dette har stor betydning for forvaltningen av arktiske limniske system.

7 Referanser

- Aanes S 2009. Nordøstarktisk hyse. I Gjøsæter H, Dommasnes A, Falkenhaug T, Hauge M, Johannessen E, Olsen E & Skagseth Ø (red): Havnets Ressurser og miljø 2009. Fisken og Havet særnr 1-2009, 48–49. Havforskningsinstituttet
- Aanes R, Sæther B-E, Smith FM, Cooper EJ, Wookey PA & Øritsland NA 2002. The Arctic Oscillation predicts effects of climate in two trophic levels in a high-arctic ecosystem. *Ecology Letters* 5, 445–453
- Aanes R, Sæther B-E & Øritsland NA 2000. Fluctuations of an introduced population of Svalbard reindeer: the effects of density dependence and climatic variation. *Ecography* 23, 473–443
- ACIA 2004. Impacts of a warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment. Cambridge University Press
- ACIA 2005. Arctic Climate Impact Assessment. Cambridge University Press
- Alsos IG, Eidesen PB, Ehrich D, Skrede I, Westergaard K, Jacobsen GH, Landvik JY, Taberlet P & Brochmann C 2007. Frequent long-distance plant colonization in the changing Arctic. *Science* 316, 1606–1609
- Anker-Nilssen T & Aarvak T 2006. Tidsseriestudier av sjøfugler i Røst kommune, Nordland. Resultater med fokus på 2004 og 2005. NINA Rapport 133
- Anker-Nilssen T, Barrett RT, Bustnes JO, Christensen-Dalsgaard S, Erikstad KE, Fauchald P, Lorentsen S-H, Steen H, Strøm H, Systad GH & Tveraa T 2008. SEAPOP studies in the Barents and Norwegian Seas in 2007. NINA Rapport 363
- Barrett R 2007. Død eller levende. Ottar 1, 14–19
- Blindeheim J, Borovkov V, Hansen B, Malmberg S-A, Turrell WR & Østerhus S 2000. Upper layer cooling and freshening in the Norwegian Sea in relation to atmospheric forcing. *Deep-Sea Research I* 47, 655–680
- Bochkov YA 1976. On the effect of solar activity of various periodicity on the thermal regime of the Barents Sea. *ICES CM1976/C:19*
- Bogstad B 2009. Nordaustarktisk torsk. I Gjøsæter H, Dommasnes A, Falkenhaug T, Hauge M, Johannessen E, Olsen E & Skagseth Ø (red): Havnets Ressurser og Miljø 2009. Fisken og Havet særnr 1-2009, 46–47. Havforskningsinstituttet
- Bogstad B, Gjøsæter H, Ingvaldesen RB & Stiansen JE 2008. Oversikt over økosystem Barentshavet. I Gjøsæter H, Hues G, Robberstad Y, Skogen M (red): Havnets Ressurser og Miljø 2008. Fisken og Havet særnr 1-2008, 64–65. Havforskningsinstituttet
- Bokhorst S, Bjerke JW, Bowles FW, Melillo J, Callaghan TV & Phoenix GK 2008. Impacts of extreme winter warming in the sub-Arctic: growing season responses of dwarf shrub heathland. *Global Change Biology* 14, 2603–2612
- Borgstrøm R 2001. Relationship between spring snow depth and growth of brown trout, *Salmo trutta*, in an alpine lake: Predicting consequences of climate change. *Arctic, Antarctic and Alpine research* 33 (4), 476–480
- Borgstrøm R & Museth J 2005. Accumulated snow and summer temperature – critical factors for recruitment to high mountain populations of brown trout (*Salmo trutta* L.). *Ecology of freshwater fish* 14, 375–384
- Borisov VM & Elizarov AA 1989. Long-term variations of abiotic conditions in the ecosystem of the Barents Sea. *Journal of Fisheries Biology* 35, 139–144
- Broms C & Melle W 2005. Seasonal development of *Calanus finmarchicus* in relation to phytoplankton bloom dynamics in the Norwegian Sea. GLOBEC symposium on effects of climate variability on sub-Arctic marine ecosystems, 2760–2775. Pergamon-Elsevier Science Ltd
- Bråthen KA, Ims RA, Yoccoz NG, Fauchald P, Tveraa T & Hausner VH 2007. Induced shift in ecosystem productivity? Extensive scale effects of abundant large herbivores. *Ecosystems* 10, 773–789
- Børshem KY 2008. Forsuring av havet medfører nye utfordringer for biologisk forskning. Fisker og Havet 3-2008. Havforskningsinstituttet
- Callaghan TV, Bjorn LO, Chapin FS III, Chernov Y, Christensen TR, Huntley B, Ims R, Johnsson M, Jolly D, Jonasson S, Matveyeva N, Oechel WC, Panikov N og Shaver GR 2005. Tundra and polar desert ecosystems. In Corell R (ed): Arctic Climate Impact Assessment, 243–352. Cambridge University Press
- Christensen-Dalsgaard S, Bustnes JO, Follestad A, Systad GH, Eriksen JM, Lorentsen S-H & Anker-Nilssen T 2008. Tverrsektoriell vurdering av konsekvenser for sjøfugl. Grunnlag-rapport til en helhetlig forvaltningsplan for Norskehavet. NINA Rapport 338. Direktoratet for naturforvaltning
- Christoffersen K, Amsinck SL, Landkildhus F, Lauridsen TL & Jeppesen E 2008. Lake flora and fauna in relation to ice-melt, water temperature and chemistry at Zackenberg. *Advances in ecological research* 40, 371–389
- Coulson SJ 2007. Terrestrial and freshwater invertebrate fauna of the High Arctic Archipelago of Svalbard. *Zootaxa* 1448, 41–58
- Coulson SJ, Hodkinson ID, Webb NR & Harrison JA 2002. Survival of saltwater immersion by terrestrial invertebrates. Implications for the colonisation of Arctic islands. *Functional Ecology* 16, 353–356
- Coulson SJ, Leinaas HP, Ims RA & Søvik G 2000. Experimental manipulation of the winter surface ice layer: the effects on a High Arctic soil microarthropod community. *Ecography* 23, 299–314
- Coulson SJ & Refseth D 2004. The terrestrial and freshwater invertebrate fauna of Svalbard (and Jan Mayen). In Prestrud P, Strøm H og Goldman H (eds): A catalogue of the terrestrial and marine animals of Svalbard. Norsk Polarinstituttets Skrifter 201, 57–122. Norwegian Polar Institute
- Dalen L & Hofgaard A 2005. Differential regional treeline dynamics in the Scandes mountains. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 37, 284–296
- Dalpadado P, Ingvaldsen R & Hassel A 2003. Dyrplankton biomass variation in relation to climatic conditions in the Barents Sea. *Polar Biology* 26, 233–241
- Derocher AE, Lunn NJ & Stirling I 2003. Polar bears in a warming climate. *Integrative and Comparative Biology* 44, 163–176
- Direktoratet for Naturforvaltning 2007. Verneplan for Jan Mayen. Rapport 2007-4
- Direktoratet for Naturforvaltning 2008. Inngrepsfrie naturområder i Norge (INON). Miljøstatus.no
- Dormann CF & Woodin SJ 2002. Climate change in the Arctic: using plant functional types in a meta-analysis of field experiments. *Functional Ecology* 16, 4–17
- Drinkwater KF 2005. The response of Atlantic cod (*Gadus morhua*) to future climate change. *ICES Journal of Marine Science* 62, 1327–1337
- Durance I & Ormerod SJ 2007. Climate change effects on upland stream macroinvertebrates over a 25-year period. *Global change biology* 13 (5), 942–957
- Durant JM, Anker-Nilssen T & Stenseth NC 2006. Ocean climate prior to breeding affects the duration of the nestling period in the Atlantic puffin. *Biology Letters* 2, 628–631
- Durant JM, Stenseth NC, Anker-Nilssen T, Harris MP, Thompson PM & Wanless S 2004. Marine birds and climate fluctuation in the North Atlantic. In Stenseth NC, Ottersen G, Hurrell JW og Belgrano A (eds): Marine ecosystems and climate variation: the North Atlantic – a comparative perspective, 95–105. Oxford University Press
- Easterling DR & Wehner MF 2009. Is the climate warming or cooling? *Geophysical Research Letters* 36, L08706, doi 10.1029/2009GL037810
- Ellingsen IH, Dalpadado P, Slagstad D & Loeng H 2008. Impact of climate change on the biological production in the Barents Sea. *Climate Change* 87, 155–175
- Fiksen Ø & Slotte A 2002. Stock-environment recruitment models for Norwegian spring spawning herring (*Clupea harengus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 59, 211–217
- Finstad A, Ugedal O, Forseth T & Nesjke T 2004. Energy-related juvenile mortality in a northern population of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fishery and Aquatic Sciences* 61, 2358–2368
- Framstad E, Hanssen-Bauer I, Hofgaard A, Kvamme M, Ottesen P, Toresen R, Wright R, Ådlandsvik B, Løbersli E & Dalen L 2006. Effekter av klimaendringer på økosystem og biologisk mangfold. DN-utredning 2006-2
- Fredga K, Jaarola M, Ims RA, Steen H & Yoccoz NG 1990. The 'common vole' in Spitsbergen identified as *Microtus epiroticus* by chromosome analysis. *Polar Research* 8, 283–290
- Freitas C, Kovacs KM, Ims RA & Lydersen C 2008. Predicting habitat use by ringed seals (*Phoca hispida*) in a warming Arctic. *Ecological Modelling* 217, 19–32
- Fuglei E & Ims RA 2008. Global warming and

- effects on the Arctic fox. *Science Progress* 91, 175–191
- Furevik T, Drange H & Sorteberg A 2002. Anticipated changes in the Nordic Seas marine climate: Scenarios for 2020, 2050 and 2080. *Fisken og Havet* 4. Havforskningsinstituttet
- Forland EJ, Benestad RE, Flatøy F, Hanssen-Bauer I, Haugen JE, Isaksen K, Sorteberg A & Ådlandsvik B 2009. Climate development in North Norway and the Svalbard region during 1900–2100. *Norsk Polarinstitutt Rapportserie* 128
- Føyn L, von Quillfeldt CH & Olsen E (red) 2002. Miljø- og ressursbeskrivelse av området Lofoten – Barentshavet. *Fisken og Havet* 6. Havforskningsinstituttet
- George DG, Maberly SC & Hewitt DP 2004. The influence of the North Atlantic Oscillation on the physical, chemical and biological characteristics of four lakes in the English Lake District. *Freshwater Biology* 49, 760–774
- Gjershaug JO, Rusch GM, Öberg S & Qvenild M 2009. Alien species and climate change in Norway. NINA Report 468. Norwegian Institute for Nature Research
- Golmen L, Berge J, Durand D, Johnsen T, Lømsland E, Pettersen A, Bjørge A, Christensen-Dalsgaard S & Hareide NR 2008. Forvaltningsplan Norskehavet – deltema forsuring av havet. NIVA rapport 5526. Norsk institutt for vannforskning
- Gornall JL, Jonsdottir IS, Woodin SJ & van der Wal R 2007. Arctic mosses govern below-ground environment and ecosystem processes. *Oecologia* 153, 931–941
- Hagemoen RIM & Reimers E 2002. Reindeer summer activity pattern in relation to weather and insect harassment. *Journal of Animal Ecology* 71, 883–892
- Halvorsen O 1987. Epidemiology of reindeer parasites. *Parasitology Today* 2, 334–339
- Hand IF & Lundquist RE 1942. Observations of radiation penetration through snow. *Monthly Weather Review* 70, 23–25
- Hansen G & Flatøy F 2007. Aerosoler, skyer og stråling i polhavområdet. NILU prosjektrapport. Norsk institutt for luftforskning
- Haug T 2008a. Klappmyss. I Gjøsæter H, Huse G, Robberstad Y & Skogen M (red): *Havets Ressurser og Miljø* 2008. *Fisken og Havet*, særnr 1-2008, 86–87. Havforskningsinstituttet
- Haug T 2008b. Grønlandssel. I Gjøsæter H, Huse G, Robberstad Y & Skogen M (red): *Havets Ressurser og Miljø* 2008. *Fisken og havet*, særnr 1-2008, 43–44. Havforskningsinstituttet
- Havforskningsinstituttet 2009. Temasider – snøkrabbe. Hentet fra Internett 25.januar 2010. <http://www.imr.no/temasider/skalldyr/snokrabbe/snokrabbe/nb-no>
- Heino M, Engelhard GH & Godø OR 2008. Migrations and hydrography determine the abundance fluctuations of blue whiting (*Micromesistius poutassou*) in the Barents Sea. *Fisheries Oceanography* 17, 153–163
- Heino J, Muotka T, Paavola R, Hämäläinen H & Koskenniemi E 2002. Correspondence between regional declinations and spatial patterns in macroinvertebrate assemblages of boreal headwater streams. *Journal of the North American Benthological Society* 21 (3), 397–413
- Helle T & Kojala I 2008. Demographics in an alpine reindeer herd: effects of density and winter weather. *Ecography* 31, 221–230
- Hessen DO 2001. UV radiation and Arctic ecosystems. *Ecological Studies* 153. Springer
- Hjermann DØ, Stenseth NC & Ottersen G 2004. Indirect climatic forcing of the Barents Sea capelin: a cohort-effect. *Marine Ecology-Progress Series* 273, 229–238
- Hodkinson ID, Webb NR, Bale JS, Block W, Coulson SJ & Strathdee AT 1998. Global change and Arctic ecosystems: Conclusions and predictions from experiments with terrestrial invertebrates on Spitsbergen. *Arctic and Alpine Research* 30, 306–313
- Hole LR & Enghardt M 2008. Climate change impact on atmospheric nitrogen deposition in northwestern Europe: A model study. *AMBIO* 37, 9–17
- Holst JC, Dragesund O, Hamre J, Misund OA & Østevedt OJ 2002. Fifty years of herring migrations in the Norwegian Sea. *ICES Marine Science Symposium* 215, 352–360
- Holst JC, Røttingen I & Melle W 2004. The herring. In Skjoldal IH (ed): *The Norwegian Sea Ecosystem*, 203–226. Tapir
- Hop H & Pavlova O 2008. Distribution and biomass transport of ice amphipods in drifting sea ice around Svalbard. *Deep-Sea Research II* 55, 2292–2307
- Høines Å 2009. Nordøstarktisk blåkveite. I Gjøsæter H, Dommasnes A, Falkenhaug T, Hauge M, Johannessen E, Olsen E & Skagseth Ø (red): *Havets Ressurser og Miljø* 2009. *Fisken og Havet* særnr 1-2009, 50–51. Havforskningsinstituttet
- Høines Å, Johannessen E & Bergstad OA 2009. Ikke-kommersielle fiskearter. I Gjøsæter H, Dommasnes A, Falkenhaug T, Hauge M, Johannessen E, Olsen E & Skagseth Ø (red): *Havets Ressurser og Miljø* 2009. *Fisken og Havet* særnr 1-2009, 60–61. Havforskningsinstituttet
- Ims RA & Fuglei E 2005. Trophic interaction cycles in tundra ecosystems and the impact of climate change. *Bioscience* 55, 311–322
- Ims RA, Henden J-A & Killengreen ST 2008. Collapsing population cycles. *Trends in Ecology and Evolution* 23, 79–86
- Ims RA, Yoccoz NG, Brathen KA, Fauchald P, Tveraa T & Hausner VH 2007. Can reindeer overabundance cause a trophic cascade? *Ecosystems* 10, 607–622
- Ingvaldsen RB 2005. Width of the North Cape Current and location of the Polar Front in the western Barents Sea. *Geophysical Research Letters* 32, L16603, doi 10.1029/2005GL023440
- IPCC 2007. Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Irons DB, Anker-Nilssen T, Gaston AJ, Byrd GV, Falk K, Gilchrist G, Hario M, Hjærnquist M, Krasnov YV, Mosbech A, Olsen B, Petersen A, Reid JB, Robertson GJ, Strom H & Wohl KD 2008. Fluctuations in circumpolar seabird populations linked to climate oscillations. *Global Change Biology* 14, 1455–1463
- Jepsen JU, Hagen SB, Ims RA & Yoccoz NG 2008. Climate change and outbreaks of the geometrids *Operophtera brumata* and *Epirrita autumnata* in subarctic birch forest: evidence of a recent outbreak range expansion. *Journal of Animal Ecology* 77, 257–264
- Jepsen JU, Hagen SB, Karlsen S-R & Ims RA 2009. Phase-dependent outbreak dynamics of geometrid moth linked to host plant phenology. *Proceedings of the Royal Society B*, doi 10.1098/rspb.2009.1148
- Jonzen N, Linden A, Ergon T, Knudsen E, Vik JO, Rubolini D, Piacentini D, Brinch C, Spina F, Karlsson L, Stervander M, Andersson A, Waldenström J, Lehikoinen A, Edvardsen E, Solvang R & Stenseth NC 2006. Rapid advance of spring arrival dates in long-distance migratory birds. *Science* 312, 1959–1961
- Jørgensen LL & Sunnanå K 2009. Ikke-kommersielle bestander. I Gjøsæter H, Dommasnes A, Falkenhaug T, Hauge M, Johannessen E, Olsen E & Skagseth Ø (red): *Havets Ressurser og Miljø* 2009. *Fisken og Havet* særnr 1-2009, 58–59. Havforskningsinstituttet
- Kauserud H, Stige LC, Vik JO, Økland RH, Høiland K & Stenseth NC 2008. Mushroom fruiting and climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105, 3811–3814
- Kausrud KL, Mysterud A, Steen H, Vik JO, Østbye E, Cazelles B, Framstad E, Eikeset AM, Mysterud I, Solhøy T & Stenseth NC 2008. Linking climate change to lemming cycles. *Nature* 456, 93–97
- Keenlyside NS, Latif M, Jungclaus J, Kornblueh L & Roeckner E 2008. Advancing decadal-scale climate prediction in North Atlantic sector. *Nature* 453, 84–88
- Kerr RA 2008. Mother nature cools the greenhouse, but hotter times still lie ahead. *Science* 320, 595
- Killengreen ST, Ims RA, Yoccoz NG, Brathen KA, Henden J-A & Schott T 2007. Structural characteristics of a low Arctic tundra ecosystem and the retreat of the arctic fox. *Biological Conservation* 135, 475–488
- Klyashtorin LB, Borisov V & Lyubushin A 2009. Cyclic changes of climate and major commercial stocks of the Barents Sea. *Marine Biology Research* 5, 4–17
- Knight JR, Allan RJ, Folland CK, Vellinga M & Mann ME 2005. A signature of persistent natural thermohaline circulation cycles in observed climate. *Geophysical Research Letters* 32, doi 10.1029/2005GL024233
- Knutsen T & Dalpadado P 2009. Sekundærproduksjon (dyreplankton). I Gjøsæter H, Dommasnes A, Falkenhaug T, Hauge M, Johannessen E, Olsen E & Skagseth Ø (red): *Havets Ressurser og Miljø* 2009. *Fisken og Havet* særnr 1-2009, 32–36. Havforskningsinstituttet
- Kohler J & Aanes R 2004. Effect of winter

- snow and ground-icing on a Svalbard reindeer population: results of a simple snowpack modell. Arctic, Antarctic, and Alpine Research 36, 333–341
- Kovacs K & Lydersen C (red) 2006. Svalbards fugler og pattedyr. Norsk Polarinstittutt
- Kushnir Y 1994. Interdecadal variations in North Atlantic sea surface temperature and associated atmosphere conditions. Journal of Climate 7, 141–157
- Livingstone DM & Dokulil MT 2001. Eighty years of spatially coherent Austrian lake surface temperatures and their relationship to regional air temperature and the North Atlantic Oscillation. Limnology and Oceanography 46 (5), 1220–1227
- Loeng H 2008a. Tilstanden i økosystem Norskehavet. I Gjøsæter H, Huse G, Robberstad Y, Skogen M (red): Havets Ressurser og Miljø 2008. Fisken og Havet særnr 1-2008, 12–13. Havforskningsinstituttet
- Loeng H 2008b. Klimaendringer i Barentshavet – Konsekvenser av økte CO₂-nivåer i atmosfæren og havet. Norsk Polarinstittutt Rapportserie 126
- Loeng H 2009. Tilstanden i økosystem Norskehavet. I Gjøsæter H, Dommasnes A, Falkenhaus T, Hauge M, Johannessen E, Olsen E & Skagseth Ø (red): Havets Ressurser og Miljø 2009. Fisken og Havet særnr 1-2009, 12–13. Havforskningsinstituttet
- Loeng H, Bjørke H & Ottersen G 1995. Larval fish growth in the Barents Sea. Canadian Special Publication on Fisheries and Aquatic Sciences 691–698
- Loeng H, Blindheim J, Ådlandsvik B & Ottersen G 1992. Climatic variability in the Norwegian and Barents Seas. ICES Marine Science Symposium 195, 52–61
- Loeng H, Drinkwater K 2007. An overview of the ecosystems of the Barents and Norwegian Seas and their respons to climate variability. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography 54, 23–26
- Luoto M, Heikkinen RK & Carter TR 2004. Loss of palsa mires in Europe and biological consequences. Environmental Conservation 31, 30–37
- Mann ME, Bradley RS & Hughes MK 1998. Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. Nature 392, 779–787
- Melle W, Ellertsen B & Skjoldal HR 2004. Dyreplankton: The link to higher trophic levels. In Skjoldal HS (ed): The Norwegian Sea Ecosystem, 137–202. Tapir
- Menzel A, Sparks TH, Estrella N, Koch E, Aasa A, Ahas R, Alm-Kübler K, Bissoli P, Breslavská O, Briede A, Chmielewski FM, Crepinsek Z, Curnel Y, Dahl Å, Defila C, Donnelly A, Filella Y, Jatczak K, Måge F, Mestre A, Nordli Ø, Peñuelas J, Pirinen P, Remišová V, Scheffinger H, Striz M, Susnik A, van Vliet AJH, Wielgolaski F-E, Zach S & Zust A 2006. European phenological response to climate change matches the warming pattern. Global Change Biology 12, 1969–1976
- Moen A 1998. Nasjonalatlas for Norge: Vegetasjon. Statens Kartverk
- Mysterud A & Østby E 2006. Effect of climate and density on individual and population growth of roe deer *Capreolus capreolus* at northern latitudes: the Lier valley, Norway. Wildlife Biology 12, 321–329
- Møller AP, Rubolini D & Lehtikoinen E 2008. Populations of migratory bird species that did not show a phenological response to climate change are declining. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 105, 16195–16200
- Nedreaas K & Planque P 2009a. Vanlig uer. I Gjøsæter H, Dommasnes A, Falkenhaus T, Hauge M, Johannessen E, Olsen E & Skagseth Ø (red): Havets Ressurser og Miljø 2009. Fisken og Havet særnr 1-2009, 52–53. Havforskningsinstituttet
- Nedreaas K & Planque P 2009b. Snelu. I Gjøsæter H, Dommasnes A, Falkenhaus T, Hauge M, Johannessen E, Olsen E & Skagseth Ø (red): Havets Ressurser og Miljø 2009. Fisken og Havet særnr 1-2009, 53–55. Havforskningsinstituttet
- Norsk Polarinstittutt 2009. Arter – lomvi. Hentet fra Internett 25.januar 2010. <http://npweb.npolar.no/tema/Arter/lomvi>
- Norsk Polarinstittutt 2008. Miljøstatus Svalbard. Dyr og planter. Hentet fra Internett 25.januar 2010. http://svalbard.miljostatus.no/msf_themepage.aspx?m=107
- Nybø S, Strann K-B, Bjerke JW, Tømmervik H, Hagen D & Hofgaard A 2009. Tilpasninger til klimaendringer i Nord-Norge og på Svalbard. NINA Rapport 436. Norsk institutt for naturforskning
- Nøttestad L & Olsen E 2004. Whales and seals: Top predators in the ecosystem. In Skjoldal HR & Sætre R (eds): The Norwegian Sea Ecosystem, 395–434. Tapir
- Olsen E & Auran JA (red) 2008. Helhetlig forvaltningsplan for Norskehavet: Sårbarhet for særlig verdifulle områder i forhold til petroleumsvirksomhet, fiskeri, skipstrafikk og annen påvirkning. Havforskningsinstituttet
- Olsen E & von Quillfeldt CH (red) 2003. Identifisering av særlig verdifulle områder i Lofoten – Barentshavet. Havforskningsinstituttet
- Ottersen G & Auran JA (red) 2007. Arealrapport med miljø og ressursbeskrivelse. Fisken og Havet 6-2007. Havforskningsinstituttet
- Ottersen G, Hjermann D & Stenseth NC 2006. Changes in spawning stock structure strengthens the link between climate and recruitment in a heavily fished cod stock. Fisheries Oceanography 15, 230–243
- Ottersen G & Loeng H 2000. Covariability in early growth og year-class strength of Barents Sea cod, haddock og herring: The environmental link. ICES Journal of Marine Science 57, 339–348
- Ottersen G & Stenseth NC 2001. Atlantic climate governs oceanographic and ecological variability in the Barents Sea. Limnology og Oceanography 46, 1774–1780
- Ottersen G, Stenseth NC & Hurrell JW 2004. Climatic fluctuations and marine systems: a general introduction to the ecological effects. I Stenseth NC, Ottersen G, Hurrell JW & Belgrano A (eds): Marine ecosystems and climate variation: the North Atlantic, 3–14. Oxford University Press
- Ottersen G, Planque B, Belgrano A, Post E, Reid PC & Stenseth NC 2001. Ecological effects of the North Atlantic Oscillation. Oecologia 128, 1–14
- Ottersen G & van der Meer GI (red) 2008. Helhetlig forvaltningsplan for Norskehavet: Vurdering av kunnskapsstatus og kunnskapsbehov. Havforskningsinstituttet
- Perry AL, Low PJ, Ellis JR & Reynolds JD 2005. Climate change and distribution shifts in marine fishes. Science 308, 1912–1915
- Postmyr E (red) 2008. Helhetlig forvaltningsplan for Norskehavet: Konsekvenser av ytre påvirkning. Direktoratet for Naturforvaltning
- Primicerio R, Rossetti G, Amundsen P-A & Klemtsen A 2007. Impact of climate change on arctic and alpine lakes: Effects of phenology and community dynamics. In Ørbek P (ed): Arctic and alpine ecosystems, 51–69. Springer
- Prowse TD, Bonsal BR, Duguay CR, Hessen DO & Vuglinsky VS 2008. River and lake ice. United Nations Environment Programme (UNEP) report GEO 201–213
- Prowse TD, Wrona FJ, Reist JD, Hobbie JE, Lèvesque LMJ & Vincent WF 2006a. General features of the Arctic relevant to climate change in freshwater ecosystems. Ambio 35 (7), 330–338
- Prowse TD, Wrona FJ, Reist JD, Gibson JJ, Hobbie JE, Lèvesque LMJ & Vincent WF 2006b. Historical changes in Arctic freshwater ecosystems. Ambio 35 (7), 339–346
- Rammul U, Oksanen T, Oksanen L, Lehtelä J, Virtanen R, Olofsson J, Strengbom J, Rammul I & Ericson L 2007. Vole-vegetation interactions in an experimental, enemy free taiga floor system. Oikos 116, 1501–1513
- Reindriftsforvaltningen 2008. Ressursregnskap for reindriften for reindriftsåret 1. april 2006–31. mars 2007.
- Rigler F W 1978. Limnology in the High Arctic: a case study of Char Lake. Verh. Intern. Verein. Limnol. 20, 127–140
- Rognerud S, Skotvold T, Fjeld E, Norton SA & Hobæk A 1998. Concentrations of trace elements in recent and preindustrial sediments from Norwegian and Russian Arctic lakes, Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 55, 1512–1523
- Rosseland BO, Rognerud S, Massabuau J-C, Hofer R & Grimalt J 1997. MOLAR. Protocol for fish sampling: testfishing. fish physiology, fish histology, heavy metals and organic micropollutants. In Wathne B & Hansen H (eds): MOLAR. Project Manual. Measuring and Modelling the Dynamic Response of Remote Mountain Lake Ecosystems to Environmental Change, A programme of Mountain Lake Research, MOLAR. NIVA-Report, 149–166. Norwegian Institute for Water Research
- Røttingen I 2009. Tilstanden i økosystem Barentshavet. I Gjøsæter H, Dommasnes A, Falkenhaus T, Hauge M, Johannessen E, Olsen E & Skagseth Ø (red): Havets Ressurser og Miljø 2009. Fisken og Havet særnr 1-2009, 8–9. Havforskningsinstituttet

- Sakshaug E, Bjørge A, Gulliksen B, Loeng H & Mehlum F (red) 1994. Økosystem Barentshavet. Norges almenvitenskapelige forskningsråd, Norges fiskeriforskningsråd, Miljøvern-departementet
- Sakshaug E, Bjørge A, Gulliksen B, Loeng H & Mehlum F 1994. Structure, biomass distribution, and energetics of the pelagic ecosystem in the Barents Sea: a synopsis. *Polar Biology* 14, 405–411
- Schipper J, Chanson JS, Chiozza F, Cox NA, Hoffmann MA, Katariya V, Lamoreux J, Rodrigues ASL, Stuart SN, Temple HJ, Baillie J, Boitani L, Lacher TE Jr., Mittermeier RA, Smith AT, AbsolonD, Aguiar JM, Amori G, Bakkour N, Baldi R, Berridge RJ, Bielby J, Black PA, Blanc JJ, Brooks TM, Burton JA, Butynski TM, Catullo G, Chapman R, Cokeliss Z, Collen B, Conroy J, Cooke JG, da Fonseca GAB, Derocher AE, Dublin HT, Duckworth JW, Emmons L, Emslie RH, Festa-Bianchet M, Foster M, Foster S, Garshelis DL, Gates C, Gimenez-Dixon M, Gonzalez S, Gonzalez-Maya JF, Good TC, Hammerson G, Hammond PS, Happold D, Happold M, Hare J, Harris RB, Hawkins CE, Haywood M, Heaney LR, Hedges S, Helgen KM, Hilton-Taylor C, Hussain SA, Ishii N, Jefferson TA, Jenkins RKB, Johnston CH, Keith M, Kingdon J, Knox DH, Kovacs KM, Langhammer P, Leus K, Lewison R, Lichtenstein G, Lowry LF, Macavoy Z, Mace GM, Mallon DP, Masi M, McKnight MW, Medellín RA, Medici P, Mills G, Moehlman PD, Molur S, Mora A, Nowell K, Oates JF, Olech W, Oliver WRL, Oprea M, Patterson BD, Perrin WF, Polidoro BA, Pollock C, Powel A, Protas Y, Racey P, Ragle J, Ramani P, Rathbun G, Reeves RR, Reilly SB, Reynolds JE III, Rondinini C, Rosell-Ambal RG, Rulli M, Rylands AB, Savini S, Schank CJ, Sechrest W, Self-Sullivan C, Shoemaker A, Sillero-Zubiri C, De Silva N, Smith DE, Srinivasulu C, Stephenson PJ, van Strien N, Talukdar BK, Taylor BL, Timmins R, Tirira DG, Tognelli MF, Tsytsulina K, Veiga LM, Vié J-C, Williamson EA, Wyatt SA, Xie Y & Young BE 2008. The status of the world's land and marine mammals: diversity, threat, and knowledge. *Science* 322, 225–230
- Skagseth Ø, Furevik T, Loeng H, Ingvaldsen R, Mork KA, Orvik KA & Ozhigin V 2008. Volume and heat transports to the Arctic Ocean via the Norwegian and Barents Seas. In Dickson RR, Meincke J & Rhines P (eds): Arctic-subarctic ocean fluxes, 45–64. Springer
- Skagseth Ø, Orvik KA & Furevik T 2004. Coherent variability of the Norwegian Atlantic Slope Current derived from TOPEX/ERS altimeter data. *Geophysical Research Letters* 31, L14304, doi 10.2929/2004GL020057
- Skjoldal H 2004. An introduction to the Norwegian Sea ecosystem. In Skjoldal H (ed): The Norwegian Sea ecosystem, 15–32. Tapir
- Skjoldal HR & Sætre R 2004. Climate and ecosystem variability. In Skjoldal H (ed): The Norwegian Sea ecosystem, 507–534. Tapir
- Slotte A & Fiksen O 2000. State-dependent spawning migration in Norwegian spring-spawning herring. *Journal of Fish Biology* 56, 138–162
- Smith LC, Sheng Y, MacDonald GM & Hinzman LD 2005. Disappearing arctic lakes. *Science* 308, 1429
- Smol JB, Wolfe AP, Birks HJB, Douglas MSV, Jones VJ, Korhola A, Pieniitz R, Rühland K, Sovari S, Antoniadis D, Brooks SJ, Fallu M-A, Hughes M, Keatley BE, Laing TE, Michelutti N, Nazarova L, Nyman M, Paterson AM, Perren B, Quinlan R, Rautio M, Saulnier-Talbot É, Siitonen S, Solovieva N & Weckström J 2005. Climate-driven shifts in the biological communities of arctic lakes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102 (12), 4397–4402
- Solberg EJ, Jordhøy P, Strand O, Aanes R, Loison A, Sæther B-E & Linnell JDC 2001. Effects of density-dependence and climate on the dynamics of a Svalbard reindeer population. *Ecography* 24, 441–451
- Solberg EJ, Veiberg V, Strand O, Andersen R, Langvatn R, Heim M, Rolandsen CM, Holmström F & Solem MI 2008. Hjortevilt 2007. NINA Rapport 380. Norsk institutt for naturforskning
- Statens Kartverk 2008. Arealstatistikk for Norge 2008
- Statistisk Sentralbyrå 2008. Statistisk Årbok 2008
- Stonehouse B 1989. *Polar Ecology*. Blackie/Chapman and Hall
- Straile D, Livingstone DM, Weyhenmeyer GA & George DG 2003. The response of freshwater ecosystems to climate variability associated with the North Atlantic Oscillation. In Hurrell JW, Kushir Y, Otttersen G & Visbeck M (eds): The North Atlantic Oscillation: climatic significance and environmental impact. American Geophysical Union, 263–279
- Sundby S 2000. Recruitment of Atlantic cod stocks in relation to temperature and advection of copepod populations. *Sarsia* 85, 277–298
- Sundby S 2006. Klimavariasjoner, klimaendringer og virkninger på marine økosystemer. *Cicerone* 4, 37–39
- Sundby S & Nakken O 2008. Spatial shifts in spawning habitats of Arcto-Norwegian cod related to multidecadal climate oscillations and climate change. *ICES Journal of Marine Science* 65, 953–962
- Sutton RT & Hodson DLR 2005. Atlantic forcing of the North American and European summer climate. *Science* 309, 5731: 115–118
- Svenning M-A 1993. History variations and polymorphism in Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.), on Svalbard and in northern Norway. Dr.scient.thesis, University of Tromsø
- Svenning M-A 2000. Fiskesamfunn i arktiske innsjøer. I Borgström R & LP Hansen (red): Fisk i ferskvann – Et samspill mellom bestander, miljø og forvaltning, 60–65. Landbruksforlaget
- Svenning M-A & Gullestad N 2002. Adaptations to stochastic environmental variations: the effects of seasonal temperatures on the migratory window of Svalbard Arctic charr. *Environmental Biology of Fishes* 64, 165–174
- Svenning M-A, Klemetsen A & Olsen T 2007. Habitat and food choice of Arctic charr in Linnévatn on Spitsbergen, Svalbard: the first year-round investigation in a High Arctic lake. *Ecology of freshwater fish* 16, 70–77
- Sysselmannen på Svalbard 2008. Bosetninger på Svalbard
- Sægvog H, Hobæk A & L'Abée-Lund JH 1996. Vulnerability of melanistic *Daphnia* to brown trout predation. *Journal of Plankton Research* 18, 1213–1228
- Sætersdal G & Loeng H 1987. Ecological adaptation of reproduction in Northeast Arctic Cod. *Fisheries Research* 5, 253–270
- Sæther BE, Tufto J, Engen S, Jerstad K, Røstad OW & Skåtan JE 2000. Population dynamical consequences of climate change for a small temperate songbird. *Science* 287, 854–856
- Sætre R, Toresen R & Anker-Nilssen T 2002. Factors affecting the recruitment variability of the Norwegian spring-spawning herring (*Clupea harengus* L.). *ICES Journal of Marine Science* 59, 725–736
- Toresen R & Østvedt OJ 2000. Variation in abundance of Norwegian spring-spawning herring (*Clupea harengus*, Clupeidae) throughout the 20th century and the influence of climatic fluctuations. *Fish and Fisheries* 1, 231–256
- Tyler NJC, Forchhammer MC & Øritsland NA 2008. Nonlinear effects of climate and density in the dynamics of a fluctuating population of reindeer. *Ecology* 89, 1675–1668
- Tømmervik H, Johansen B, Tombre I, Thanneiser D, Høgda KA, Gaare E & Wiegolaski FE 2004. Vegetation changes in the nordic mountain birch forest: the influence of grazing and climate change. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 36, 323–332
- Van Geest GJ, Hessen DO, Spiereburg P, Dahl-Hansen GAP, Christensen G, Faerovig PJ, Brehm M, Loonen MJJ & Van Donk E 2007. Goose-mediated nutrient enrichment and planctonic grazer control in arctic freshwater ponds. *Oecologia*, doi 10.1007/s00442-007-0770-7
- Vincent WF & Hobbie JE 2000. Ecology of Arctic lakes and rivers. In Nuttall M & Callaghan TV (eds): The Arctic. Environment, people and policy, 197–232. Harwood Academic Publishers
- Vongraven D (red) 2004. Konsekvenser av ytre påvirkning for norsk del av Barentshavet. Norsk Polarinstittutt
- Walker MD, Wahren CH, Hollister RD, Henry GHR, Ahlquist LE, Alatalo JM, Bret-Harte, MS, Calef, MP, Callaghan TV, Carroll AB, Epstein HE, Jonsdottir IS, Klein JA, Magnusson B, Molau U, Oberbauer SF, Rewa SP, Robinson CH, Shaver GR, Suding KN, Thompson CC, Tolvanen A, Totland O, Turner PL, Tweedie CE, Webber PJ & Wookey PA 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
- Welch HE & Kalff J 1974. Benthic photosynthesis and respiration in Char Lake. *Journal*

- of the Fisheries Research Board of Canada 31, 609–620
- Wolf A, Callaghan TV & Larson K 2008. Future changes in vegetation and ecosystem function of the Barents Region. *Climate Change* 87, 51–73
- Wood R 2008. Natural ups and downs. *Nature* 453, 43–45
- Wookey PA, Aerts R, Bardgett RD, Baptist F, Bråthen KA, Cornelissen JHC, Gough L, Hartley IP, Hopkins DW, Lavorel S & Shaver GR 2009. Ecosystem feedbacks and cascade processes: understanding their role in the responses of Arctic and alpine ecosystems to environmental change. *Global Change Biology* 15, 1153–1172
- Wrona FJ, Prowse TD, Reist JD, Hobbie JE, Le Vesque LM & Vincent WF 2006. Climate impacts on arctic freshwater ecosystems and fisheries: background, rationale and approach of the Arctic Climate Impact Assessment (ACIA). *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 35, 326–329
- Yndestad H, Turrell WR, & Ozhigin V 2008. Lunar nodal tide effects on variability of sea level, temperature, and salinity in the Faroe-Shetland Channel and the Barents Sea. *Deep-Sea Research I* 55, 1201–1217
- Øien N 2008a. Hval i Norskehavet. I Gjørøster H, Huse G, Robberstad Y & Skogen M (red): Havets Ressurser og Miljø 2008. Fisken og Havet særnr 1-2008, 85–86. Havforskningsinstituttet
- Øien N 2008b. Vågehval. I Gjørøster H, Huse G, Robberstad Y & Skogen M (red): Havets Ressurser og Miljø 2008. Fisken og Havet særnr 1-2008, 40–42. Havforskningsinstituttet

