

Harald Loeng (red.)

Klimaendringer i Barentshavet

– Konsekvenser av økte CO₂-nivåer i atmosfæren og havet





Rapportserie nr. 126

Harald Loeng (red.)

Klimaendringer i Barentshavet

– Konsekvenser av økte CO₂-nivåer i atmosfæren og havet

Norsk Polarinstitutt er Norges sentrale statsinstitusjon for kartlegging, miljøovervåking og har forvaltningsrettet forskning i Arktis og Antarktis. Instituttet er faglig og strategisk rådgiver i miljøvernsaker 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 the Norwegian polar regions. The institute also advises Norwegian authorities on matters concerning polar environmental management.

Norsk Polarinstitutt 2008

Adresser:

Norsk Polarinstitutt

Polarmiljøsentret

9296 Tromsø

e-post: post@npolar.no

noracia@npolar.no

www.noracia.npolar.no

© Norsk Polarinstitutt, www.npolar.no

Teknisk redaktør: Magnar Bjerga

Forsidefoto: Cecilie von Quillfeldt

Grafisk design: Jan Roald

Trykket: Juni 2008

ISBN: 978-82-7666-249-8

ISSN: 0803-0421

Forord

Regjeringen fremmet i Soria Moria-erklæringen ønsket om en egen utredning om konsekvensene av global oppvarming på miljøet og naturressursene i Barentshavet. I brev datert 6. november 2006 ba følgelig Miljøverndepartementet om at det innenfor rammen av NorACIA¹ skulle lages en egen utredning med sammenstilling av eksisterende kunnskap om konsekvensene av økte CO₂-nivåer i havet og atmosfæren; herunder forsuring av havet, endringer i klima og effektene for blant annet havstrømmer, det marine økosystemet og næringsaktivitet. Rapporten skulle også ta opp behovet for ytterligere forskning.

En egen arbeidsgruppe med ansvar for å utarbeide dokumentet ble opprettet i februar 2007. Gruppen har hatt følgende medlemmer:

Harald Loeng, Havforskningsinstituttet – leder
Bjørn Ådlandsvik, Havforskningsinstituttet
Kim Holmén, Norsk Polarinstitut (NP)
Kit M. Kovacs, Norsk Polarinstitut
Grete K. Hovelsrud, CICERO Senter for klimaforskning
Alf Håkon Hoel, Universitetet i Tromsø/Norsk Polarinstitut
Cecilie von Quillfeldt, Norsk Polarinstitut
Magnar Bjerga, Norsk Polarinstitut – sekretær

I tillegg har Stine Rybråten (CICERO), Hallvard Strøm (NP), Birgit Njåstad (NP) og Per Arneberg (NP) bidratt vesentlig i arbeidet. Videre har dokumentet vært på høring til utvalgte forsknings- og forvaltningsmiljøer, og det ble i denne sammenheng mottatt verdifulle kommentarer og innspill.

Bjørn Fosli Johansen
Avdelingsdirektør, Norsk Polarinstitut

¹NorACIA er den norske oppfølgingen av Arktisk råd-prosjektet "Arctic Climate Impact Assessment" som har som formål å utvikle, sammenstille og formidle kunnskap om klimaendringer – effekter og tilpasninger – i norsk Arktis.

Sammendrag

I Soria Moria-erklæringen fremmet Regjeringen et ønske om en egen klimautredning for Barentshavet. Miljøverndepartementet ba på bakgrunn av dette om en slik utredning innenfor rammen av det norske klimautredningsprogrammet NorACIA. I februar 2007 ble det følgelig opprettet en egen arbeidsgruppe med ansvar for å utarbeide NorACIA-rapporten Klimaendringer i Barentshavet – Konsekvenser av økte CO₂-nivåer i atmosfæren og havet.

Denne rapporten oppsummerer kunnskapsstatus om dagens og framtidens klimaforhold i Barentshavet og de effekter variasjoner i klimaet har og kan få på marine økosystemer, samt nærings- og samfunnsforhold knyttet til dette havområdet. Rapporten skiller ikke mellom naturlige variasjoner og menneskeskapte endringer i klimaet. Utredningen bygger på eksisterende kunnskap og vil være en del av grunnlaget for den planlagte oppdateringen av Helhetlig forvaltningsplan for Barentshavet i 2010.

Barentshavet er et av sokkelhavene som omgir Polhavet, og er det desidert varmeste avrandhavene. Økosystemet i Barentshavet er et av de rikeste, reneste og mest produktive havområder i verden. Barentshavets biologiske mangfold er stort, breddegraden tatt i betraktning, med godt over tre tusen registrerte arter av dyr og alger.

Både hav- og atmosfæreklimaet i og over Barentshavet har endret seg de siste årene. Endringer i klima knyttes som oftest til endringer i temperatur, men også øvrige klimaparametere som saltholdighet, strøm- og isforhold, lys (som bl.a. endres med skyforhold og årstid) og turbulens (som endres med vindforholdene) påvirker økosystemet.

Modellkjøringer viser generelt stor oppvarming i Arktis, omtrent dobbelt så mye som gjennomsnittet for hele kloden. Men dette er også området hvor det er størst sprik mellom de ulike modellene. Problemene skyldes blant annet den rollen sjøis og skydekke spiller i klimasystemet. Noe av problemene med modellresultatene kan også skyldes at Barentshavet er et sokkelhav med fysiske prosesser som ikke er tatt høyde for i klimamodellene.

I et framtidig, varmere klima er det uklart hva som vil skje med polarfronten. Dersom fronten bryter sammen, må vi forvente et helt annet vannmasseregime i det nordlige Barentshavet. Det er imidlertid stor usikkerhet knyttet til de framtidige strømforhold. Vi forventer en vannstandsøkning på 18-20 cm fram mot 2050 og 45-65 cm fram mot 2100 på kysten av Troms og Finnmark. Nedskalerte scenarier viser at vi kan forvente en moderat økning i stormaktivitet over Barentshavet, men dette er det imidlertid knyttet stor usikkerhet til. Det er også vist at det kan bli en signifikant økning i stormfloaktiviteten i Barentshavet om høsten. Videre synes det som at kraftige småskala effekter (kysteffekter, arktiske fronter, polare lavtrykk etc.) kan bli mer vanlig i framtiden. Med unntak av sommersesongen forventes det også økt forekomst av tåke.

Barentshavet har vært isfritt om sommeren de siste årene. Nærmere 2100 forventes Barentshavet også å være isfritt om vinteren. Dette vil føre til en reduksjon i artsmangfoldet i is-samfunnene, hvor de artene som er avhengig av flerårsis vil bli sterkest rammet i første omgang. Det vil antakelig bli en generell dreining mot mer pelagiske systemer, og primærproduksjonen i den delen av Barentshavet som i dag er islagt vil kunne øke betydelig dersom isen forsvinner, avhengig av endringer i blant annet temperatur og vind-, skydekke- og strømningsforhold.

Under et varmere klima kan flere arter av dyreplankton få en mer nordlig utbredelse enn før. Det er imidlertid svært vanske-

lig å si noe om hvordan mengden av dyreplankton vil utvikle seg under endrete klimaforhold, da dette er nært knyttet til endringer i næringsforhold og predatortrykk (faren for selv å bli spist).

Vi forventer at et varmere Barentshav med mindre is vil utvide leveområdet til mange fiskebestander, men noen av disse forskyvningene vil skje trinnvis avhengig av om og når nye gyteplasser lenger nord eller øst tas i bruk. Klimatiske forhold ser for eksempel ut til å ha påvirket hvor torskebestanden gyter. De tradisjonelle gytefeltene i Lofoten er etter de senere årenes oppvarming til en viss grad erstattet av gytefelt utenfor Vesterålen og kysten av Troms og Finnmark. Torsken er stor nok til å kunne utvide sitt beiteområde nordover og fortsatt ha sine gytefelter langs Nord-Norge. Lodda har med dagens gytefelter imidlertid sannsynligvis ikke særlig mer rekkevidde nordover, og en ytterligere nordlig forskyvning betinger en forskyvning av gytefeltene. Respons på klimaendringer for en art kan også bli modifisert av andre arter, noe som gjør det vanskeligere å forutsi hvordan hver enkelt art vil endre sin utbredelse under endrede klimatiske forhold.

Det er stor usikkerhet knyttet til endringer i artssammensetning og andre prosesser i det bentske samfunnet som følge av klimaendringer. At boreale (nordlige, ikke-arktiske) arter raskt vil kunne kolonisere Barentshavet er imidlertid en relativt robust antagelse for et varmere klima. Videre vil en utvikling mot mindre vinteris og nordligere isgrense redusere og forflytte den biologiske produksjonen ved iskanten, som utgjør et viktige bidrag til bunnsamfunnene i Barentshavet.

Mange av de stedfaste artene som lever i nær tilknytning til sjøis er allerede i dag utsatt for reduksjon av tilgjengelige leveområder og begrensinger i mattilgang i enkelte områder i Arktis. Det er blant annet sannsynlig at Barentshavets nærmere 3000 isbjørner vil bli færre i løpet av de kommende tiår. Andre istilknyttede marine pattedyr vil trolig følge samme mønster etter hvert som isutbredelsen avtar og byttedyrsammensetningen endres. Endringer og reduksjon av utbredelsesområde, samt nedgang i bestandstørrelse, vil antakeligvis bli utfallet for istilknyttede arter som ringsel, storkobbe, grønlandssel og klappmyss i nærmeste framtid. Sjøtemperatur, havstrømmer og vindretning påvirker tilgjengeligheten av sjøfuglenes byttedyr. Sjøfugler som er avhengig av sjøis, som for eksempel ismåka, vil kunne få redusert sin utbredelse, og i enkelte tilfeller kunne forsvinne helt på lang sikt.

Effekter av klima på økosystem kan ikke sees isolert fra andre påvirkningsfaktorer. Organismer med tilhold nær havoverflaten vil være utsatt ved evt. økt UV-stråling. Det er imidlertid fortsatt uklart i hvilken grad plankton tar skade av UV-nivåene i våre havområder. Det er også et samvirke mellom klima og miljøgiftbelastning som vil kunne påvirke blant annet kondisjon, helsetilstand og hormonstatus hos en rekke arter.

De nærmeste 10-100 år ventes moderate endringer i pH i Barentshavet. I første rekke er man bekymret for organismer med kalkskall (for eksempel kalkalger, blåskjell, rur, kråkeboller og koraller), men også andre arter kan tenkes å bli påvirket. Det er imidlertid uvisst om moderate endringer vil ha betydelige effekter i særlig grad.

Økosystemet i Barentshavet har tilpasset seg de store naturlige klimavariasjonene vi så langt har hatt, og derfor synes å tåle en god del før det blir dramatiske konsekvenser. Faren for at klimaendringer skal føre til større forandringer vil sannsynligvis øke dersom annen menneskeskapt påvirkning av økosystemet også er stor.

Petroleumsvirksomheten i Barentshavet foregår i dag i om-

råder som er isfrie året rundt i det sørlige Barentshavet, men dersom havisen blir borte i hele Barentshavet, vil det kunne føre til økt press for å få åpnet det nordlige Barentshavet for petroleumsvirksomhet. Reduksjon av sjøis vil også kunne føre til økt skipstrafikk gjennom Nordøstpassasjen og i Polhavet i sommersesongen, samt økt fiskeriaktivitet i nordlige deler av Barentshavet.

Ressursene i Barentshavet er viktig for bosetting, samfunnsliv og næringsaktivitet i nord. Rike fiskebestander gir grunnlag for omfattende fiskerier. Fordi en god del av næringsgrunnlaget i området er relatert til Barentshavet, vil klimaendringer med konsekvenser for Barentshavet også kunne få følger for næringer og samfunnsliv. Konsekvensene av klimaendringene i Barentshavet for næringsaktiviteten i området er vanskelige å spore, men avhenger av tilpasningskapasiteten til de ulike næringene og samfunnene. Virkninger av klimaendringer for én næringssektor eller ett lokalsamfunn må vurderes i et helhetlig perspektiv, som inkluderer klima, samfunnsstruktur, økonomi, kultur, endring i artssammensetningen i havet, teknologi og fiskeriforvaltning. Norge som nasjon er ikke spesielt sårbar overfor konsekvenser av klimaendringene, men slik sårbarhet på lokalt nivå har ennå ikke blitt vurdert. Det institusjonelle rammeverket rundt forvaltning av ressurser og miljø legger ingen hindringer i veien for at forvaltningen kan ta hensyn til klimaendringer. Særlig Forvaltningsplanen for Barentshavet er et viktig redskap her. Utfordringen blir å legge til rette for at forvaltningsstrategier kan tilpasses raske endringer i økosystemene dersom slike endringer inntreffer, og at de tar hensyn til lokale samfunnsmessige forhold.

For å kunne skille mellom naturlige svingninger og klimaendringer, og medfølgende effekter på økosystemet, kreves et samarbeid innenfor fagområdene oseanografi, sjøis, meteorologi og biologi. Selv om de globale klimamodellene i stor grad er entydige i sine forutsigelser, er det viktig å huske at regionale forskjeller vil kunne være store. Med tanke på hvilke konsekvenser endringer i økosystemet kan få for samfunn og næringsutvikling kreves det i tillegg at også samfunnsvitenskapelige fagområder kobles sterkere inn i den videre forskningen.

Innhold

Forord	5
Sammendrag	6
Innhold	9
1 Innledning	10
1.1 Formål og avgrensning	10
1.2 Forholdet til forvaltningsplanen for Barentshavet	10
1.3 Barentshavets fysiske forhold	11
1.4 Barentshavets biologi	11
1.5 Hva er klima og klimaendringer?	14
1.6 Om klimamodeller	14
1.7 Metodiske spørsmål	15
2 Fysiske og geokjemiske prosesser knyttet til klimaendringer	15
2.1 Innledning	15
2.2 Sjøtemperatur og havis	15
2.3 Vannmasser og havstrømmer	17
2.4 Vannstand, vind og bølger	17
2.5 UV	18
2.6 Forsuring	18
2.7 Miljøgifter	18
3 Klimaendringer og effekter på økosystem	18
3.1 Innledning	18
3.2 Planteplankton og isalger	18
3.3 Dyreplankton	19
3.4 Fisk	19
3.5 Bunnsamfunn	20
3.6 Sjøpattedyr	21
3.7 Sjøfugl	21
3.8 Påvirkningsfaktorer med felles effekter på flere organismegrupper: UV-stråling, forurensning og forsuring.	21
3.9 Effekter i et økosystemperspektiv	22
4 Klimaendringer og effekter på samfunn	23
4.1 Innledning	23
4.2 De ulike sektorene	23
4.3 Samlede konsekvenser og samfunnets evne til å møte klimautfordringene	24
5 Kunnskapshull og forskningsbehov	25
5.1 Innledning	25
5.2 Fysiske forhold	25
5.3 Biologiske effekter	25
5.4 Samfunn	26
5.5 Anbefalt satsing innen forskning	26
6 Referanser og litteratur benyttet som grunnlag	27

1. Innledning

1.1 Formål og avgrensning

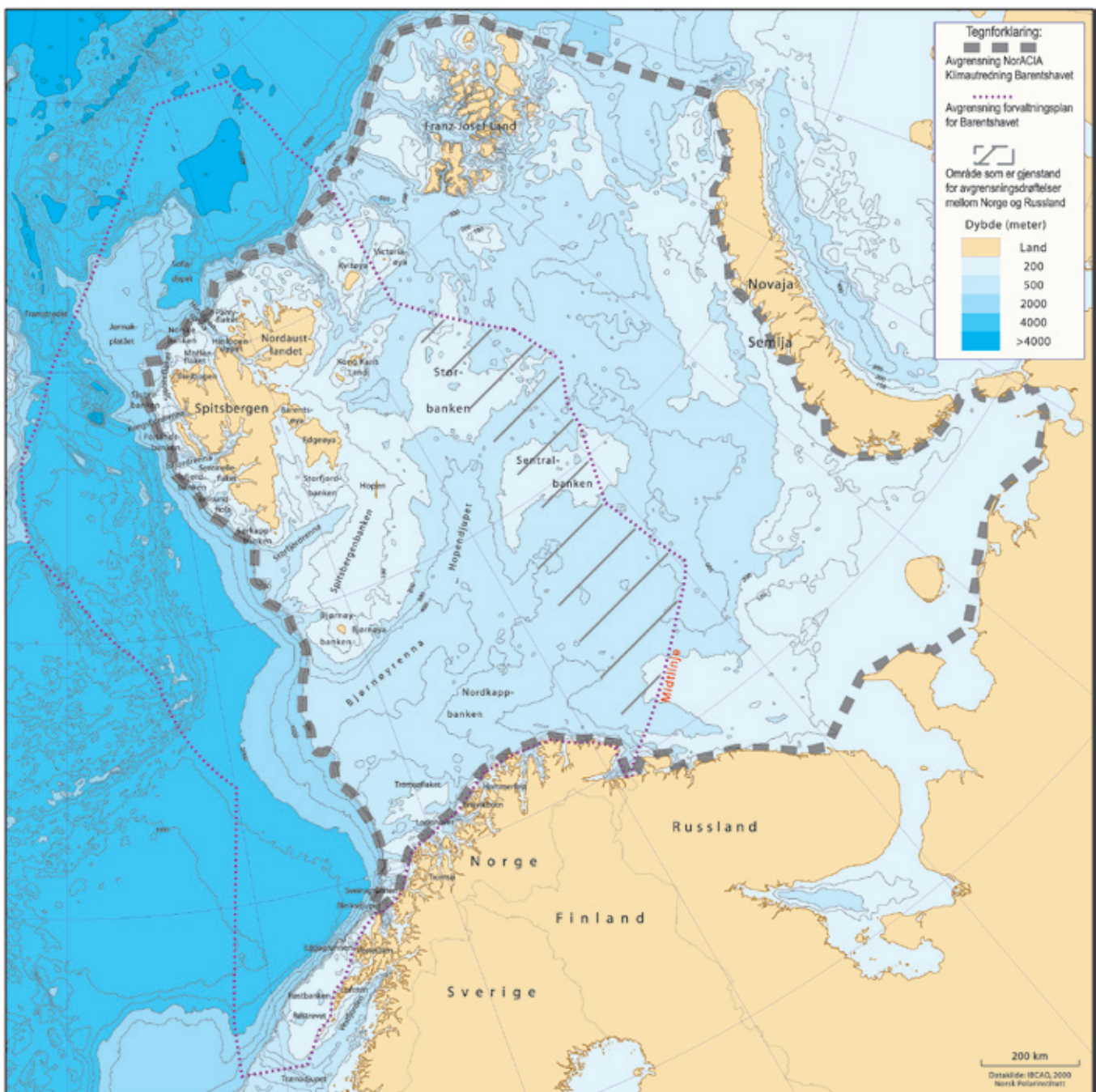
Rapporten oppsummerer kunnskapsstatus om dagens og framtidens klimaforhold i Barentshavet og effekter som variasjoner i klimaet har og kan få på marine økosystemer. Dette inkluderer også korte beskrivelser av forurensning, forsurening og UV og effekter av disse i relasjon til klima. Rapporten tar også for seg hvordan endringer i klima kan virke inn på næringsvirksomhet knyttet til Barentshavet, og dermed folk og samfunn. Rapporten skiller ikke mellom naturlige variasjoner og menneskeskapt endringer i klimaet. Det er fortsatt stor usikkerhet omkring framtidige klimaendringer og effektene av disse på økosystem og samfunn.

Rapporten omfatter primært norsk del av Barentshavet, men omhandler hele Barentshavet hvor det er naturlig (for eksempel for temaene oseanografi og biologi). Se avgrensning i Figur 1. Det er flere definisjoner av Barentshavets vestgrense. Tidligere trakk man en linje fra Nordkapp via Bjørnøya til Sørkapp, men i dag regnes vanligvis kontinentalsokkelskråningen

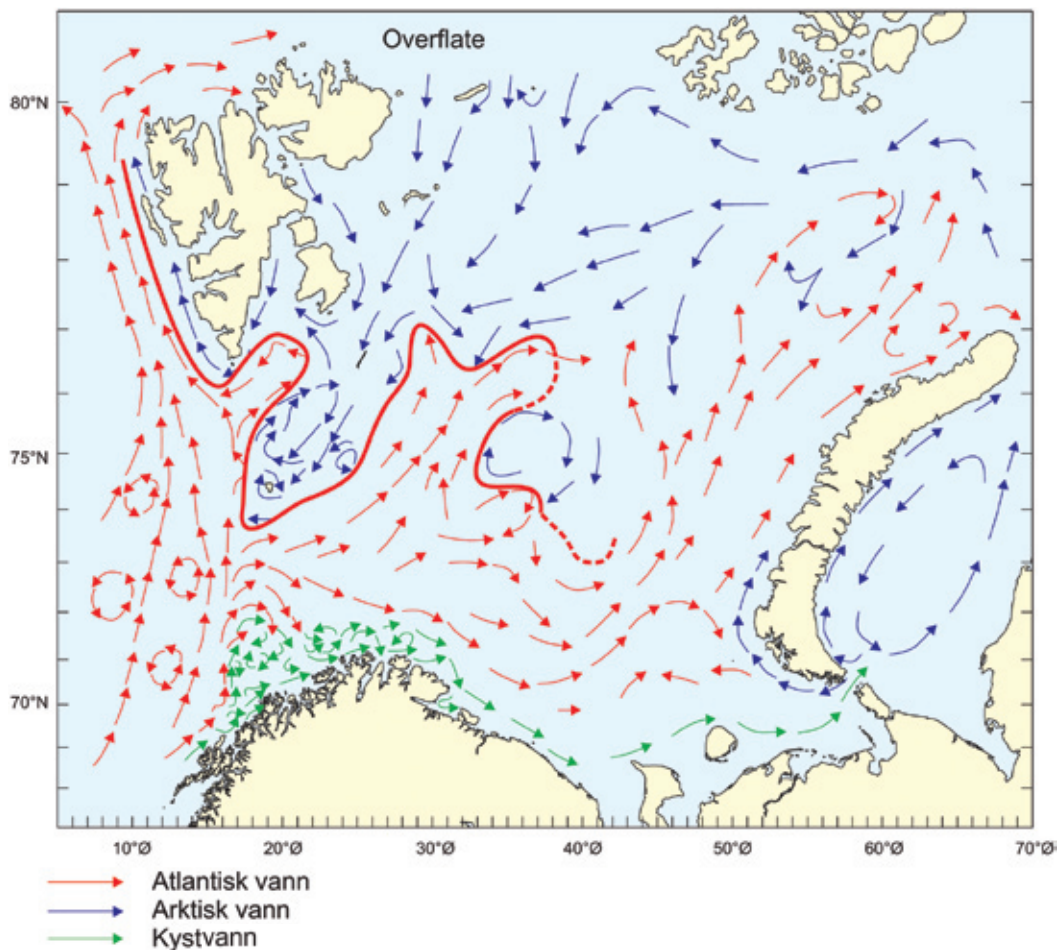
mellem fastlands-Norge og Svalbard mot Norskehavet som vestgrense, og det er denne avgrensningen som brukes i denne utredningen. I sør danner Norskekysten og kysten av Russland en entydig grense, mens Novaja Zemlja danner grensen i øst. I nord begrenses Barentshavet av eggkanten mot Polhavet. Avgrensningen brukt i denne utredningen avviker fra avgrensningen benyttet i forvaltningsplanen for Barentshavet (Helhetlig forvaltning av det marine miljø i Barentshavet og havområdene utenfor Lofoten (St.meld. 8 (2005-2006)) hvor deler av Norskehavet, deler av sokkelen sør til Røstbanken og deler av Polhavet nord for Svalbard, i tillegg til den vestlige delen av Barentshavet er tatt med. Den avgrensningen som er valgt i denne rapporten har både økologiske og praktiske fordeler.

1.2 Forholdet til forvaltningsplanen for Barentshavet

Forvaltningsplanen for Barentshavet ble vedtatt i 2006. Kunnskap om ulike næringsaktiviteter (fiskeri, skipsfart, turisme og petroleumsaktivitet) og miljøpåvirkninger (f.eks. klimaendringer) i Barentshavet dannet basis for planen som legger til rette for helhetlige beslutninger om hvor og når ulike



Figur 1 Kart over bunntopografien i Barentshavet med avgrensninger av hele Barentshavet (grå stiplet linje), samt området for forvaltningsplanen for Barentshavet (lilla prikket linje). Kilde: Norsk Polarinstitutt.



Figur 2
Strømsystemene i Barentshavet.
Kilde: Loeng og Sætre (2001)

typer av næringsaktiviteter kan finne sted. Større klimaendringer vil kunne påvirke både type, lokalisering og omfang av de ulike aktivitetene innenfor et område. Også risiko forbundet med ulike typer av virksomhet vil kunne forandres med endret klima. Samfunnets evne til å møte slike utfordringer er avhengig av en grunnleggende forståelse av samspillet mellom klimaendringer, næringsaktivitet, naturressursgrunnlaget og samfunnet i forhold til graden av tilpasningskapasitet. Den foreliggende utredningen om klimaendringer i Barentshavet er en oppdatering av klimakunnskapen som lå til grunn for forvaltningsplanen som ble vedtatt i 2006, blant annet i delutredning om ytre påvirkninger, og vil være en del av grunnlaget for den planlagte oppdateringen av forvaltningsplanen i 2010.

1.3 Barentshavets fysiske forhold

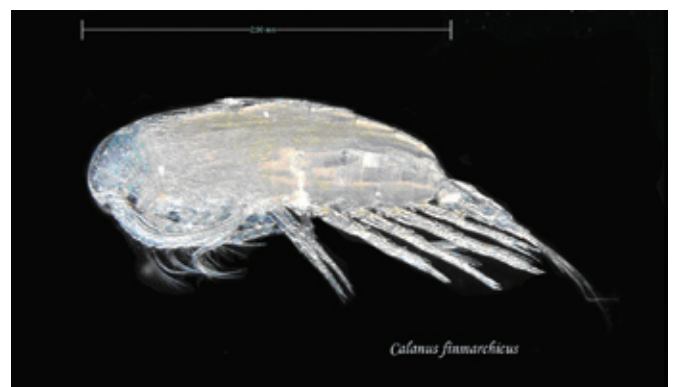
Barentshavet er et av sokkelhavene som omgir Polhavet (bunntopografien er vist i Figur 1). Det er desidert det varmeste av randhavene fordi det strømmer store mengder varmt og salt Atlanterhavsvann inn fra sørvest sammen med varmt og ferskere vann som kommer fra Kyststrømmen. De nordlige delene av Barentshavet 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. Barentshavet er et delvis isdekket hav, men isforholdene i Barentshavet har endret seg mye gjennom de siste 30 år. På 1970-80 tallet lå isen sør til 73°N om vinteren (Figur 8) og hele Barentshavet var kun enkelte somre fullstendig isfritt. På 1990-tallet endret dette seg gradvis etter at gjennomsnittstemperaturen både i atmosfæren og i havet begynte å øke. Isen kom ikke så langt sør som tidligere om vinteren og vi fikk flere isfrie somre. De siste årene har hele Barentshavet vært helt isfritt nesten hver sommer, og om vinteren har isen stort sett holdt seg nord for 75°N (Figur 8).

1.4 Barentshavets biologi

Barentshavet har unike og produktive økosystemer som er grunnlag for betydelig næringsaktivitet.

Planteplankton og isalger danner bindeleddet mellom det kjemiske miljøet og de biologiske delene i marine næringsnett. Det er i disse artene fotosyntese foregår. I åpne havområder er mikroskopiske planteplankton viktigst, mens isalger dominerer under isen. Gjennom fotosyntesen omdanner planteplankton og isalger uorganiske næringssalter, karbondioksid og solenergi til kjemisk bundet energi i form av organisk karbon. I tillegg til næringssalter og tilstrekkelig sollys, er planteplankton avhengig av en stabil vertikal lagdeling av vannsøylen som kan holde planktonet høyt i vannet, dvs. der hvor det er nok lys til fotosyntesen. Lagdeling av vannmassene inntreffer om våren, enten som følge av issmelting eller oppvarming. Planteplanktonet gjennomgår en sesongmessig utvikling både når det gjelder biomasse og artssammensetning. Planteplankton og isalger er næring for dyreplankton.

Dyreplanktonet er næringsgrunnlag for planktonspisende



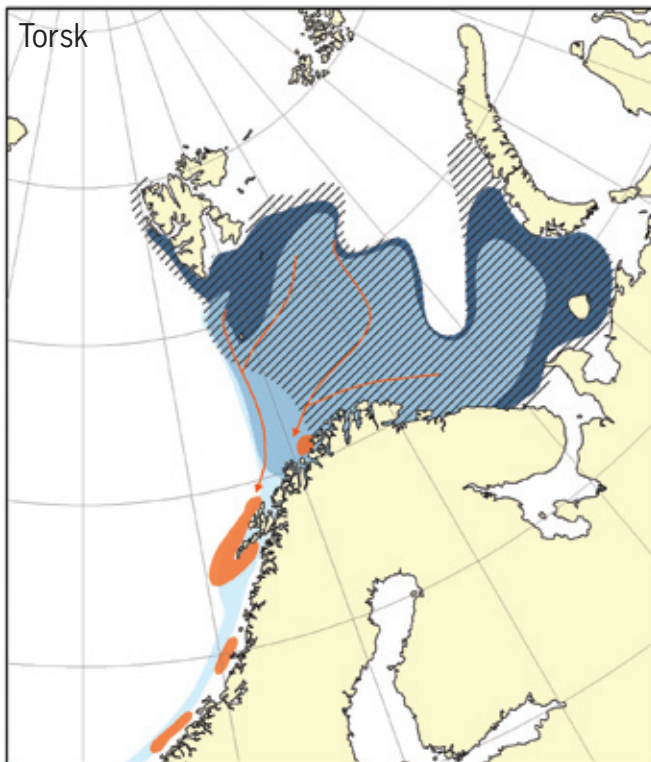
Figur 3
Raudåte (*Calanus finmarchicus*). Kilde: Havforskningsinstituttet.



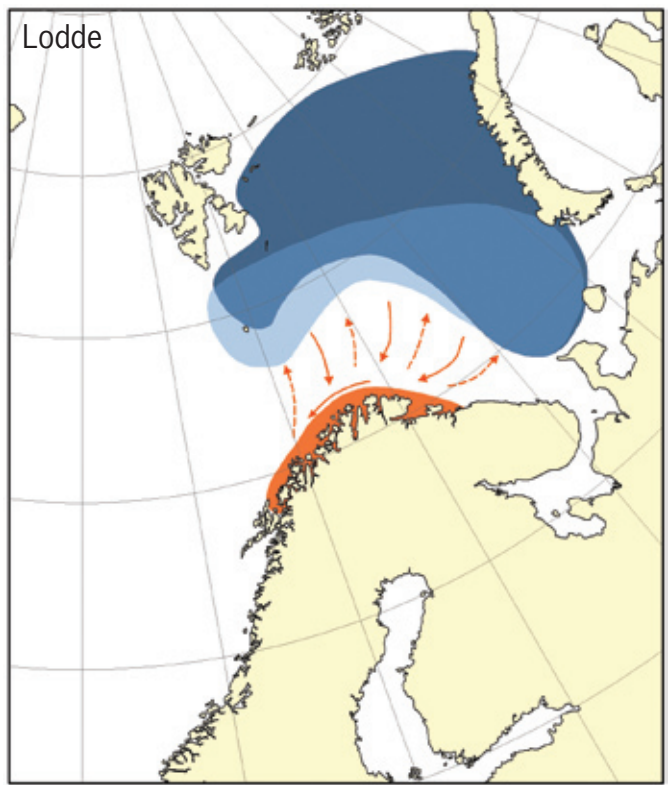
Kartprojeksjon: North Pole Stereographic

Norsk vårgytende sild

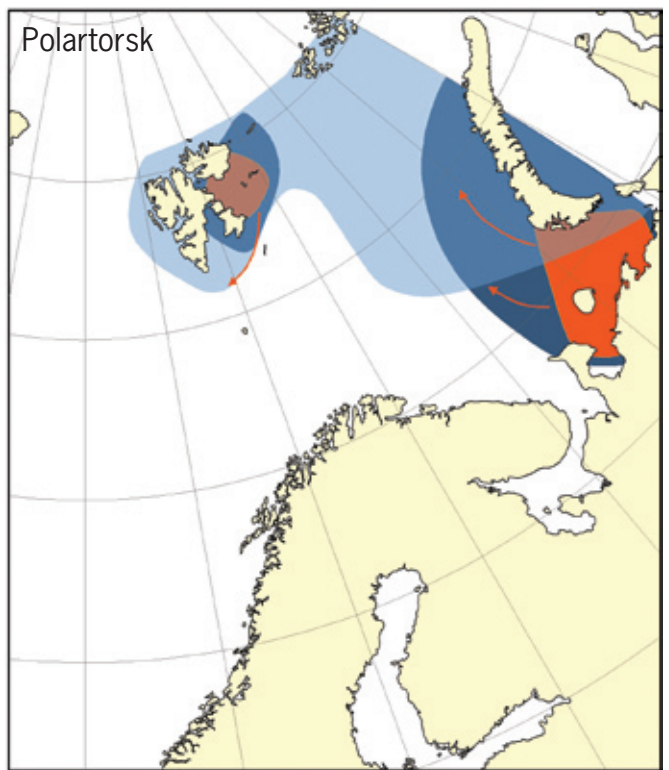
- - -> Utvandring fra oppvekstomr.
- - -> Beitevandring (april-sept.)
- Gyteområder (feb.-april)
- Overvintringomr, vokser
- Beiteområde (april-sept.)
- Oppvekstområde (0-3 år)



- Overvintringsområde (4 år og eldre)
- Beiteområde (4 år og eldre)
- Oppvekstområde (1-3 år)
- Gyteområder
- Gytevandring



- Overvintringsområde
- Beiteområde
- Gyteområde
- Larvedrift
- Gytevandring



- Overvintringsområde
- Beiteområde
- Gyteområde
- Larvedrift

Figur 4
Vandringsmønster til noen sentrale fiskerarter som finnes i Barentshavet (Sild, lodde, torsk og og polartorsk).
Kilde: Havforskningsinstituttet.

fisk, fiskelarver og -yngel. Økologisk sett har raudåta (*Calanus finmarchicus*) (Figur 3) en nøkkelrolle i Barentshavet. Den kan utgjøre opp til 80-90 prosent av den samlede biomassen av dyreplankton i havområdet.

Mengden og fordelingen av dyreplanktonet i Barentshavet er avhengig av en rekke faktorer. Transport inn i Barentshavet med atlantisk vann er viktig for å opprettholde en høy bestand av raudåte. I tillegg spiller predasjon og konkurranse en vesentlig rolle. Store bestander av planktonspisende fiskearter, særlig lodde, vil kunne påvirke bestandene av dyreplankton ved økt beiting. Masseutbredelse av maneter og kammaneter kan også bidra til forsterket beitepress på dyreplankton og dermed redusere næringsgrunnlaget for fisk. Mengde dyreplankton varierer derfor mye fra år til år.

Fiskebestandene i Barentshavet består av relativt få arter som kan være svært tallrike. Av pelagiske bestander, dvs. som lever i de frie vannmassene, har lodde og polartorsk hele sin livssyklus i Barentshavet (gyte-, oppvekst-, beite- og overvintingsområder). Bestanden av norsk vårgytende silda bruker Barentshavet kun som oppvekstområde, og den modne silda (med unntak av noen mindre lokale bestander helt sørøst) opptrer ikke i Barentshavet. Kolmule har en randutbredelse inn i Barentshavet. Av bunnfiskene er torsk, hyse, blåkveite, gapeflyndre og to arter av uer de viktigste. Med unntak av gapeflyndre opptrer disse bestandene utenfor Barentshavet i deler av sin livssyklus.

Det atlantiske vannet som strømmer nordover transporterer ikke bare varme, men utgjør også et transportsystem for fiskelarver for de aller fleste kommersielle fiskebestander. Silda gyter på kystbanker utenfor Vest- og Midt-Norge, mens torsken i hovedsak gyter utenfor Lofoten og Vesterålen. Loddebestanden gyter utenfor Troms, Finnmark og Kola.

Larvene av alle disse tre fiskeartene driver fra gytefeltene med strømmene til oppvekstområder i Barentshavet. Ettersom yngelen vokser til, tar den del i sesongmessige næringsvandring. Lodda trekker nordover i Barentshavet, mens ungsilda overvintrer i sørøstlige deler av Barentshavet og har en nordvestlig næringsvandring. Etter 3-4 år vandrer imidlertid ungsilda ut av Barentshavet og slutter seg til den voksne bestanden i Norskehavet. Se figur 4.

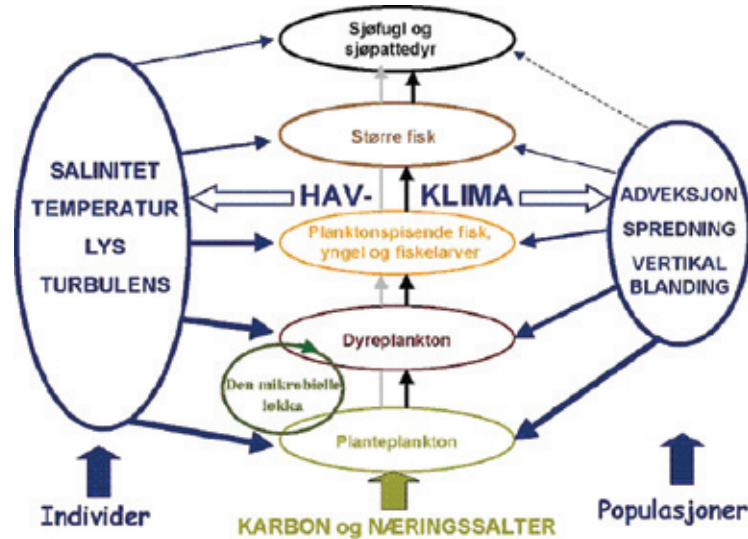
Det fins over 3000 arter av bunnlevende organismer i Barentshavet, og de er stort sett stasjonære. Bunnedyr er mat for bl.a. fisk. Artssammensetningen avspeiler det lokale regimet og vil derfor være viktige indikatorer på miljøkvalitet.

Barentshavet har også en av de største konsentrasjonene av sjøfugl i verden, med om lag 20 millioner individer av omtrent 40 arter. De viktigste artene hører til alke- og måkefuglene. Få havområder i verden kan vise til tilsvarende individ- og artsrikdom, og mange av bestandene har internasjonal verneverdi. Sjøfuglene spiller en viktig økologisk rolle ved at de transporterer næringsstoffer i form av guano (ekskremitter) fra hav til land. I arktiske områder er denne tilførselen avgjørende for opprett-holdelsen av økosystemene på land.

Tjuefire arter av sjøpattedyr opptrer regelmessig i Barentshavet. Av disse er sju selarter, tolv store hvalarter og fem små hvalarter. De mest tallrike artene er vågehval og grønlandssel. Sjøpattedyrene i Barentshavsregionen 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 Barentshavsregionen om sommeren for å dra nytte av den høye produksjonen her på denne tiden av året. Et forenklet bilde av økosystemet er vist i Figur 5.



Figur 5
Forenklet bilde av økosystemet i Barentshavet. Kilde: Havforskningsinstituttet



Boks 1

Klimarelaterte faktorer som har betydning for klimautvikling i Barentshavet.

Figur: Sundby (2006)

Energistrømmen i det marine økosystemet er et resultat av samspillet mellom havfysikk, havkjemi og marine organismer. Figuren viser relasjoner mellom klima og de ulike ledd i næringskjeden. På nivå 1 har vi plante-plankton, og på nivå 2 dyre-plankton. Energi overføres fra nivå 1 til nivå 2. 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 toppredatorer påvirker havklimavariabelt økosystemet dels på individnivå og dels på populasjonsnivå. Det er viktig å skille mellom disse to virkningene. På den ene siden har vi temperatur, lys, turbulens og saltinnhold. Dette er havklimavariabelt som påvirker adferd, næringsopptak og vekst hos de marine organismene og er følgelig variable som påvirker dem på individnivå. På den andre siden har vi virkningene av strømsystemene i havet som horisontal transport av vannmasser, spredning og vertikal blanding. Dette er havklimavariabelt som påvirker den romlige fordelingen av organismene og følgelig påvirker dem på populasjonsnivå. Det er i særlig grad planktonet, organismene som driver fritt med strømmen, som påvirkes av disse prosessene.

1.5 Hva er klima og klimaendringer?

I motsetning til været som beskriver situasjonen fra dag til dag, er klimaet et gjennomsnitt av forholdene over lengre tid. I meteorologien lages det gjennomsnitt for perioder på 30 år, og så sammenlignes for eksempel månedsmidler og årsmidler mot dette 30-årsmiddelet (langtidsmiddelet). Forandringer i klimaet er endringer i én eller flere klimaparametre over tid og /eller i forholdet mellom disse.

Klima kan grovt sett deles inn i to typer. Atmosfæreklima bygger på værstatistikk over bl.a. langtidsmidler og variabilitet. Viktige variable her er temperatur, vind, skydekke og nedbør. Havklima bygger på statistikk over fysiske variabler i havet som temperatur, saltholdighet, strøm, isforhold, vannstand, bølger, turbulens og lys.

Endringer i klima knyttes som oftest til endringer i temperaturen. Dette skyldes at temperatur er en indikator som er lett å måle og som alle har et forhold til. Men også øvrige klimaparametre som saltholdighet, strøm- og isforhold, lys (som bl.a. endres med skyforhold og årstid) og turbulens (som endres med vindforholdene) påvirker organismer, særlig frittdrivende plankton og fiskeegg og larver. Boks 1 tar for seg flere klimarelaterte faktorer. I denne utredningen vil fokus hovedsakelig være på temperturens effekt.

Klimasystemer er i stadig endring. Endringene deles ofte i menneskeskapte endringer som skyldes menneskelig aktivitet (utslipp av drivhusgasser, utslipp av partikler, endring av vegetasjon, m.m.) og naturlig klimavariabilitet.

1.6 Om klimamodeller

En klimamodell er et programsystem som beregner utviklingen av klima basert på fysiske prinsipper. Moderne klimamodeller

inkluderer både atmosfære, hav og is. Drivkreftene til slike modeller er utslippscenarier for drivhusgasser og aerosoler. Oppløsningen i klimamodellene er fremdeles grov og mange prosesser er mangelfullt beskrevet. Dette bidrar til feil og usikkerhet i framskrivningene og kan innskrenke modellens mulighet til fritt å simulere framtidens klima. Det skjer en stadig forbedring av klimamodellene ved at prosessene beskrives bedre, de numeriske metodene oppdateres og ikke minst ved at utviklingen av superdatamaskiner tillater finere oppløsning. Modellene er i dag det beste verktøyet vi har for å kunne si noe om framtidens klima.

Resultater fra kjøring av klimamodeller kalles klimaprojeksjoner eller scenarier. Dagens modellscenarier gir generelt størst oppvarming i Arktis, omtrent dobbelt så mye som gjennomsnittet for hele kloden. Men dette er også området hvor det er størst sprik mellom modellene, noe som indikerer stor usikkerhet i resultatene. Problemene skyldes blant annet den rollen sjøis og skydekke spiller i klimasystemet. Klimamodellene har typisk for mye is i Barentshavet i kontrollkjøring basert på nåværende eller pre-industrielt klima. Dette gir feil i trykkfordeling, vindmønster, varmeutveksling og bølger. Tilsvarende er det med skyforholdene i Arktis; både absoluttverdiene og sesongsyklus varierer vesentlig mellom de forskjellige modellene og viser store avvik fra observasjoner.

I Norge opereres det med én global klimamodell, Bergen Climate Model (BCM), som leverte resultater til IPCCs siste statusrapport (AR4). I NorClim-prosjektet videreutvikles denne til en nasjonal "Earth System Model" som vil inkludere karbonsyklus både i hav og på land. NorClim har også betydelig aktivitet på nedskalering, både i atmosfæren og havet.

For Barentshavet foreligger det dynamisk nedskalerte scenarier for atmosfæren. Det mangler foreløpig gode nedskalerte scenarier for havet, men et marint scenario vil bli ferdig i løpet av 2008. Noen av problemene med modellresultatene kan også

Boks 2

Mer fakta om klimamodeller

For å bøte på den grove oppløsningen i de globale modellene og at den nødvendigvis ikke er representativ for skalaen på de fenomener som har de mest ekstreme verdiene (fronter, polare lavtrykk, kysteffekter etc.), benyttes også i stor grad statistisk og dynamisk nedskalering. Ved statistisk nedskalering knyttes lokale og regionale klimaparametre statistisk til storskalamønstre som kan oppløses i de globale modellene. Storskalamønstrene kan simuleres i de globale klimamodellene og vi kan estimere lokale endringer ved de etablerte statistiske relasjonene. Statistisk nedskalering hviler på antagelsen om at de lokale klimaparametrene har samme statistiske relasjon til storskalamønstrene også når klimaet endres. Dynamisk nedskalering er en fysisk basert metode hvor en regional modell med høyere oppløsning enn den globale kjøres for et mindre område av kloden men får påskrevet verdier på de laterale (vind, temperatur, fuktighet etc.) og nedre grenseflatene (temperatur, jordfuktighet, overflatens ruhet etc.). Den regionale modellen er en "slave" av den globale og er prissgitt den globale modellens storskala strømningsmønster, men forventes å gi detaljer mht til småskala-effekter innenfor beregningsområdet.

skyldes at Barentshavet er et sokkelhav med fysiske prosesser som tidevannsblanding og dannelse av tungt vann ved frysing – forhold som ikke er tatt med i klimamodellene.

1.7 Metodiske spørsmål

Denne studien er organisert slik at vi forfølger klimaendringer fra påvirkning av fysiske prosesser og størrelser (kap. 2), over til påvirkning av biologiske forhold (kap. 3), til hvordan klimaendringer i fysiske og biologiske forhold påvirker samfunn (kap. 4).

Studier av konsekvenser av klimaendringer dreier seg om svært kompliserte årsakssammenhenger. Klimaet har en direkte innflytelse på alle ledd i økosystemet, sterkest på det laveste trofiske nivå, mindre på de høyere. Samtidig er det en indirekte effekt gjennom næringskjeden. Det kompliserer bildet svært mye, og vi er langt fra i stand til å kunne kvantifisere effektene av klima på de fleste ledd i økosystemet eller for samfunnsmessige forhold.

Samfunn endres kontinuerlig som en følge av påvirkning fra en lang rekke faktorer, og samspill mellom disse faktorene. Det er en stor utfordring å sortere ut klimasignalet og isolere virkningen av dette i forhold til andre drivkrefter bak endringer i samfunn. Dette gjelder spesielt der samfunnsendringene er raske og der klimasignalet er relativt svakt.

2. Fysiske og geokjemiske prosesser knyttet til klimaendringer

2.1 Innledning

Klimaet i Barentshavet kan beskrives ved en rekke klimaparametre som luft- og sjøtemperatur, nedbør, vind, bølger, strøm, varmeplukser, isdekke og forurensninger i luft og vann. Sjøtemperaturen og saltholdigheten er i stor grad avhengig av mengden Atlanterhavsvann som strømmer inn, men også lokalt ved tilførsel av ferskvann og varmeutveksling med atmosfæren. Lufttemperaturen er avhengig av solinnstråling, sjøtemperatur og isforhold, men også av fordelingen av storskala trykkmønstre i atmosfæren. Bølgetilstanden avhenger av vindklimaet som igjen er relatert til hyppigheten og styrken av lavtrykk på forskjellig skala.

Posisjonen og styrken til de store trykksystemene i Nord-

Atlanteren, som for eksempel styrken på lavtrykket ved Island, påvirker igjen havstrømmene og er derfor sentrale for klimasvingningene. Dette gjelder først og fremst mellomårige og dekadiske klimaendringer. Klimavariasjoner på lengre tidsskalaer har andre årsaker. Vi skal likevel huske på at også styrken i lavtrykket ved Island styres av storskala fysiske fenomen som bare globale modeller kan forklare.

2.2 Sjøtemperatur og havis

Temperatur

Den aller viktigste årsaken til klimavariasjonene er endringer i mengden atlantehavsvann som strømmer inn i Barentshavet, og temperaturen i dette vannet. Sett i forhold til en middeltilstand svinger temperaturene mellom varme og kalde perioder. Figur 6 viser at det var kaldt i begynnelsen av det forrige århundre, men at temperaturen steg til et maksimum i 1937-38. Temperaturen holdt seg høy ut 1950-årene, men avtok til et minimum i tidsrommet 1979-1981. Mellom 1977 og 1997 var der tydelige avgrensede varme og kalde perioder som varte i 3-7 år. Etter dette har temperaturene vært høyere enn langtidsmiddelet, og spesielt i de siste fem årene har temperaturen vært jevnt høy. Generelt indikerer temperaturutviklingen en økning siden begynnelsen av 1980-årene.

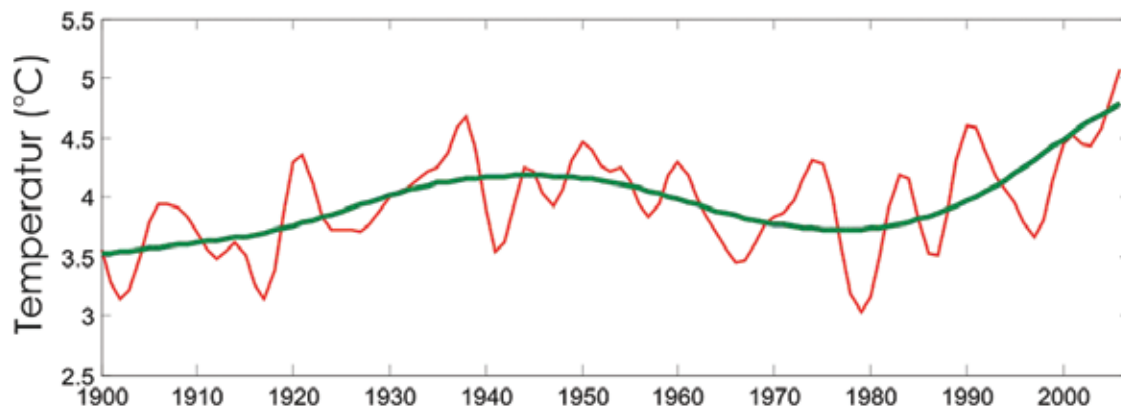
I 2005 og 2006 var det varmerekorde i Barentshavet, mens temperaturen i 2007 gikk noe ned. Den forrige varmerekorde var fra 1938. Temperatur og mengde innstrømmende atlantehavsvann varierer ikke nødvendigvis i takt. Temperaturen i Barentshavet er fortrinnsvis bestemt av temperaturvariasjoner i Norskehavet, mens volumtransporten i stor grad avhenger av vindforholdene vest i Barentshavet. På grunn av vindens påvirkning er det store variasjoner i vanntransporten. Figur 6 viser at det er naturlige langtidsendringer i klimaet. Det er mulig at de naturlige temperaturendringene vil vise en synkende tendens de nærmeste 20-30 årene. Dette kan kompensere for den menneskeskapte klimaendringen slik at vi kan oppleve mindre utslag i klimaendringene i Barentshavet i denne perioden. Når de naturlige svingningene viser en oppadgående trend igjen, sannsynligvis en gang etter 2030 vil vi derimot få en raskere temperaturøkning.

Både IPCC-rapporten og ACIA-rapporten viser høy oppvarming i Arktis. Siden det foreløpig ikke foreligger nye, oppdaterte scenarier for Barentshavet, baseres tallene under på ACIA-rapporten. Her ble det presentert resultater fra modellkjøringer 80 år framover med 1% økning i CO₂ per år med Bergen Climate Model (BCM). Dette gir liten endring i overflaten temperaturen om vinteren fram mot 2020, en økning på 0,5 til 1 grad mot 2050 og 1 til 2 grader mot 2070.

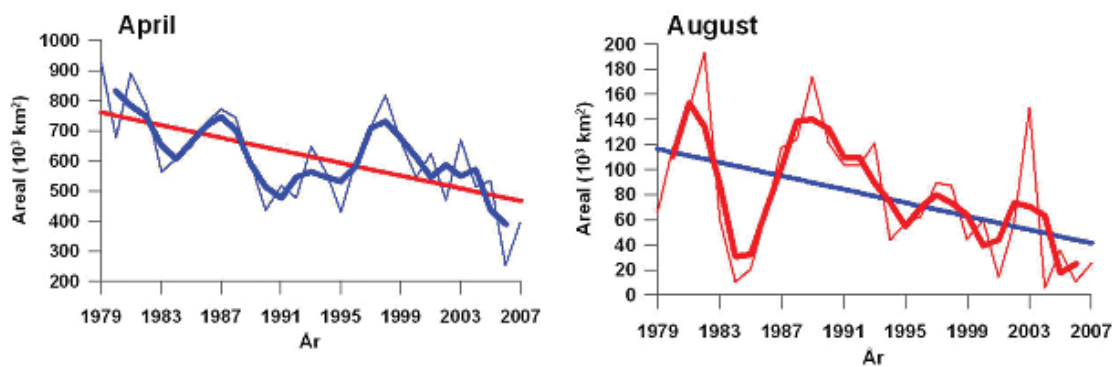
Sjøis

Satellittdata siden 1978 viser at årlig gjennomsnittlig arktisk sjøisutbredelse har gått ned med 2,7 % per tiår, med større tap om sommeren på 7,4 % per tiår. På slutten av 1970-årene var det imidlertid mer is enn gjennomsnittet. For april, som oftest er måneden med størst isutbredelse, viser tidsserien en negativ trend i perioden 1979-2006, men med betydelig variasjon mellom år (Figur 7 og 8). For august måned, (en måned før sesongminimum) viser tidsserien også en negativ trend for hele perioden. Nedgangen i areal med over 30% iskonsentrasjon er omtrent 23% per tiår for perioden 1979 til 2007. Mot slutten av perioden har vi hatt 4 år – 2001, 2004, 2006 og 2007 – da hele det angitte arealet har vært uten tett drivis, og Barentshavet har dermed vært bortimot isfritt om sommeren de siste årene. I forbindelse med det minimale isdekket som har vært observert de siste årene, har det også vært endringer i geografisk område og tidspunkt for smeltingen om våren.

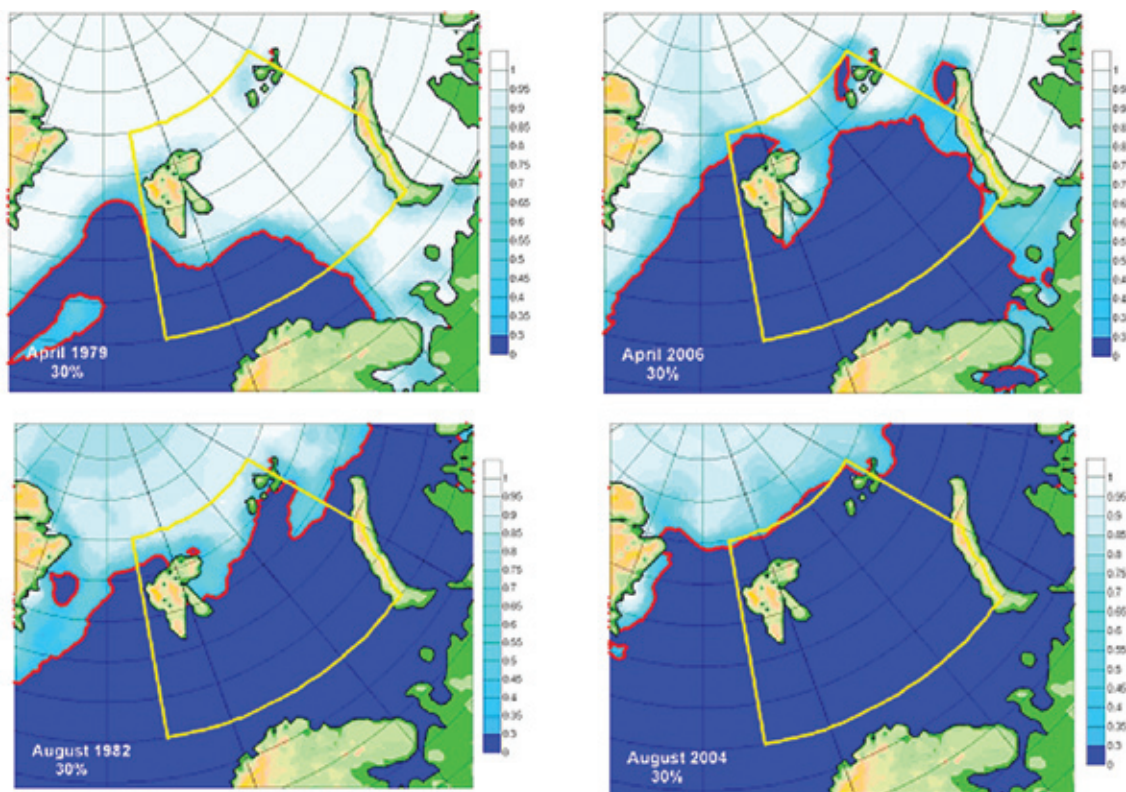
Det finnes ikke detaljert informasjon om endringer i havistykkel i Barentshavet over større områder, men nylig publiserte data over tykkelsen på havisen ved Hopen på Svalbard viser en



Figur 6
Temperaturutviklingen i Barentshavet. Temperaturutviklingen i Kolasnittet basert på data fra PINRO (Murmansk). Dataene er filtrert med Butterworth lavpassfilter over 5 år (rød) og 30 år (grønn).



Figur 7
Trender for isutbredelse i Barentshavet for april og august måned. Tynn kurve viser årlige middelerverdier, tykk is viser løpende 3- årsmiddel, og rett linje viser trenden for perioden 1997-2007. Kilde: Gerland m. fl. (2008b).



Figur 8
Isutbredelse i Barentshavet. Øverst: Største og minste isutbredelse for april (middelerverdier) perioden 1979-2007; areal med isdekke >30 %. Største utbredelse ble registrert i 1979, minste i 2006. Nederst: Største og minste isutbredelse for august (middelerverdier) perioden 1979 - 2007; areal med isdekke >30 %. Største utbredelse ble registrert i 1982, minste i 2004. Kilde: Gerland m. fl. (2008b).

reduksjon i istykkelse over de siste 40 år. Tilbaketrekkingen av isen forventes å fortsette. Klimamodelle-
lene har ulikt tidspunkt for når Arktis blir isfritt om sommeren,
men et fellestrekk er at denne endringen skjer raskt. Det vil
fremdeles være vinteris i Arktis, men også den forventes å få
kraftig redusert omfang. Barentshavet antas å være isfritt om
vinteren nærmere 2100.

2.3 Vannmasser og havstrømmer

Det er tre hovedvannmasser i Barentshavet som er knyttet til
spesifikke strømsystemer (se Figur 1). *Atlantehavsvannet* og
Kystvannet har høy temperatur (6-7°C) når de strømmer inn i
Barentshavet. Gjennom blanding med de kalde *arktiske vann-*
massene i nord og varmetap fra havflaten til atmosfæren, avtar
temperaturen dess lengre vannet kommer inn i Barentshavet.
Det arktiske vannet i nord har temperaturer under 0°C.

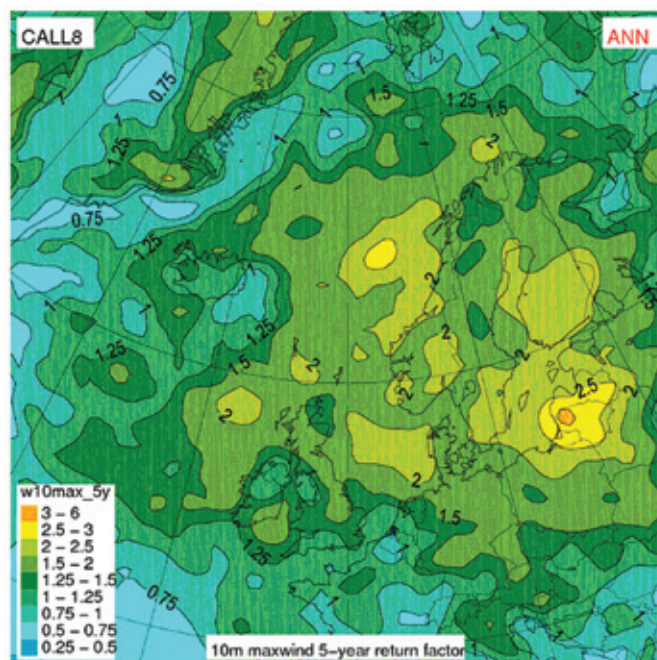
De kalde og varme vannmassene skiller av polarfronten. I dag
er polarfrontens posisjon i vestre deler av Barentshavet knyttet
til bunntopografien i skråningen rundt Spitsbergenbanken og
til Sentralbanken, og det oppstår kun mindre variasjoner fra
denne beliggenheten. Lenger øst er fronten bredere og posisjo-
nen mer variabel. Fronten danner en grense for utbredelsesom-
rådene for mange arter av både plankton og fisk.

I et framtidig varmere klima er det uklart hva som vil skje. I øst
vil trolig fronten forskyves gradvis nordover, eventuelt ut av
området dersom mengden av Atlantehavsvann som strømmer
inn opprettholdes samtidig med at temperaturen øker. I vest
kan det tenkes at topografiens rolle er så sterk at fronten op-
pretholder sin nåværende geografiske posisjon. Dersom front-
en bryter sammen, må vi forvente et helt annet vannmassere-
gime i det nordlige Barentshavet. På den annen side antyder
flere modellkjøringer en framtidig reduksjon i volumtransport
av Atlantehavsvann på ca 25% i løpet av århundret, og det kan
i så fall bidra til at fronten ikke flytter seg nordover. Det er i
det hele tatt stor usikkerhet knyttet til framtidige strømforhold på
grunn av en mulig reduksjon i atlantehavsstrømmen.

2.4 Vannstand, vind og bølger

Vind og storm

Nedskalerte scenarier (fra RegClim-prosjektet) for framtidig
atmosfærisk klima over Skandinavia med tilstøtende havom-
råder (inkludert Barentshavet) viser en moderat økning i stor-
maktivitet. Her er det imidlertid stor usikkerhet, da de globale
kjøringene som nedskaleringene bygger på ikke beskriver
lavtrykksbanene godt nok. For Barentshavet er dessuten polare
lavtrykk en ekstra usikkerhetsfaktor, da modellene kun til en
viss grad beskriver fysikken til slike lavtrykk. Innenfor ram-



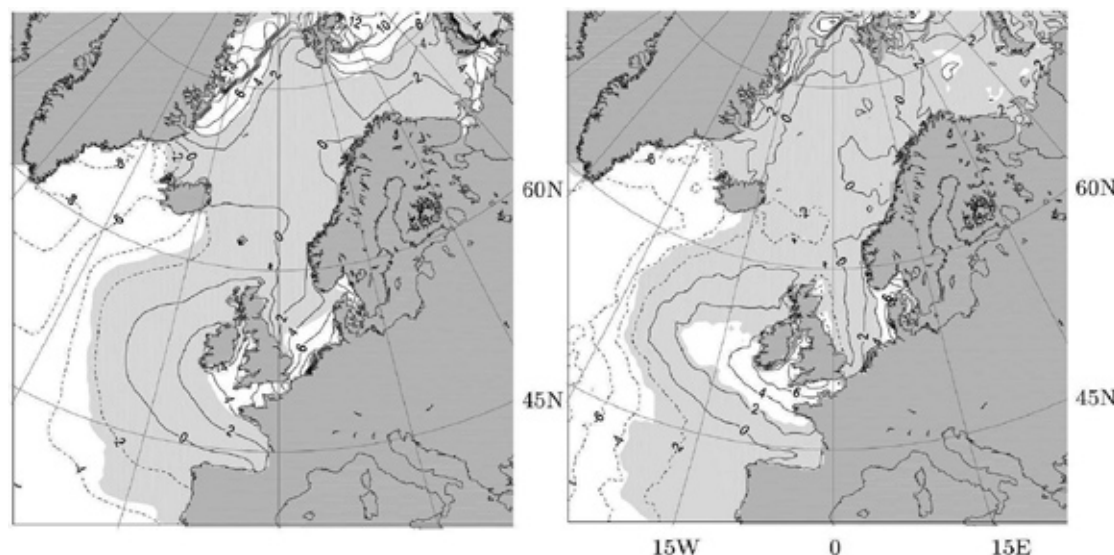
Figur 9
Returfaktor for årlig maks vindhastighet (som opptrer en gang hvert
femte år for dagens klima) for et ensemble av scenarier. Nedskalering-
modellen har gridlengde på 55 km. Tallet "2" betyr dobbelt så ofte.
Kilde: Haugen og Iversen (2008).

men av NorACIA er det iverksatt en egen utredning om polare
lavtrykk som vil foreligge innen sommeren 2008.

En ny nedskalert studie viser at vi kan forvente en økning av
de mest ekstreme nedbørs- og vindepisodene i Nord-Europa. I
dagens klima inntreffer de mest ekstreme stormene fra én gang
pr år til én gang hvert femte år i Barentshavet. I framtiden kan
vi forvente at disse ekstreme situasjonene inntreffer opptil dob-
belt så ofte (Figur 9). I en annen studie med høyere horisontal
oppløsning inntreffer de sterkeste stormepisodene enda noe
oftere. Her bør det imidlertid bemerkes at kun to slike scenarier
er nedskalert og at det derfor er vanskelig å trekke bastante
slutninger. Men dersom resultatet er representativt, betyr dette
at kraftige småskala effekter (kysteffekter, arktiske fronter,
polare lavtrykk etc.) kan bli mer vanlig i framtidens klima.

Vannstand og bølger

Den generelle vannstanden forventes å øke utover i århundret.
Dette har to årsaker: Smelting av landis, og termisk utvidelse
forårsaket av at volumet av sjøvann øker når det blir varmere.
Endringer i sirkulasjonsmønsteret i havet og i atmosfæren
påvirker også det midlere vannstands nivået regionalt. Den



Figur 10
Estimert endring (i prosent) i midlere signifikant bølgehøyde
fra dagens klima for vinterseongen (DJF) (venstre panel) og i
ekstreme bølgehøyder (99. percentilen) (høyre panel). De hvite
områdene er områder hvor endringen er statistisk signifikant
Kilde: Debernard og Røed (2008).

siste IPCC-rapporten oppgir en mulig vannstandsøkning globalt på mellom 19-58 cm mot slutten av århundret, men disse tallene er ikke korrigert for landhevning. Nyere beregninger fra Bjerknessenteret tyder på at dette kan være et underestimert og at vi kan få en vannstandsøkning for kysten av Troms og Finnmark på 18-20 cm fram mot 2050 og 45-65 cm mot 2100. Disse tallene er korrigert for landhevning.

Det er gjort beregninger for framtidens stormflo og bølgeklimate i RegClim-prosjektet. Beregningen har som inngangsdata (pådriv) et utvalg av de nedskalerte vindscenariene. Det ble funnet en signifikant økning av bølgeklimate i Barentshavet både i midlere bølgehøyde og ekstremere (figur 10). Bølgehøyden er også avhengig av strøklengden. Den store reduksjonen i isdekket som scenariene tilsier vil derfor også ha betydelig konsekvenser for bølgehøydene.

Stormflo er oppstuing av vann mot kysten på grunn av kraftig vind og ekstremt lavt lufttrykk. Stormflo kommer på toppen av vanlig tidevann og den generelle vannstandshevingen, og høyden på stormfloen henger nøye sammen med vindretning. Det er ikke funnet noen signifikant økning av stormfloaktiviteten på årlig basis langs norskekysten, men for høstsesongen ble det funnet en økning i stormfloaktiviteten i Barentshavet som er signifikant. Det skal imidlertid her bemerkes at dette gjelder kun ett scenario og resultatet er derfor vanskelig å generalisere.

Tåke og ising

Tåke i Arktis er et sommerfenomen og opptrer i stille vær når kald luft (fra land eller is) kommer ut over åpent varmt hav. Hvis det skal bli økt tåkehypighet, må det bli mer vanlig med rolige (høytrykk) situasjoner samt at det eksisterer områder hvor den kalde luften produseres (is). Midtsommers, når isen forventes å ha trukket seg langt tilbake eller er forsvunnet på grunn av klimaendringer, vil det sannsynligvis bli mindre tåke i det sentrale Barentshavet, fordi avstanden er for lang til kaldluftproduserende underlag. Resten av året derimot risikerer vi økt tåkeforkomst fordi vi bortsett fra solinnstråling får forhold som favoriserer tåke. Inntil vinterisen forsvinner (kap. 2.2) vil vi få tåke i overgangssesongen når vi har is med åpne raker.

Når det gjelder ising er dette et vinterfenomen og skyldes i all vesentlighet at sjøsprøyt fryser på installasjoner og skip på havet. Med økt vind og bølger om vinteren vil dette problemet sannsynligvis øke. Det vil nok fortsatt være tilstrekkelig kaldt i luften i disse områdene om vinteren til at sjøvannet fryser, selv om man går mot et varmere klima. Størst endring i risiko for ising vil det være i de farvann som åpnes på grunn av reduksjon i isutbredelse.

2.5 UV

UV-intensiteten ved jordoverflaten bestemmes stort sett av to faktorer (bortsett fra solvinkelen): total ozonmengde i atmosfæren og skydekningsgrad. Ozonmengden i Arktis har vist en signifikant nedgang fra begynnelsen av 1980-tallet til slutten av 1990-tallet hovedsakelig på grunn av sesongmessig nedbryting som følge av utslipp av ozonnedbrytende gasser (KFK-gasser). Denne nedgangen ble etterfulgt av en moderat økning i ozonmengde som skyldes endringer i stratosfærens sirkulasjon og klima. Utslipp av ozonnedbrytende gasser har stoppet opp, men på grunn av deres lange levetid i atmosfæren vil problemet med ozonnedbrytning fortsette flere tiår. Den videre utvikling i UV-intensitet ved jordas overflate er imidlertid vanskelig å forutse da framtidig fordeling av skyer og tåke er dårlig kjent. Sjøis spiller også en viktig skjermende rolle, og endringer i sjøisdekket vil kunne føre til økt UV-innstråling i de marine miljøene.

2.6 Forsuring

Havet har absorbert mer enn 25 % av den CO₂ som stammer fra menneskelig aktivitet siden starten av den industrielle revolusjon. 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 %. Forsuringen forventes å være større i kaldt vann (Arktis) enn i varmt vann (Tropene). Det er gjort beregninger av utviklingen av havforsuring dersom utslippene av karbondioksid fortsetter å øke slik de gjør i dag, og i Barentshavet 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.

2.7 Miljøgifter

Barentshavet får tilført forurensning på tre måter: i) lokal tilførsel fra land, skipstrafikk (inkludert fiske) og oljeaktivitet, ii) ved tilførsel via atmosfæren som er den raskeste transportveien fra Europa og andre kontinenter og iii) ved tilførsel via havstrømmene og sjøis, en vesentlig langsommere prosess. Klimaendringer vil påvirke transport, deponering, akkumulering og opptak av miljøgifter.

Transport av miljøgifter med havstrømmene vil hovedsakelig avhenge av mengden vann som transporteres, og vil dermed reduseres iht. flere scenarier (kap. 2.3) gitt at utslippene av miljøgifter er konstant. Med økende lufttemperatur vil flere forurensningskomponenter transporteres lenger nordover da atmosfæren lettere holder på dem ved høyere temperaturer.

Et varmere klima vil trolig føre til høyere skipstrafikk, spesielt dersom nordøstpassasjen blir åpnet. Potensielt kan det også føre til økt oljeaktivitet. Økt aktivitet av denne type øker risikoen for utslipp av forurensende stoffer.

3 Klimaendringer og effekter på økosystem

3.1 Innledning

Økosystemet i Barentshavet er et av de rikeste, reneste og mest produktive havområder i verden. Barentshavets biologiske mangfold er stort, breddegraden tatt i betraktning, med godt over tre tusen registrerte arter av dyr og alger.

Dette kapitlet drøfter hvordan klimadrevne endringer i de fysiske og geokjemiske prosessene påvirker de biologiske systemene i Barentshavet. Utgangspunktet er observerte endringer i biologiske forhold i relasjon til temperaturendringer i Barentshavet, og i tilsvarende havområder i Arktis. Så langt det er forsvarlig har vi sett på klimaeffekter på plankton videre til fisk, bunnsamfunn, sjøpattedyr og sjøfugl. Tre faktorer, økt UV-stråling, forurensning og forsuring, kan hver for seg påvirke flere av disse gruppene og belyses derfor under ett, men her har arbeidsgruppen ikke erfaringsgrunnlag fra tidligere tider. Avslutningsvis drøfter vi de samlede effektene i et økosystemspespektiv.

3.2 Planteplankton og isalger

Forandringer i skyer, tåke og isutbredelse, inkludert snø på toppen av isen, mengde partikler tilført fra bresmelting 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 gram



Figur 11
Tilførselsveier via luft, hav og elver. I områder dekket av is kan også noe forurensning transporteres med isen. Kilde: AMAP (2004).

© AMAP, 2004

karbon pr. m² pr. år til 100-150 gram karbon pr. m² pr. år dersom isen forsvinner (kap. 2.2). Økt stormfrekvens vil imidlertid kunne føre til mer ustabile vekstforhold p.g.a. stor variasjon i omrøring av vannmassene, og dermed også variasjon i lysforhold og i tilførsel av næring. Et annet usikkerhetsmoment er at økt omrøring sannsynligvis vil favorisere andre algegrupper enn de som dominerer i dagens oppblomstring.

I Barentshavet finnes det flere typer issamfunn (hvor alger er en viktig komponent) på, i eller under isen både i flerårsis, tynn årsis, og tykkere årsis. Isalgene står i dag for om lag 20 % av den totale primærproduksjonen i nordlig del av Barentshavet. Det er beitere som 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 avhengig av flerårsis vil bli sterkest rammet. Det vil sannsynligvis bli en generell dreining mot mer pelagiske systemer.

Den indirekte effekten temperatur har på primærproduksjonen gjennom endret isutbredelse og omrøring i vannsøylen er av større betydning enn den direkte på veksthastighet. 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. Tilsvarende vil endring i tilførsel av ulike næringsalter kunne slå ulikt ut for forskjellige algegrupper.

3.3 Dyreplankton

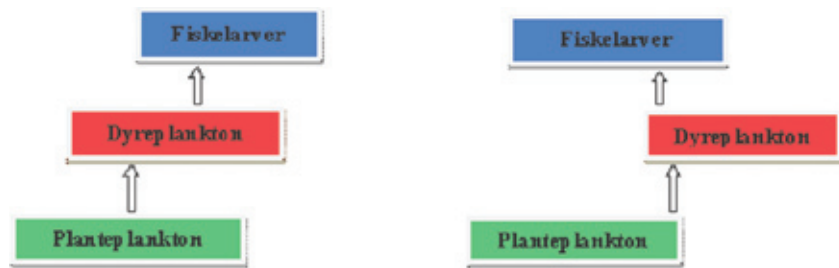
Ved et varmere klima kan flere arter av dyreplankton få utvidet sitt leveområde lenger nord enn før. Det er imidlertid svært vanskelig å si noe om hvordan mengden av dyreplankton vil utvikle seg under endrete klimaforhold. En del modellkjøringer

antyder at biomassen ikke vil øke, mens ACIA-rapporten sier at biomassen sannsynligvis vil øke. 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 modellene antyder (kap. 2.3). Også større mengder pelagisk fisk, som makrell og kolmule, i de vestlige deler av Barentshavet vil gjennom beiting bidra til å redusere importen av dyreplankton vestfra. Klimaendringer kan også føre til at reproduksjon/oppblomstring av plante- og dyreplankton skjer på andre tidspunkt enn tidligere. Det er uklart om de tidsmessige sammenfallene mellom 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.

Tidspunktet for reproduksjon av mange arter er tilpasset tidspunktene når byttedyr og alger er tilgjengelige. Endringer i gytetidspunktet for fisk kan også endre seg. Dersom en predator ikke tilpasser seg dette, kan det få store konsekvenser. Et eksempel på dette er gitt i Figur 12. 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.

3.4 Fisk

Fiskebestander er tilpasset et dynamisk miljø og havklima, der dominerende strømmønstre og endringer i temperaturen innvirker på rekruttering, fordeling og vandringsmønstre hos alle



Figur 12

Illustrasjon over prinsippet match/mismatch.

Til venstre er den sekvensen som sikrer en god rekrutteringsprosess i havet ved at dyreplankton starter reproduksjonen etter at oppblomstringen av planteplankton er startet og fiskelarvene kommer når den nye generasjonen av dyreplankton er på vei. Dette gir optimale oppvekstvilkår for både dyreplankton og fiskelarver. Til høyre starter reproduksjonen av dyreplankton når oppblomstring av planteplankton er på hell og fiskelarvene er til stede før den nye generasjonen med dyreplankton er til stede. Dette betyr lite mat både til dyreplankton og fiskelarver og dermed dårlig rekruttering. Kilde: Havforskningsinstituttet

de arter som har vært studert. I et langt tidsperspektiv har vi derfor sett betydelige endringer i vandringsmønstre i viktige fiskebestander. De fleste storstilte endringer i de fysiske forhold skyldes endringer i Atlanterhavsstrømmen. Det er derfor naturlig at de fleste store fiskebestander, som lever i samme storskala økosystem, har en stor grad av samvariasjon i endringer. Dette gjelder for eksempel sild og torsk, mens lodde som er mer uavhengig av atlantehavsvannet, vil kunne ha en annen respons på klimaendringer.

Det er en positiv samvariasjon mellom temperaturen i Barentshavet og årsklassestyrken til nordøstarktisk torsk og norsk vårgytende sild, noe som indikerer 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.

Vi forventer at et varmere Barentshav med mindre is sannsynligvis vil gi et utvidet leveområde 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.

Kolmule er en av artene som vil kunne forflytte seg nordover. I de siste par år med relativt varmt havklima har ung kolmule opptrådt i store mengder i det sørvestlige Barentshavet. Kolmulebestanden gyter nå i hovedsak vest for de britiske øyer men det forekommer også noe gyting utenfor norskekysten – såvel som i norske fjorder. Den nordlige utbredelsen av kolmule kan også skyldes en stor bestand på grunn av 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 arter også henger sammen med størrelsen på bestanden.

Loddebestanden forskyver seg noe øst-vest i Barentshavet i forhold til vekslinger mellom kalde og varme år, men utbredelsen er også nær knyttet til bestandsstørrelsen. Når bestanden blir stor, endrer ikke sør- og vestgrensene for beiteområdene seg særlig mye, men øst- og nordgrensene flytter seg øst- og nordover. Det er imidlertid sannsynlig at lodda ikke har særlig mer rekkevidde i sin beitevandring nordover i Barentshavet med dagens gytefeltene 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. Observasjoner gjort gjennom mange år har tydet på at det er en klar sammenheng mellom kalde år med vestlig gyting og varme år med østlig gyting, men observasjoner de siste årene viser at bildet er mer

komplisert. Blant annet har vi de siste 2-3 årene observert at lodda har hatt en vestlig fordeling av gytefeltene til tross for høye temperaturer.

Torskebestanden i Barentshavet har vist store svingninger i bestandsstørrelse over tid. Det var en kraftig reduksjon på slutten av 1980-tallet, noe som førte til betydelige økonomiske tap i fiskerinæringen. Denne situasjonen markerte bunnen på en langvarig nedadgående trend siden ca. 1950, med svingninger omkring trenden forårsaket av skiftende god og dårlig rekruttering. En viktig årsak til den nedadgående trenden ser ut til å ha vært høyt fiskepress, men også klimatiske faktorer kan ha spilt en rolle. Klimatiske forhold ser ut til å påvirke hvor torskebestanden gyter. De tradisjonelle gytefeltene i Lofoten er etter de senere årenes oppvarming i noen grad erstattet av gytefelt utenfor Vesterålen og kysten av Troms og Finnmark. I kalde år i begynnelsen av forrige århundre gytte bestanden langs kysten ned til Møre. Ved et varmere hav ventes det at torskebestanden i Barentshavet kan bare seg lenger øst og nord. Torsken er stor nok til å ha en utbredelse lenger nord enn nå og fortsatt ha sine gytefelt langs Nord-Norge.

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 nordøstatlantiske 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.

3.5 Bunnsamfunn

Temperatur, saltholdighet, lys, sjøis, 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 endrete 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. Fordi også sjøis påvirker mengde lys som når makroalgene, vil imidlertid fravær/kortere perioder med is gi lengre vekstsesong og dermed økt årlig produksjon. I eksponerte 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.

Voksne boreale¹ arter har en bredere temperatortoleranse 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 bunnlevende arter kan ha flere årsaker, bl.a. 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 næringssalter, osv. Omfanget er imidlertid usikkert med dagens kunnskap. I tillegg kan andre arter i et økosystem 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 er imidlertid en relativt robust prediksjon for et varmere klima.

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 ned og gi et økt mattilbud for bunndyr i området. En utvikling mot mindre vinteris og nordligere isgrenser vil redusere og forflytte dette viktige bidraget til bunndyrssamfunnet.

Kongekrabbe og snøkrabbe er to bunnlevende arter som det har vært et særlig fokus på. Kongekrabben er en introdusert kaldvannssart som foretrekker temperaturer lavere enn 4 grader, men har tross det vandret inn i noe varmere vannmasser. Utbredelsesmønsteret kan endres ved varmere vann. Snøkrabbe er en annen innført kaldtvannssart som øker i antall og utbredelse i Barentshavet. Den foretrekker delvis samme temperaturer som kongekrabben, men kan også leve i kaldere vann og kan derfor bli utbredt lenger nord og øst.

3.6 Sjøpattedyr

Mange av de stedfaste sjøpattedyrartene som lever i nær tilknytning til sjøis er allerede i dag utsatt for minskning av tilgjengelig habitat og begrensinger i mattilgang i enkelte områder i Arktis. På globalt nivå er man allerede sterkt bekymret for isbjørnene som er avhengige av sjøis for å jakte sel, og for å bevege seg mellom hiområdene på land og jaktområdene ute på isen. Det er derfor sannsynlig at Barentshavsregionen nærmere 3000 isbjørner vil bli færre i løpet av 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 ringselene i sørlige deler av isbjørnens utbredelsesområde. Andre istilknyttede marine pattedyr vil trolig følge samme mønster etter hvert som isutbredelsen avtar og byttedyrsammensetningen endres. Endringer og reduksjon av utbredelsesområde, samt nedgang i bestandsstørrelse vil sannsynligvis bli utfallet for istilknyttede arter som ringsel, storkobbe, grønlandssel og klappmyss i nærmeste framtid. Klappmyssbestanden har muligens allerede gått betydelig tilbake i dette området og fangsting på denne bestanden har vært stoppet de siste årene fordi tellinger tyder på en tilbakegang i bestanden uten at vi er helt sikker på hva årsaken til dette kan være. De andre artene som yngler på is har til nå vist liten tilpasningsevne til dårlige is-år. Ugeproduksjonen 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. Nedadgående trender for bestandsstørrelse for ringsel og isbjørn er allerede dokumentert i enkelte områder i Canada.

¹Boreal er betegnelse på arter med en nordlig (ikke arktisk) utbredelse.

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 reproduserer raskere, samt økt predasjon fra for eksempel spekkhuggere som forventes å opptre i større mengder i et varmere klima.

De marine pattedyrartene som er sesongmessige gjester i Barentshavsregionen i dag vil sannsynligvis endre sine utbredelsesområder i nordlig retning, og de vil muligens tilbringe større deler av året i de nordlige områdene etter som isen forsvinner og særlig hvis det blir en økning i primærproduksjonen i Barentshavet i tiden som kommer (kap. 3.2). Indikasjoner på slike trender er allerede til stede, hvor vi ser en stor økning i observasjoner av finnhval, helt nord for Svalbard, samt rapporter om andre mer sørlige arter som seihval og nise fra svært høye breddegrader.

3.7 Sjøfugl

Sjøfuglene kjennetegnes ved sen kjønnsmodning, lavt potensial for reproduksjon (små kull) og lav voksendødelighet. Dette gjør sjøfuglene svært sårbare for menneskeskapt påvirkning, særlig faktorer som reduserer de voksne fuglenes overlevelse.

Sjøfugl påvirkes av klima både direkte og indirekte. Direkte påvirkning skjer primært gjennom temperatur, vind og nedbør i hekkesesongen, og kraftig uvær utenfor hekkesesongen. Temperatur og vind påvirker fuglenes energibudsjett, og endringer i disse faktorene kan påføre fuglene større energikostnader. Den langt viktigste påvirkningen av klima skjer likevel indirekte, ved at sjøtemperatur, havstrømmer og vindretning påvirker tilgjengeligheten av sjøfuglenes byttedyr.

Sjøfuglene i Barentshavet livnærer seg hovedsakelig av dyreplankton og små, pelagiske fiskearter som lodde, sild og polartorsk. Forandringer i vannmassenes temperatur vil medføre endringer i byttedyrenes utbredelse og forekomst. Disse endringene vil sjøfuglene måtte tilpasse seg, med påfølgende endringer i sjøfuglenes antall og utbredelse. De største og mest gjennomgripende endringene kan forventes lengst nord.

Sjøfugler som er avhengig av sjøis vil få redusert sin utbredelse, og i enkelte tilfeller forsvinne helt på lang sikt. Flere av de arktiske sjøfuglartene er avhengige av sjøis gjennom hele eller deler av sin livssyklus. Et eksempel her er ismåke, som henter sin næring i iskanten eller i råker inne i selve isen.

Klimaeffektene vil også kunne være positive for flere arter. Dersom en reduksjon i utbredelsen av sjøis bidrar til økt biologisk produksjon, og områder som tidligere har vært dekket av is blir tilgjengelig for næringssøk, kan dette gi positive utslag for noen sjøfuglarter.

3.8 Påvirkningsfaktorer med felles effekter på flere organismegrupper: UV-stråling, forurensning og forsuring

Effekter av klima på økosystem kan ikke sees isolert fra andre påvirkningsfaktorer. Normalt vil mer enn én påvirkningsfaktor virke samtidig på et økosystem. Det vil være den kombinerte effekten som har betydning for hvordan man i neste omgang forholder seg til observerte endringer og hvilke forvaltnings tiltak som eventuelt settes inn.

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 pig-

ment 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 våre havområder. 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 f.eks. reduksjonen av sjøis fører til betydelige endringer i UV-nivåer at det vil oppstå negative effekter på arktiske marine økosystemer.

Det er et samvirke mellom klimaforhold og miljøgiftbelastning som vil kunne ha en effekt på blant annet kondisjon, helsetilstand 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 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 (kap. 2.7).

Hvordan havets økosystem vil reagere på en forsurening er ikke enkelt å forutsi. I første rekke er man bekymret for organismer med kalkskall (for eksempel kalkalger, blåskjell, rur, kråkeboller og koraller), men også andre arter kan tenkes å bli påvirket. Særlig kritisk er reproduksjonsprosessen og overlevelsen av egg og yngel, som i verste fall kan føre til at arter ikke blir videreført. Dersom slike effekter slår til i stort omfang, kan de føre til store endringer i økosystemet Barentshavet. Imidlertid er det meste av data som finnes om biologiske effekter av forsurening forbundet med store endringer i pH. De nærmeste 10-100 år ventes mer moderate endringer i pH i havet, og det er usikkert hvilke effekter dette vil ha.

3.9 Effekter i et 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.

Som vist ovenfor er det 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. Økosystemet i Barentshavet har tilpasset seg de store naturlige klimavariasjonene vi så langt har hatt, og synes derfor å tåle en god del før det blir dramatiske konsekvenser. En endring i klimaet kan slå negativt ut for enkelte arter i økosystemet, mens andre vil profitere på en høyere temperatur. Det er viktig å kunne se begge disse sidene når vi skal vurdere konsekvensene for hele økosystemet.

En kan skille mellom to hovedtyper av mulige endringer. Den ene er det vi kan kalle omfattende endringer, der nye grupper av organismer tar over som dominerende i økosystemet. Slike skifter kan ha store effekter på biologisk mangfold og systemets produktivitet. Det er svært lite sannsynlig at dette skjer i Barentshavet innen de nærmeste 30-40 år. Den andre hovedtypen kan kalles mindre endringer. Her vil de dominerende gruppene være de samme, selv om flere boreale arter vil bli introdusert.

Som nevnt tidligere i dette kapitlet, kan klimavariasjoner

føre til betydelige endringer i tetthet av arter i Barentshavet. For eksempel kan store årsklasser av norsk vårgytende sild utøve et stort beitepress på loddeavlarver. Dette vil redusere loddebestanden sterkt slik det har skjedd ved flere anledninger etter at sildestammen ble gjenoppbygd ved den vellykkete rekrutteringen i 1983. Det er usikkert om et varmere klima får store årsklasser av sild til å oppstå oftere. Lodda er et svært viktig byttedyr for torsk, og svingninger i loddebestanden har betydning for torskebestanden. Klimaendringer kan også føre til at nye arter etablerer seg i Barentshavet. For eksempel er det allerede betydelige økte mengder kolmule vest i havområdet, men dette kan være avhengig av en svært stor bestand. Makrell er også observert tett opp mot Barentshavet og kan være på vei inn. Det stilles spørsmål om hva som vil skje dersom disse artene 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 avhengig av dyreplankton. Kanskje vil næringsgrunnlaget for bunnfiskartene som lever av de pelagiske artene bli svekket.

Det er mulig å se for seg at den eksisterende strukturen i Barentshavet ikke greier å absorbere et økende antall slike endringer i tetthet og utbredelse av arter og at vi kan få en omfattende endring i økosystemets struktur. I de eksemplene vi har sett på slike endringer andre steder har imidlertid også annen menneskeskapt påvirkning enn klimaendringer spillt inn, for eksempel overfiske og overgjødning. 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. Den mest betydelige påvirkningsfaktoren i Barentshavet i dag er fiskeriene, og en kan derfor tenke seg at overfiske i kombinasjon med endringer i klima kan øke faren for en omfattende økologisk endring. Eksempler på dette kan være kollapsen i bestanden av norsk vårgytende sild på slutten av 1960-tallet, og kollapsen i torskebestanden utenfor østkysten av Canada på 1990-tallet.

Dersom forandringene blir mer moderate, kan en som beskrevet i avsnittene foran sannsynligvis forvente at de fleste arter får utvidet sitt beite og leveområde vest-, nord- og østover. Dette betyr ikke at hele bestanden nødvendigvis forflytter seg, men at utbredelsesområdet blir utvidet. Dette kan bety at større andeler av kommersielt utnyttbare ressurser, for eksempel torskebestanden og loddebestanden, vil kunne oppholde seg mer utenfor områder under norsk jurisdiksjon. På den andre siden kan nye kommersielt utnyttbare arter komme inn sørfra og gi et positivt bidrag til fiskeriene i norske områder.

I forvaltningsplanen for Barentshavet ble noen områder identifisert som særlig verdifulle og sårbare. Viktige kriterier ved utvelgelsen av disse områdene var bl.a. stor produksjon og konsentrasjon av arter, stor forekomst av truede eller sårbare naturtyper, nøkkelområder for norske ansvarsarter, truede eller sårbare arter, og forekomst av viktige nasjonale eller internasjonale bestander av enkelte arter i hele eller deler av året. Både lokalisering og størrelse på særlig verdifulle og sårbare områder kan endre seg med tiden i og med at klima påvirker utbredelse og mengde av havis, snøforholdene, dypvannsdannelse, havnivå, saltholdighet, vindmønster og surhetsgrad som i sin tur påvirker bestandsstørrelse, utbredelse, næringsstilgang, introduksjon av arter osv. i et område. Et område som særlig peker seg ut i så måte er iskanten. Iskanten har stor betydning som habitat for en rekke arter, samtidig som at det er et viktig område for pelagisk produksjon. Når isen legger seg og når den smelter påvirker tidspunkt, lokalisering og intensitet på produksjonen i vannsøylen. Mange sjøpattedyr benytter sjøis i forbindelse med hvile og fødsler. Iskanten er også et attraktivt næringsområde p.g.a. den høye produksjonen.

4. Klimaendringer og effekter på samfunn

4.1 Innledning

Barentshavet utgjør et vesentlig grunnlag for bosetting, samfunnsliv og næringsaktivitet i nordlige deler av Norge. Rike fiskebestander gir grunnlag for omfattende fiskerier, for næringen i nord såvel som for fartøy fra resten av Norge og fra andre land i Europa. Barentshavet er også en viktig transportvei. I forhold til kommersiell transport er turistnæringen en av de viktigste og raskest voksende næringene i Nord-Norge. Barentshavet ble åpnet for petroleumsvirksomhet i 1980, og kommersiell produksjon av gass startet i 2007. Det er ventet at denne virksomheten, med tilhørende transportbehov vil vokse i årene framover, gitt den stadige økende interessen for dette området. Fordi næringsgrunnlaget i området hovedsakelig baserer seg på aktiviteter relatert til Barentshavet, vil klimaendringer med konsekvenser for Barentshavet også kunne få følger for næringer og samfunnsliv.

4.2 De ulike sektorene

Fiskeri og akvakultur

For fiskeriene vil endringer i temperatur og havstrømmer som følge av global oppvarming kunne øke den biologiske produksjonen og påvirke den geografiske utbredelsen av kommersielt viktige fiskeslag (kap. 3.4). Blant annet vil dette kunne medføre større mengder torsk i "Smuthullet" i Barentshavet. Dette havområdet ligger utenfor nasjonal jurisdiksjon og reguleringer lar seg derfor vanskelig håndheve. Norge og Russland har inngått avtaler med andre land om bl.a. begrenning av uttak av fisk fra dette området. En annen konsekvens av en slik endring i geografisk utbredelse er at en større del av bestanden vil kunne befinne seg i russisk område. Om dette kan få følger for kvotefordelingsmønstret mellom Norge og Russland er uvisst. Ved en endring i utbredelsesområde kan en få endring i rekruttering, vekst og kjønnsmodning. Da vil det være nødvendig å revidere de biologiske referansepunktene for bestandene. Dette vil kunne endre årlig totalkvote (TAC) og optimalt langtidsutbytte.

Den generelle erfaringen med slike utfordringer er at endring av etablerte fordelingsnøkler er konfliktfylt, men likevel mulig å løse gjennom forhandlinger. I eksempelet over vil årlige store verdier kunne stå på spill. Dette vil ha konsekvenser ikke bare for Nord-Norge, men også for andre deler av kysten der fiskeriene er basert på ressursene i nord. I tillegg kan en slik utvikling få betydning for Norges forhold til EU, ettersom balansen i fiskeriavtalene mellom Norge og EU (samt Island, Grønland og Færøyene) er basert på at disse landene får adgang til fiske i nord.

Havbruksnæringen er også viktig for Nord-Norge og en rekke lokalsamfunn i regionen. Oppdrett av laks er i dag en av de viktigste distriktsnæringene i mange kystområder i Nord-Norge. I forhold til akvakultur er det flere problemstillinger knyttet til klimaendringer. For det første vil varmere vanntemperaturer generelt bidra til raskere vekst hos fisk. Dette gjelder imidlertid inntil en viss grense. For laks, f.eks. kan vanntemperaturene i Sør-Norge bli for høye, mens økte temperaturer i forhold til dagens i Nord-Norge vil kunne gi økt produktivitet i merdene. For det andre kan økte vanntemperaturer også medføre økt sårbarhet hos fisken for sykdom og angrep av parasitter. Og for det tredje vil en eventuell økt stormfrekvens (kap. 2.4) kunne berøre utsatte anlegg.

Sjøtransport

Reduksjon av sjøis (kap. 2.2) vil kunne føre til økt skipstrafikk gjennom Nordøstpassasjen. Dette vil kunne kreve utvidelse av infrastruktur for skipsfart, som sjøkartlegging, oljevernberedskap og nye havnefasiliteter. Økt sjøtransport i Barentshavet vil også kunne medføre utfordringer knyttet til havrett og ansvars-

spørsmål i forbindelse med eventuelle ulykker og utslipp.

I 2007 ble rundt 10 millioner tonn russisk olje transportert langs kysten av Nord-Norge. I løpet av få år kan Russland ha kapasitet til å transportere betydelig mer olje langs denne ruten, noe som medfører skjerpede krav til sjøsikkerhet og beredskap. Innenfor en viss grad av usikkerhet er det forventet at klimaendringer i Barentshavet vil medføre vesentlige endringer i vind- og bølgeaktivitet, og mye tyder på at vannstandshvevningen kan bli større enn tidligere antatt. Når dette kobles mot moderat økning i stormflo og en eventuelt økt stormfrekvens og -intensitet (kap. 2.4) vil dette kunne få konsekvenser i form av at oljevernaksjoner og opprydding etter ulykker kan bli vanskeligere å gjennomføre enn i dag. Økt skipstrafikk kan også øke risikoen for introduksjon av nye arter.

Turisme

Turismen vokser, også på Svalbard. Det er grunn til å tro at presset på Svalbard og de andre nordlige områdene vil øke vesentlig framover blant annet fordi det de siste årene har vært langt mindre is i fjordene på nord- og østsiden av Svalbard. Det skaper større tilgjengelighet, men økningen vil avhenge av reguleringer av turismen. Det forventes økt cruisevirksomhet, flere passasjerer og at antallet landstigningslokaliteter vil øke (Figur 13). Dette vil gi nye utfordringer for forvaltningen i å redusere miljøslitasje og forhindre ødeleggelser av kulturminner. Dette er myndighetene i ferd med å regulere strengere enn tilfellet har vært til nå. I tillegg vil økt cruisetrafikk i kombinasjon med høyere frekvens av ekstremvær kunne føre til økt beredskapsbehov.

Petroleum

Det er forventet økt letevirksomhet i Barentshavet i tiden framover. Petroleumsvirksomheten foregår i dag i områder som er isfrie året rundt. Det er kun den sørlige delen av Barentshavet som er åpnet for petroleumsvirksomhet og klimaendringer vil ikke i den nærmeste framtid få store konsekvenser for virksomheten her.

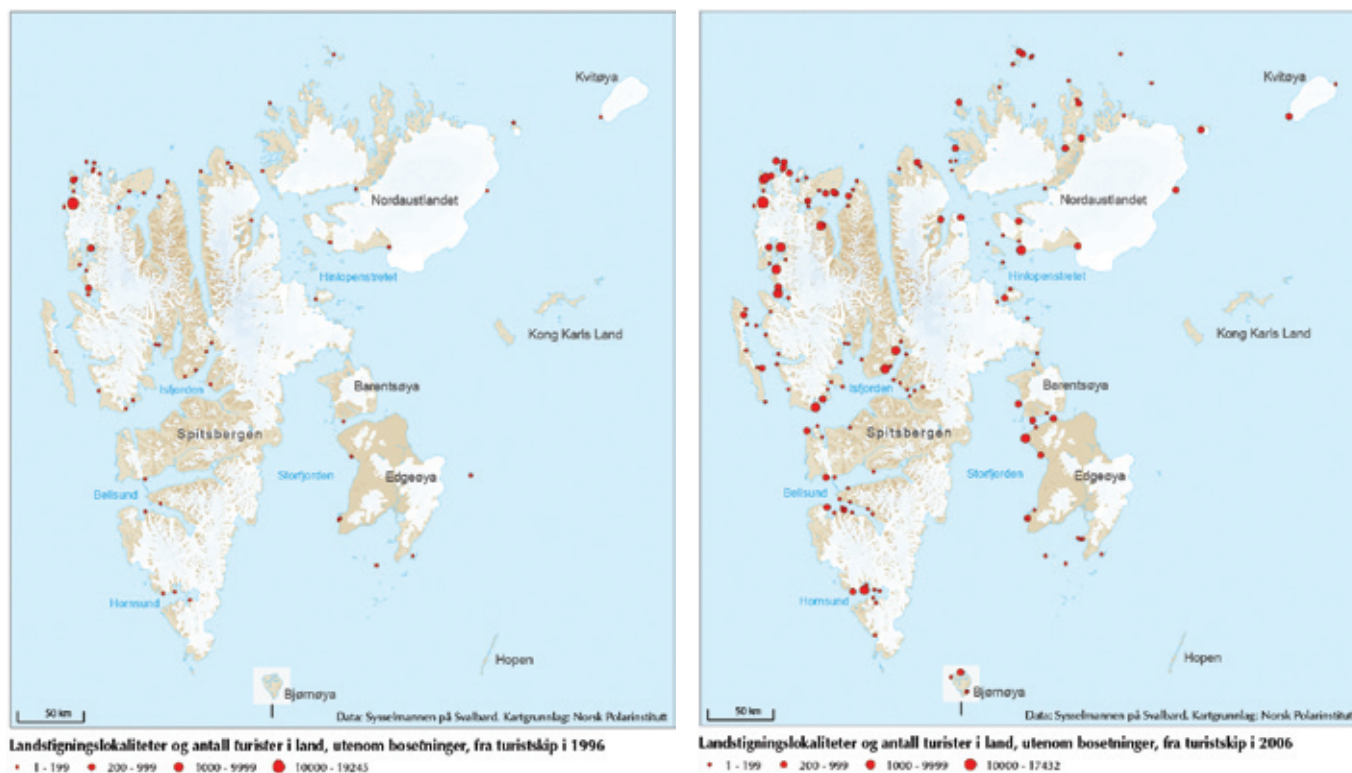
Petroleumsutvinning, produksjon, transport og tilhørende konstruksjon av produksjonsfasiliteter kan likevel på sikt få økte kostnader av forventede klimaendringer. Det er forventet, om enn med en viss usikkerhet, at klimaendringer vil føre til en forholdsvis stor økning i bølgeaktivitet og hyppigere stormer (kap. 2.4). Vannstandshevning og moderat økning i stormflo og eventuelle skiftninger i vindretninger kan gjøre havner og andre installasjoner mer utsatt for bølger. Dette kan øke behovet for å endre og styrke dagens offshore- og kystkonstruksjoner. Ising på installasjoner som følge av en eventuell økning i vindstyrke, fralandsvind og kjølig luft til havs om vinteren (kap. 2.4) kan få konsekvenser for petroleumindustrien.

Utvinning av gass og olje i Barentshavet, samt transport og videre bearbeidelse i anlegg som Snøhvit, vil medføre utslipp av klimagasser og andre uorganiske stoffer, spesielt NO_x og partikler. Sotpartikkelutslipp fra oljerelaterte industrianlegg og økende skipstrafikk langs kysten av Nord-Norge kan ha innflytelse på albedo av is og snø i Arktis. Dette kan akselerere issmelting.

Havområdene nord i Barentshavet er isdekt deler av året. Dersom havisen her blir borte (kap. 2.2), vil det kunne føre til økt politisk press for å få åpnet Barentshavet nord for petroleumsvirksomhet. Sokkelområdene i Arktis er under nasjonal jurisdiksjon. For sokkelområdene utenfor 200 nautiske mil foregår det for tiden en prosess i regi av FN for å bestemme soklenes utstrekning.

Kulturminner

Klimaendringer i Barentshavet vil kunne få konsekvenser for landbaserte kulturminner i regionen, og særlig kulturminnene



Figur 13
Landstigningslokaliteter fra turistskip på Svalbard i 1996 og 2006. Størrelsen på de røde prikkene viser antall turister som gikk i land på de ulike lokalitetene. Kilde: Sysselmannen på Svalbard

på Svalbard vil kunne trues av raskere erosjon og slitasje i form av økt ferdsel. Sjøis melting som følge av mildere klima har allerede gjort det lettere å få turister i land ved flere kulturminnelokaliteter (Figur 13). I tillegg blir kulturminnene generelt på øygruppen påvirket av naturlige prosesser som bølger, is og vind. Med tinende permafrost og mangel på beskyttende sjøis vil stranderosjonen kunne akselerere, og en rekke tufter og løse gjenstander ved erosjonskanten vil dermed stå i fare for å forsvinne. Varmere og våtere vær fører i tillegg til raskere forfall blant kulturminnene som følge av mer råte, sopp, bakterier og rustdannelse.

Økning i havnivå, med en rekke mulige konsekvenser for blant annet kulturminner, infrastruktur og bygninger, må være betydelig for at det skal få store konsekvenser i våre områder. I forhold til andre deler av verden er infrastruktur og bygningsmasse i større grad skjermet, på grunn av landskapets karakter med bratt stigning fra havet.

4.3 Samlede konsekvenser og samfunnets evne til å møte klimautfordringene

Kortsiktige og langsiktige konsekvenser av klimaendringer for samfunn må vurderes i forhold til virkningene av slike endringer for naturressursgrunnlaget, i forhold til kapasiteten i samfunnet til å møte klimaendringene med relevante tiltak og i forhold til alternative økonomiske muligheter. Det er stor usikkerhet om hvilke typer klimaendringer som vil inntreffe hvor og hvordan disse endringene vil påvirke næringsgrunnlaget. I tillegg mangler vi kunnskap om tilpasningskapasiteten til de ulike næringene og samfunnene. Dette gjør at en vurdering av konsekvenser av klimaendringer for samfunnet blir generell. Pågående forskningsprosjekter om Barentshavet og de tilliggende landområdene vil være med på å fylle slike kunnskapshull. Det er likevel mulig på bakgrunn av dagens kunnskap å si noe om slike konsekvenser.

Samfunnsmessige problemstillinger omkring konsekvenser av klimaendringer kan belyses med referanse til utredningene av konsekvenser av fiskeri, skipstrafikk og petroleumsvirksomhet i området Lofoten-Barentshavet i forbindelse med

Forvaltningsplanen for Barentshavet. De sektorvise utredningene tar for seg konsekvenser for miljøet fra aktiviteter eller påvirkninger innen hver enkelt sektor, i tillegg til å se på mulige konsekvenser av endringer i biofysiske forhold for økosystemet.

Konsekvensene av klimaendringer i Barentshavet for næringsaktiviteten i området avhenger av tilpasningskapasiteten til de ulike næringene og samfunnene. Fiskeflåten tilpasningskapasitet, f. eks., er avhengig av hvorvidt den kan omstille seg til å fiske på andre arter (fra torsk til kolmule) og i andre områder (f. eks. lenger nord i Barentshavet). Andre forhold som påvirker en slik tilpasning omfatter bl.a. ressursforvaltningen (nasjonal og internasjonal), flåtestruktur (fartøystørrelse og antall), samfunnsstruktur og økonomiske forhold (rekruttering av yngre fiskere, tilgang til marked og prisforhold). Virkninger av klimaendringer for én næringssektor eller ett lokalsamfunn må vurderes i et helhetlig perspektiv, som inkluderer klima, samfunnsstruktur, økonomi, kultur, endring i artssammensetningen i havet, teknologi og fiskeriforvaltning.

Klimaendringer er globale prosesser som har nasjonale, regionale og lokale konsekvenser. Som nasjon er ikke Norge spesielt sårbar overfor konsekvenser av klimaendringene. Generelt sett har landet økonomi og teknologi til å takle slike endringer. Dette bildet endrer seg når en skal vurdere konsekvensene på lokalt nivå, hvor tilpasning til klimaendringer faktisk skjer. Dette kan igjen illustreres med fiskeriene, der mange lokalsamfunn er avhengig av fiskeriene. På landsbasis er sysselsettingstall for fiskeriene lave. På kommune- eller bygdenivå er de for noen tildels meget høye, og har også verdi utover disse indikatorene. Konsekvensene (både positive og negative) av endringer i bestander og vandringsmønstre av økonomisk viktige fiskearter som følge av klimaendringer kan derfor bli store for lokalsamfunn der flåten er lite mobil.

I tillegg til å skille mellom konsekvenser av klimaendringer på ulike samfunnsnivå, er det også viktig å skille mellom kortsiktige og langsiktige virkninger. På kort sikt vil tiltakene for å bøte på klimaproblemet være en synlig klimaeffekt. Avgiftsregimer og andre offentlige tiltak for å påvirke folks atferd

har allerede i lang tid vært en tydelig følt klimaeffekt. Slike indirekte konsekvenser av klimaendringer får også større lokale konsekvenser; som for eksempel ved økte drivstoffkostnader for en allerede marginal kystfisker.

Det institusjonelle rammeverket rundt forvaltningen av ressurser og miljø i Barentshavet er relativt velutviklet. Havrettskonvensjonen av 1982 gir kyststatene rettigheter og plikter i forhold til havområdene og ressursene der. Dette rammeverket er supplert både med flere globale, regionale og bilaterale avtaler på fiskeri- og miljøområdet. På denne grunnmuren er det utviklet et omfattende institusjonelt rammeverk for miljø- og ressursforvaltning. Generelt angir de globale institusjonene de rettslige rammene for hvordan land skal forholde seg til forvaltning av naturressurser og miljø, mens en på det regionale og bilaterale nivå samarbeider om fastsetting av mer detaljerte standarder for forvaltningen. På det nasjonale nivået er oppgaven således ofte å iverksette slike internasjonale forpliktelser.

Et sentralt trekk i utviklingen i internasjonal havpolitikk de senere årene er større vektlegging av integrert havforvaltning der en søker å se ulike hensyn i sammenheng og avveie disse mot hverandre. Sentralt her er prinsippet om økosystembasert forvaltning. I Norge er dette fulgt opp gjennom Forvaltningsplanen for Barentshavet. Hovedpoenget her er å sammenstille et solid informasjonsgrunnlag for ulike næringssektorer og miljøpåvirkninger, som f.eks. klimaendringer, og slik legge til rette for helhetlige beslutninger om hvor og når ulike typer av næringsaktiviteter kan finne sted. Det er således lagt begrensninger på hvor og når petroleumsrelatert virksomhet kan skje.

Det internasjonale, institusjonelle rammeverket rundt forvaltning av ressurser og miljø legger ingen hindringer i veien for at ulike nasjoner kan ta hensyn til klimaendringer i sitt forvaltningsarbeid. Utfordringen blir å legge til rette for at forvaltningsstrategier kan tilpasses raske endringer i økosystemene dersom slike endringer inntreffer. I forbindelse med revisjonen av Forvaltningsplanen for Barentshavet er det derfor viktig at en legger betydelig vekt på klimarelaterte prosesser og mulige konsekvenser av disse. Forvaltningsstrategier i et klimaendringsspektiv bør også vektlegge at konsekvensene av slike endringer er størst lokalt, og at den institusjonelle kapasiteten må styrkes lokalt for å best mulig takle endringene.

5. Kunnskapshull og forskningsbehov

5.1 Innledning

Klimaendringer vil som vi har sett kunne forandre både produksjonen og artssammensetningen i Barentshavet. I tillegg til den langsiktige klimaendringen som kommer vil det være naturlige svingninger i økosystemet siden det påvirkes av årlige variasjoner i innstrømmning, værforhold, og balansen mellom oppblomstring av plante- og dyreplankton. For å kunne skille mellom naturlige svingninger og klimaendringer, og medfølgende effekter på økosystemet, kreves et samarbeid innenfor fagområdene oseanografi, sjøis, 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.

De mest vesentlige kunnskapshullene vi ser i dag er listet nedenfor.

5.2 Fysiske forhold

- Usikkerheten rundt innstrømmningen av Atlanterhavsvann i fremtiden er stor. Det er behov for å utvikle koblede model

ler som har større fokus på havet gjennom bedre geografisk oppløsning. Nedskalering er et nøkkelord i denne sammenheng. Bedre scenarier for temperaturutviklingen i Barentshavet vil også bidra til større sikkerhet med hensyn til utvikling i økosystemet.

- 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?
- Det er stor usikkerhet knyttet til framtidige vindforhold i Barentshavet. Dette gjelder vindstyrke, vindretning og hyppighet av ekstremer. Som en følge av dette er det også stor usikkerhet knyttet til framtidige bølgeforhold.
- 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 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 bio fysiske 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.

5.3 Biologiske effekter

Omfattende endringer i økosystemet

- Et sentralt spørsmål er om klimaendringer kan forårsake omfattende endringer i Barentshavet. Med "omfattende endringer" menes her at strukturen i økosystemet forandres slik at andre grupper tar over som dominerende. Det er behov for økt kunnskap om hvordan ulike typer annen menneskeskapt påvirkning enn klimaendringer (som for eksempel fiskerier og petroleumsvirksomhet) kan endre økosystemets evne til å motstå et press fra klimaendringer i retning av omfattende endringer.

Match/mismatch mellom predator og bytte

- 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 (Fig. 12).

Infeksjonsorganismer

- 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.

Betydning av indirekte effekter i økosystemet

- Arter kan påvirkes indirekte av klimaendringer ved at byttedyr de lever av eller arter de konkurrerer med påvirkes i første omgang (Boks 1). 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.

Responstid

- Kunnskapen om responstiden til marine arter på en klimaendring er sterkt begrenset. Vil for eksempel en rask tilbaketrekking av isen ikke 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.

Konkurranse når/hvis nye arter introduseres i Barentshavet

- 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 planktonpisere, 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.

UV

- 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.

Forsuring

- 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 arts sammensetning 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.

Miljøgifter

- 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 forurensnings tilførselene, 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.

5.4 Samfunn

Studier av effekter av klima- og miljøendringer på samfunn bygger på kunnskapen om bio-fysiske prosesser. Usikkerheten i modellene og manglende kunnskap omkring det fysiske miljøet forplanter seg inn i samfunnsforskningen. Det er viktig med et tverrfaglig samarbeid om hvordan de biofysiske modellene kan anvendes i studier som kobler menneske og miljø.

Koblingen samfunn, klima og miljø

- Det er behov for kunnskap omkring sammenhengen og samspillet mellom klimaendringer, endringer i samfunnet, i miljøet og i naturressursgrunnlaget. Store endringer i en næring eller sektor, som for eksempel fiskerierne, hvor det i

løpet av et tiår har vært kraftige endringer av antall fiskere, fartøy, fiskeindustribedrifter og oppdrettsanlegg, må kobles mot kunnskap om hvordan disse endringene påvirker samfunnet positivt eller negativt, og om hvordan pågående klimaendringer vil forsterke eller svekke disse effektene.

Forståelse av samspill mellom flere stress eller påvirkningsfaktorer

- Det er behov for å forbedre analyseverktøyet og modellene for å vurdere de samvirkende påvirkningene av menneskelig aktivitet (inkl. miljøgifter og radioaktive stoffer) og endringer i klima, særlig med tanke på en helhetlig forvaltning av Barentshavet og kostnadseffektive tiltak i den sammenheng.

Integrerte effekter

- Konsekvensene av klimaendringer vil være ulike for de lokale, regionale og nasjonale nivå, og studier av disse nivåene er nødvendig for å få en helhetlig forståelse av slike konsekvenser. Det er behov for å videreutvikle metoder som fanger opp koblingen mellom samfunn og miljø i ulik skala og som sørger for overføringsverdi mellom studier i ulik skala.
- IPCC (og ACIA) påpeker nødvendigheten av en integrert påvirkningsvurdering av klimaendringer i Arktis, der modeller som inkluderer multistressfaktorer tas i bruk. I tillegg oppfordres det til at kommende analyser bør fokusere på spesielt følsomme soner og aktiviteter, sårbare arter, marginale samfunn og beregninger av økonomiske konsekvenser. Dette bør derfor tematiseres også i en norsk sammenheng.
- Det er behov for å videreutvikle sosioøkonomiske scenarier parallelt med nedskalerte klimascenarier, som også kan kobles mot hverandre.
- Det trengs mer kunnskap om effekter av ulike påvirkningsfaktorer, de mekanismene de virker etter og mulige følger av samspillet mellom dem. Det blir derfor viktig å utvikle metoder for å vurdere samvirkende og kumulative effekter på miljø og samfunn, og inkludere mulige konsekvenser av forventede klimaendringer i disse vurderingene.

5.5 Anbefalt satsing innen forskning

Det er mulig å delvis fylle en del av kunnskapshullene innen relativt kort tid, mens andre kunnskapshull trenger både mer ressurser og tid. Alle tiltak er ikke nødvendigvis kostbare, men går først og fremst ut på å styrke noen av de pågående aktivitetene. Nedenfor er gitt en del overordnede eksempler (sammenfatter og involverer mange av punktene i kap. 5.3 og 5.4). Samarbeid med russiske forskningsinstitusjoner vil være viktig med hensyn på overvåking og forskning på klima-effekter i Barentshavet.

Overvåking må opprettholdes og styrkes for å kunne dokumentere og forstå klimavariasjoner og tilhørende effekter

Det foregår i dag en god del overvåking av mange forhold knyttet til klimaendringer og økosystemet. Mange av aktivitetene er imidlertid finansiert gjennom prosjektmidler (EU og Forskningsrådet, herunder IPY), og avsluttes når prosjektene avsluttes. Noen av disse prosjektbaserte tidsseriene bør opprettholdes og til dels også styrkes. En evaluering av viktige tidsserier er gjort i Forvaltningsplanen for Barentshavet. Det er viktig å sikre permanent finansiering slik at man unngår en ustabil overvåkningssituasjon.

Økt innsats på studier av viktige biologiske områder som er sensitive for fysiske prosesser

Polarfronten er en barriere for flere marine organismer samtidig som den er produktiv. Dens skjebne i framtiden vil trolig avhenge av mengden atlanterrhavsvann som strømmer inn i Barentshavet, mer enn av en temperaturøkning i atmosfæren. Den viktige produksjonsprosessen knyttet til iskanten ble sterkt fokusert under PRO MARE programmet på 1980-tallet. Også nye undersøkelser er gjennomført de senere årene, men fortsatt er det stor uvisshet rundt mulige effekter av klimaendringer. Det bør sikres at slike studier blir fulgt opp. Det samme gjelder for studier i de andre spesielt sårbare og verdifulle områdene.

Økt fokus på økosystemforskning og komparative studier er nødvendig

Rapporten viser klart at det er et stort behov for bedre forståelse av relasjoner mellom de ulike trofiske nivå i Barentshavet. I dag har vi en relativt god kvalitativ forståelse av hvordan klimaet påvirker økosystemet, men de kvantitative relasjonene er fraværende. Her foregår det imidlertid aktiviteter i andre Arktiske områder, og komparative studier ville være nyttige her. Dette gjøres enklest ved at man inngår forpliktende samarbeid mellom flere nasjoner på dette feltet. Man må bli enig om felles prosjekter, for det fører lite med seg dersom hver nasjon har sin egen agenda for slik forskning.

Styrke den bio-fysiske modelleringen

Det foregår stor aktivitet på å utvikle og forbedre globale klimamodeller. Langt mindre vekt er lagt på arbeidet med å utvikle regionale modeller som også inkluderer havet, selv om det nå er startet slik aktivitet med støtte fra Forskningsrådet. Biologisk modellering har kommet vesentlig kortere, og bio-fysiske modeller som kobler fysikk og biologi er bare i startgropen. Skal man være i stand til å gi bedre estimater for hva som vil skje med økosystemene i framtiden, må slik modellering styrkes. Dette er et kostnadskrevenende og lang-siktig prosjekt, men er samtidig det tiltaket som vil gi mest informasjon tilbake. Modellutvikling vil bidra til å belyse disse problemstillingene omkring hva som vil skje med økosystemet. I dette tilfelle snakker vi om koblede fysisk-biologiske modeller for plankton, fiskelarver, mv.

Flerbestandsmodeller

For å kunne studere hvordan klimatiske endringer kan tenkes å påvirke fiskesamfunnet i Barentshavet, bør modellene utvides til å omfatte flere arter som i dag er tilpasset Barentshavet, som for eksempel hyse og polartorsk, og arter som kan tenkes å ta store deler av Barentshavet i bruk ved en framtidig oppvarming, som for eksempel kolmule og makrell.

Barentshavet i et internasjonalt perspektiv

Klimaendringenes konsekvenser for geopolitiske forhold, regional forvaltning av fiskerierne, åpning av skipsleder, petroleumsaktivitet og mer fiskeriaktivitet reiser spørsmål rundt jurisdiksjon og eiendomsrettigheter i Polhavet. Disse spørsmålene har fått internasjonal oppmerksomhet i løpet av det siste året. Det er også kunnskapshull omkring de geopolitiske konsekvensene av klimaendringer og deres manifestasjoner i Barentshavet, og videre forskning bør fokusere på disse virkningene på ulike samfunnsnivå fra det lokale til det internasjonale, og samspillene mellom dem.

Kunnskap om omfattende endringer i økosystemet og indirekte effekter

Det er behov for generelle økologiske studier som kan øke kunnskapen om faktorer som er forbundet med eventuell risiko for omfattende endringer i Barentshavets økosystem. Det er også behov for økologiske studier om betydningen av indirekte effekter i økosystemet, fordi dette kan si noe om hvor forutsigbart økosystemet er. Slike studier kan danne et viktig grunnlag for bio-fysisk modellering og flerbestandsmodeller.

6. Referanser og litteratur benyttet som grunnlag

ACIA 2004: *Impacts of a Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

ACIA 2005: *Arctic Climate Impact Assessment*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Allen, A.E., Howard-Jones, M.H., Booth, M.G., Frischer, M.E., Verity, P.G., Bronk, D.A. & Sanderson, M.P. 2002: Importance of heterotrophic bacterial assimilation of ammonium and nitrate in the Barents Sea during summer. *Journal of Marine Systems* 38 (1-2),93-108.

AMAP 2004: *AMAP Assessment 2002: Persistent Organic Pollutants (POPs) in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP)*. Oslo, Norway: AMAP.

Anker-Nilssen, T., Bakken, V., Strøm, H., Golovkin, A.N., Bianki, V.V. & Tatarinkova, I.P. 2000: *The status of marine birds breeding in the Barents Sea region. Norsk Polarinstituttts Rapportserie Nr.113*. Tromsø, Norway: Norwegian Polar Institute.

Bambulyak, A. & Frantzen, B. 2007: Oil transport from the Russian part of the Barents Region. Status per January 2007. Tromsø, Norway: The Norwegian Barents Secretariat and Akvaplan-niva.

Beaugrand, G., Ibanez, F., Lindley, J.A. & Reid, P.C. 2002: Diversity of calanoid copepods in the North Atlantic and adjacent seas: Species associations and biogeography. *Marine Ecology-Progress Series*, 232, 179-195.

Beaugrand, G. & Reid, P.C. 2003: Long-term changes in phytoplankton, zooplankton and salmon related to climate. *Global Change Biology* 9 (6),801-817.

Bischof, K., Hanelt, D. & Wiencke, C. 2000: Effects of ultraviolet radiation on photosynthesis and related enzyme reactions of marine macroalgae. *Planta* 211 (4),555-562.

Boltovskoy, D., Vivequin, S.M. & Swanberg, N.R. 1995: Tintinnids and other microplankton from the Greenland Sea - Abundance and distribution in the Marginal Ice-Zone (May-June 1989). *Marine Ecology-Pubblicazioni Della Stazione Zoologica Di Napoli I* 16 (2),117-131.

Browman, H.I. 2003: Assessing the impacts of solar ultraviolet radiation on the early life stages of crustacean zooplankton and ichthyoplankton in marine coastal systems. *Estuaries* 26 (1),30-39.

Brown, R.G.B. 1991: Marine birds and climatic warming in the north-west Atlantic. In Montevecchi, W.A. & Gaston, A.J. (eds.): *Studies of high-latitude seabirds. 1. Behavioural, energetic, and oceanographic aspects of seabird feeding ecology. Canadian Wildlife Service Occasional Paper* 68, 49-54.

Børsheim, K.Y. 2008: Forsuring av havet medfører nye utfordringer for biologisk forskning. *Fisken og Havet*, 3.

Dalpadado, P., Ingvaldsen, R. & Hassel, A. 2003: Zooplankton biomass variation in relation to climatic conditions in the Barents Sea. *Polar Biology* 26 (4),233-241.

Day, T.A. & Neale, P.J. 2002: Effects of UV-B radiation on terrestrial and aquatic primary producers. *Annual Review of Ecology and Systematics* 33, 371-396.

Debernard, J., Sætra, O. & Røed, L.P. 2002: Future wind, wave and storm surge climate in the northern North Atlantic. *Climate Research* 23 (1), 39-49.

Debernard, J., & Røed, L.P. 2008: Future wind, wave and storm surge climate in the northern Seas: A revisit. *Tellus*, 60A, 427-438.

Derocher, A.E., Lunn, N.J. & Stirling, I. 2004: Polar bears in a warming climate. *Integrative and Comparative Biology* 44 (2), 163-176.

Drange, H. 2003: *Naturlig klimavariabilitet over de siste 50 År - og mulig klimautvikling over de påfølgende 100 år - i Barentshavsregionen*. Bergen, Norway: Nansensenteret.

Drange, H., Marzeion, B., Nesje, A. & Sorteberg, A. 2007: Opptil én meter havstigning langs Norskekysten innen år 2100. *Cicerone* 2, 29-31.

Durant, J.M., Anker-Nilssen, T. & Stenseth, N.C. 2003: Trophic interactions under climate fluctuations: The atlantic puffin as an example.

Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences 270 (1523), 1461-1466.

Edwardsen, A., Tande, K.S. & Slagstad, D. 2003: The importance of advection on production of *Calanus finmarchicus* in the Atlantic part of the Barents Sea. *Sarsia* 88 (4), 261-273.

Eide, A. & Heen, K. 2002: Economic impacts of global warming - A study of the fishing industry in North Norway. *Fisheries Research* 56 (3), 261-274.

Eide, A. 2007: Economic impacts of global warming: The case of the Barents Sea fisheries. *Natural Resource Modeling* 20 (2), 199-221.

Ellingsen, I.H., Dalpadado, P., Slagstad, D. & Loeng, H. 2008: Impact of climatic change on the biological production in the Barents Sea. *Climatic Change* 87 (1-2), 155-175.

Faggruppen for helhetlig forvaltningsplan for Barentshavet 2005a: *Arealvurderinger - sårbare områder, interessekonflikter*. Direktoratet for Naturforvaltning, Fiskeridirektoratet, Havforskningsinstituttet, Kystdirektoratet, Norsk Polarinstitutt, Oljedirektoratet, Sjøfartsdirektoratet, Statens Forurensningstilsyn, Statens Strålevern.

Faggruppen for helhetlig forvaltningsplan for Barentshavet 2005b: *Forslag til forvaltningsmål for Lofoten-Barentshavet*. Direktoratet for Naturforvaltning, Fiskeridirektoratet, Havforskningsinstituttet, Kystdirektoratet, Norsk Polarinstitutt, Oljedirektoratet, Sjøfartsdirektoratet, Statens Forurensningstilsyn, Statens Strålevern.

Faggruppen for helhetlig forvaltningsplan for Barentshavet 2005c: *Konsekvenser av samlet påvirkning på Lofoten-Barentshavet med dagens aktiviteter og i 2020*. Direktoratet for Naturforvaltning, Fiskeridirektoratet, Havforskningsinstituttet, Kystdirektoratet, Norsk Polarinstitutt, Oljedirektoratet, Sjøfartsdirektoratet, Statens Forurensningstilsyn, Statens Strålevern.

Faggruppen for helhetlig forvaltningsplan for Barentshavet 2005d: *Kunnskapsbehov i Barentshavet. En sammenstilling og prioritering av identifiserte overvåkings-, forsknings- og kartleggingsbehov i forbindelse med utarbeidelsen av Forvaltningsplanen for Barentshavet*. Direktoratet for Naturforvaltning, Fiskeridirektoratet, Havforskningsinstituttet, Kystdirektoratet, Norsk Polarinstitutt, Oljedirektoratet, Sjøfartsdirektoratet, Statens Forurensningstilsyn, Statens Strålevern.

Ferguson, S.H., Stirling, I. & Mcloughlin, P. 2005: Climate change and ringed seal (*Phoca hispida*) recruitment in western Hudson Bay. *Marine Mammal Science* 21 (1), 121-135.

Fiskeridirektoratet 2002: *Forvaltningsplan for Barentshavet - Beskrivelse av havbruksnæringen i området Lofoten til den Norsk-Russiske grense. Delrapport til konsekvensutredning av fiskeri, havbruk og skipstrafikk*.

Fiskeridirektoratet 2004: *Utredning av konsekvenser av fiskeri i området Lofoten-Barentshavet*. UF 2004.

Fiskeridirektoratet 2007a: Fiskere, fartøy og tillatelser. Statistikk over fiskermanntallet, fiskefartøy, konsesjoner og årlige deltakeradganger. Tilgjengelig på internett på http://www.fiskeridir.no/fiskeridir/fiskeri/statistikk/fiskere_fart_y_og_tillatelser den 2. juni 2008.

Fiskeridirektoratet 2007b: Statistikk for akvakultur. Totalt for hele næringen. Tilgjengelig på internett på http://www.fiskeridir.no/fiskeridir/kystzone_og_havbruk/statistikk/statistikk_for_akvakultur/totalt_hele_naeringen den 2.juni 2008.

Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Elmqvist, T., Gunderson, L. & Holling, C.S. 2004: Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 35, 557-581.

Fouilland, E., Gosselin, M., Mostajir, B., Lévassour, M., Chanut, J.P., Demers, S. & De Mora, S. 2003: Effects of ultraviolet-B radiation and vertical mixing on nitrogen uptake by a natural planktonic community shifting from nitrate to silicic acid deficiency. *Limnology and Oceanography* 48 (1), 18-30.

Føyn, L., von Quillfeldt, C.H. & Olsen, E. 2002: Miljø og ressursbeskrivelse av området Lofoten - Barentshavet. *Fisken og Havet*, 6.

Gall, M.P., Strzepek, R., Maldonado, M. & Boyd, P.W. 2001: Phytoplankton processes. Part 2. Rates of primary production and factors controlling algal growth during the Southern Ocean Iron Release Experiment (Soiree). *Deep-Sea Research Part II-Topical Studies in Oceanography* 48 (11-12), 2571-2590.

Gerland, S., Renner, A.H.H., Godtlielsen, F., Divine, D. & Løyning, T.B. 2008a: Decrease of sea ice thickness at Hopen, Barents Sea, during 1966-2007. *Geophysical Research Letters* 35 (6). (Only online version available on 5 June 2008).

Gerland, S., Tronstad, S., Pavlova, O. & Ingvaldsen, R. 2008b: Status for indikatorer - havklima (kap. 4.1). In Sunnanå, K. & Fossheim, M. (red.): *Forvaltningsplan Barentshavet - rapport fra overvåkingsgruppen 2008. Fisken og Havet Særnummer 1b*, 20-25.

Gilchrist, H.G. & Mallory, M.L. 2005: Declines in abundance and distribution of the ivory gull (*Pagophila eburnea*) in Arctic Canada. *Biological Conservation* 121 (2), 303-309.

Glomsrød, S. & Aslaksen, I. 2006: *The economy of the North. Statistics Norway SA 84*.

Gradinger, R. 1999: Integrated abundance and biomass of sympatric meiofauna in arctic and antarctic pack ice. *Polar Biology* 22 (3), 169-177.

Groven, K., Sataøen, H.L. & Aall, C. 2006: *Regional klimasårbarhetsanalyse for Nord-Norge. Norsk oppfølging av Arctic Climate Impact Assessment (NorACIA). Vestlandsforskning VF-rapport 4/06*.

Gulliksen, B., Palerud, R., Brattegard, T. & Sneli, J. 1994: *Distribution of marine benthic macro-organisms at Svalbard (including Bear Island) and Jan Mayen. Forskningsrapport for DN Nr. 4. Trondheim, Norway: Direktoratet for naturforvaltning*.

Haugen, J.E. & Iversen, T. 2008: Response in extremes of daily precipitation and wind from a downscaled multi-model ensemble of anthropogenic global climate change scenarios. *Tellus Series a-Dynamic Meteorology and Oceanography* 60 (3), 411-426.

Havforskningsinstituttet 2006. Klima og fisk. Hvordan påvirker klimaendringer våre fiskeresurser? Havforsknings Tema. Tilgjengelig på internett på http://www.imr.no/_data/page/6761/HI-tema_nr.2.06_Klima_og_fisk.pdf mai 2008.

Henriksen, E. 2006: *LU-fakta om fiskeri og havbruksnæringen i Nord-Norge og Nord-Trøndelag*. Landsdelsutvalget og Fiskerirådgivning AS.

Hirche, H.J. & Kosobokova, K. 2003: Early reproduction and development of dominant calanoid copepods in the sea ice zone of the Barents Sea - need for a change of paradigms? *Marine Biology* 143 (4), 769-781.

Hjermann, D.O., Ottersen, G. & Stenseth, N.C. 2004: Competition among fishermen and fish causes the collapse of Barents Sea capelin. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101 (32), 11679-11684.

Hjermann, D.O., Stenseth, N.C. & Ottersen, G. 2004: Indirect climatic forcing of the Barents Sea capelin: A cohort effect. *Marine Ecology-Progress Series* 273, 229-238.

Ingvaldsen, R.B., Asplin, L. & Loeng, H. 2004: The seasonal cycle in the Atlantic transport to the Barents Sea during the years 1997-2001. *Continental Shelf Research* 24 (9), 1015-1032.

Iversen, T., Benestad, R., Haugen, J.E., Kirkevåg, A., Sorteberg, A., Debernard, J., Grønås, S., Hanssen-Bauer, I., Kvamstø, N.G., Martinsen, E.A. & Engen-Skaugen, T. 2005. Norges klima om 100 år - Usikkerheter og risiko. RegClim. Tilgjengelig på internett på http://regclim.met.no/presse/download/regclim_brosjyre2005.pdf den 4.juni 2008.

Jeffrey, S.W., Mactavish, H.S., Dunlap, W.C., Vesik, M. & Groenewoud, K. 1999: Occurrence of Uva- and Uvb-absorbing compounds in 152 species (206 strains) of marine microalgae. *Marine Ecology-Progress Series* 189, 35-51.

Klages, M., Boetius, A., Christensen, J.P., Piepenburg, D., Schewe, I. & Soltwedel, T. 2004: The benthos of Arctic Seas and its role for the organic carbon cycle at the seafloor. In Stein, R. & Macdonald, R.W. (eds.): *The organic carbon cycle in the Arctic Ocean*. Pp.139-167. Berlin, Germany: Springer.

Kosobokova, K. & Hirche, H.J. 2000: Zooplankton distribution across the Lomonosov Ridge, Arctic Ocean: Species inventory, biomass and vertical structure. *Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers* 47 (11), 2029-2060.

Kovacs, K.M., & Lydersen, C. 2008: Climate change impacts on seals

- and whales in the North Atlantic Arctic and adjacent shelf seas. *Science Progress*, 91, 117-150.
- Kristiansen, S. 2003: Mikroorganismer og klima. Foredrag presentert på Norske Havforskeres Forening, Oktober 2003, Svalbard.
- Kystverket 2004: *Utredning av konsekvenser av skipstrafikk i området Lofoten - Barentshavet*. US 2004.
- Kystverket 2007: *Infrastruktur og beredskap. Olje- og gassvirksomhet i Finnmark*. Kystverket Troms og Finnmark.
- Laidre, K.L., Stirling, I., Lowry, L.F., Wuig, O., Heide-Jorgensen, M.P. & Ferguson, S.H. 2008: Quantifying the sensitivity of arctic marine mammals to climate-induced habitat change. *Ecological Applications* 18 (2), S97-S125.
- Litchman, E., Neale, P.J. & Banaszak, A.T. 2002: Increased sensitivity to ultraviolet radiation in nitrogen-limited dinoflagellates: Photoprotection and repair. *Limnology and Oceanography* 47 (1), 86-94.
- Loeng, H. 1991: Features of the physical oceanographic conditions of the Barents Sea. *Polar Research* 10 (1), 5-18.
- Loeng, H., & Ingvaldsen, R. 2001: Nye trekk ved strømmønsteret ut og inn av Barentshavet og effekten på økosystemet. *Fisken og Havet særnummer 2*, 79-81.
- Loeng, H., & Sundby, S. 2001: Produksjonsgrunnlaget i Barentshavet i varme og kalde år. *Fisken og Havet særnummer 2*, 91-93.
- Loeng, H., & Sætre, R. 2001: Features of the Barents Sea circulation. *Fisken og Havet* 1, 1-40.
- Loeng, H., Brander, K., Carmack, E., Denisenko, S., Drinkwater, K., Hansen, B., Kovacs, K.M., Livingston, P., McLaughlin, F. & Sakshaug, E. 2005: Marine Systems. In ACIA (ed.): *Arctic Climate Impact Assessment*. Pp. 453-538. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Loeng, H. & Drinkwater, K. 2007: An overview of the ecosystems of the Barents and Norwegian Seas and their response to climate variability. *Deep-Sea Research Part II-Topical Studies in Oceanography* 54 (23-26), 2478-2500.
- Lomas, M.W., Glibert, P.M., Shiah, F.K. & Smith, E.M. 2002: Microbial processes and temperature in Chesapeake Bay: Current relationships and potential impacts of regional warming. *Global Change Biology* 8 (1), 51-70.
- Mcminn, A., Ashworth, C. & Ryan, K. 1999: Growth and productivity of antarctic sea ice algae under PAR and UV irradiances. *Botanica Marina* 42 (4), 401-407.
- Mikkelsen, E. & Rydningen, A. 2001: *Innovasjon og omstilling i fiskeindustrien. Case-studier fra Troms og Finnmark*. NORUT Samfunnsforskning Rapport.
- Miljøovervåking av Svalbard og Jan Mayen (MOSJ). 2003: Klimatolkning: Vurdering av klimautviklingen i norsk Arktis: Påvirkninger, tilstand og tiltak. Tilgjengelig på internett på <http://mosj.npolar.no/filearchive/klimautvikling2003.pdf> den 2.juni 2008.
- Montevicchi, W.A. 1993: Birds as indicators of change in marine prey stocks. In Furness, R.W. & Greenwood, J.J.D. (eds.): *Birds as monitors of environmental change*. Pp.217-266. New York, USA: Chapman & Hall.
- Mortensen, P.B. 2001: Norske korallrev kan vises oss fortidens havklima. *Fisken og Havet særnummer 2*, 101-104.
- Mostajir, B., Demers, S., De Mora, S., Belzile, C., Chanut, J.P., Gosselin, M., Roy, S., Villegas, P.Z., Fauchot, J., Bouchard, J., Bird, D., Monfort, P. & Levasseur, M. 1999: Experimental test of the effect of Ultraviolet-B radiation in a planktonic community. *Limnology and Oceanography* 44 (3), 586-596.
- Myers, R.A., Hutchings, J.A. & Barrowman, N.J. 1997: Why do fish stocks collapse? The example of cod in Atlantic Canada. *Ecological Applications* 7 (1), 91-106.
- Norsk Polarinstittutt 2004: *Utredning av konsekvenser av ytre påvirkning - Klimaendring, forurensning og annen påvirkning fra kilder utenfor norsk del av Barentshavet*. UY 2004.
- O'Brien, K., Tompkins, H., Eriksen, S. & Prestrud, P. 2004: *Climate vulnerability in the Barents Sea ecoregion - A multiple stressor approach*. CICERO Report, 07.
- Odmark, S., Wulff, A., Wangberg, S.A., Nilsson, C. & Sundback, K. 1998: Effects of Uvb radiation in a microbenthic community of a marine shallow-water sandy sediment. *Marine Biology* 132 (2), 335-345.
- Olje- og Energidepartementet 2003: *Sameksistens mellom fiskerinæringen og oljevirksomheten*. Rapport fra arbeidsgruppe.
- Olje- og Energidepartementet 2003a: *Utredning av konsekvenser av helårlig petroelumsvirksomhet i området Lofoten - Barentshavet*. Sammen-dragsrapport. ULB 2003.
- Olsen, E. & von Quillfeldt, C.H. (red.) 2003b: Identifisering av særlig verdifulle områder i Lofoten-Barentshavet. *Rapport - Felles Fakta-grunnlag for Forvaltningsplanen for Barentshavet*. Norsk Polarinstittutt og Havforskningsinstituttet.
- Orr, J.C., Fabry, V.J., Aumont, O., Bopp, L., Doney, S.C., Feely, R.A., Gnanadesikan, A., Gruber, N., Ishida, A., Joos, F., Key, R.M., Lindsay, K., Maier-Reimer, E., Matear, R., Monfray, P., Mouchet, A., Najjar, R.G., Plattner, G.K., Rodgers, K.B., Sabine, C.L., Sarmiento, J.L., Schlitzer, R., Slater, R.D., Totterdell, I.J., Weirig, M.F., Yamana, Y. & Yool, A. 2005: Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature* 437 (7059), 681-686.
- Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson C.E. 2007: *Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Pimm, S.L. 1991: *The balance of nature? Ecological issues in the conservation of species and communities*. Chicago, USA: University of Chicago Press.
- Rahmstorf, S. 2007: A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. *Science* 315 (5810), 368-370.
- Raven, J., Caldeira, K., Elderfield, H., Hoeg-Guldberg, O., Liss, P.S., Riebesell, U., Shepherd, J., Turley, C. & Watson, A.J. 2005: *Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide*. Policy Document No.12/05. Cardiff, UK: The Royal Society, Clyvedon Press Ltd.
- Ryan, K.G., Mcminn, A., Mitchell, K.A. & Trenerry, L. 2002: Mycosporine-like amino acids in antarctic sea ice algae, and their response to Uvb radiation. *Zeitschrift Fur Naturforschung C-a Journal of Biosciences* 57 (5-6), 471-477.
- Sakshaug, E., Bjørge, A., Gulliksen, B.S., Loeng, H. & Mehlum, F. 1994: *Økosystem Barentshavet*. Oslo, Norway: Universitetsforlaget.
- Sandvik, H. 2004: *Life-history and breeding biology of seabirds in a changing environment: A comparative approach*. Dr. scient thesis. Universitetet i Tromsø.
- Scheffer, M. & Carpenter, S.R. 2003: Catastrophic regime shifts in ecosystems: Linking theory to observation. *Trends in Ecology & Evolution* 18 (12), 648-656.
- Schewe, I. & Soltwedel, T. 2003: Benthic response to ice-edge-induced particle flux in the Arctic Ocean. *Polar Biology* 26 (9), 610-620.
- Schluter, M. & Rachor, E. 2001: Meroplankton distribution in the Central Barents Sea in relation to local oceanographic patterns. *Polar Biology* 24 (8), 582-592.
- Schreiber, E.A., & Burger, J. 2002: *Biology of marine birds*. CRC Marine Biology Series. Washington DC, USA: CRC Press.
- Statistics Norway 2007. Fylkesfordelt sysselsetting i reiselivsnæringene 2004. Tilgjengelig på internett på <http://www.ssb.no/emner/09/01/turismesat/tab-2007-01-30-16.html> den 5.juni 2008.
- Stein, R. & Macdonald, R.W. 2004: *The Organic Carbon Cycle in the Arctic Ocean*. Berlin, Germany: Springer.
- Steinacher, M. 2007: *Ocean acidification and changes in marine productivity in simulations with fully coupled 3-D climate model CSM1.4-carbon*. Diplomarbeit der Philosophisch Naturwissenschaftlichen Fakultät. University of Bern.
- Stirling, I. & Parkinson, C.L. 2006: Possible effects of climate warm-

- ing on selected populations of polar bears (*Ursus maritimus*) in the Canadian Arctic. *Arctic* 59 (3), 261-275.
- Stortingsmelding nr. 8 (2005-2006): Helhetlig forvaltning av det marine miljø i Barentshavet og havområdene utenfor Lofoten (forvaltningsplanen).
- Sundby, S. 2006: Klimavariasjoner, klimaendringer og virkninger på marine økosystemer. *Cicerone*, 4, 37-39.
- Sunnanå, K. 2007: Forvaltningsplan Barentshavet - rapport fra overvåkningsgruppen. *Fisken og Havet særnr. 1b*.
- Sunnanå, K. & Fossheim, M. 2008: Forvaltningsplan Barentshavet - rapport fra Overvåkningsgruppen 2008. *Fisken og Havet særnr. 1b*.
- Tynan, C.T. & Demaster, D.P. 1997: Observations and predictions of arctic climatic change: Potential effects on marine mammals. *Arctic* 50 (4), 308-322.
- Verity, P.G. 2000: Grazing experiments and model simulations of the role of zooplankton in *Phaeocystis* food webs. *Journal of Sea Research* 43 (3-4), 317-343.
- Verity, P.G., Wassmann, P., Frischer, M.E., Howard-Jones, M.H. & Allen, A.E. 2002: Grazing of phytoplankton by microzooplankton in the Barents Sea during early summer. *Journal of Marine Systems* 38 (1-2), 109-123.
- von Quillfeldt, C.H. (red.) 2002: *Marine verdier i havområdene rundt Soalbard. Norsk Polarinstituttts Rapportserie Nr.118*. Tromsø, Norway: Norwegian Polar Institute.
- von Quillfeldt, C.H. & Olsen, E. (red.) 2003: Kunnskapsbehov for området Lofoten - Barentshavet. Supplement til miljø- og ressursbeskrivelsen for Lofoten - Barentshavet. Norsk Polarinstitutt og Havforskningsinstituttet.
- von Quillfeldt, C.H. & Dommasnes, A. (red.) 2005: Forslag til indikator og miljøkvalitetsmål for Barentshavet. Rapport fra delprosjekt under forvaltningsplanen for Barentshavet. *Fisken og havet*, 5.
- von Quillfeldt, C.H. (red.) 2007: *Økosystembasert forvaltning av Barentshavet 2007. Rapport fra Faglig forum til den Interdepartementale styringsgruppen for Forvaltningsplanen. Norsk Polarinstituttts Kortrapport Nr. 05*. Tromsø, Norway: Norwegian Polar Institute.
- Waniek, J.J. 2003: The role of physical forcing in initiation of spring blooms in the Northeast Atlantic. *Journal of Marine Systems* 39 (1-2), 57-82.
- Wassmann, P., Reigstad, M., Haug, T., Rudels, B., Carroll, M.L., Hop, H., Gabrielsen, G.W., Falk-Petersen, S., Denisenko, S.G., Arashkevich, E., Slagstad, D. & Pavlova, O. 2006: Food webs and carbon flux in the Barents Sea. *Progress in Oceanography* 71 (2-4), 232-287.
- Watson, R.T., Zinyowera, M.C. & Moss, R.H. 1998: A Special Report of Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). *The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Werner, I. & Gradinger, R. 2002: Under-ice amphipods in the Greenland Sea and Fram Strait (Arctic): Environmental controls and seasonal patterns below the pack ice. *Marine Biology* 140 (2), 317-326.
- West, J.J. & Hovelsrud, G.K. 2007: *Climate change in northern Norway: toward an understanding of socio-economic vulnerability of natural resource-dependent sectors and communities*. NorACIA report.
- Yodzis, P. 2000: Diffuse effects in food webs. *Ecology* 81 (1), 261-266.
- Yodzis, P. 2001: Must top predators be culled for the sake of fisheries? *Trends in Ecology & Evolution* 16 (2), 78-84.
- Ådlandsvik, B. & Loeng, H. 1991: A study of the climatic system in the Barents Sea. *Polar Research* 10 (1), 45-49.

