

Helhetlig forvaltningsplan for Nordsjøen

C. Kunnskapsgrunnlag

5f. Identifikasjon av utfordringer og problemstillinger knyttet til klimaendringer

Geir Ottersen (redaktør)



FORORD

Regjeringen signaliserte i St. melding nr. 8 (2005-2006) *Helhetlig forvaltning av det marine miljø i Barentshavet og havområdene utenfor Lofoten (forvaltningsplan)* at denne vil danne utgangspunkt for arbeidet med helhetlige forvaltningsplaner for andre norske havområder. Stortinget har gjennom behandlingen av denne første forvaltningsplanen gitt sin tilslutning til dette. Det foreligger også en Stortingsmelding for Norskehavet, St. melding nr. 37 (2008-2009) *Helhetlig forvaltning av det marine miljø i Norskehavet (forvaltningsplan)*. Den norske modellen for helhetlig og integrert havmiljøforvaltning skal videreføres gjennom arbeidet med forvaltningsplan for Nordsjøen og Skagerrak. Arbeidet med det faglige grunnlaget for en slik forvaltningsplan er igangsatt og utføres av faggruppen for Nordsjøen. Denne rapporten er et ledd i faggruppens arbeid.

Det er bred konsensus blant forskere og beslutningstakere om at klimaendringer er en av de store utfordringer som samfunnet vil stå overfor i de kommende år. Endringer i klima vil kunne få store konsekvenser for både miljø og samfunn. I denne rapporten forsøker en, på en kortfattet måte, å sammenstille kunnskapen og avdekke kunnskapsbehov knyttet til klimaendringer og effekter på havmiljø og ressurser. Rapporten omhandler effekter på forurensningssituasjonen, effekter på arter og økosystemer, samt på miljø- og sikkerhetsaspekter ved petroleumsaktiviteter, skipstrafikk og fiskerier. Det som legges fram her er en sammenstilling av fakta, og vil danne et grunnlag for kommende rapporter i forvaltningsplanarbeidet. Vurderinger og prioriteringer av kunnskapsbehov vil i større grad gjøres seinere i planprosessen. Status og prognoser for havforsuring i Nordsjøen og Skagerrak tas opp i en egen delutredning, og behandles derfor ikke i denne rapporten.

Arbeidet har vært ledet fra Havforskningsinstituttet, med bidrag fra faggruppens fagetater og forskningsinstitutter.

Oslo 23/11-2009

Anne Sundbye
Leder for faggruppen

INNHOLD

Sammendrag	4
1. Klima, antatte klimaendringer og effekter på fysisk miljø	6
2. Effekter av klimaendringer på forurensningssituasjonen	11
3. Konsekvenser av klimaendringer på påvirkning fra land	18
4. Effekter av klimaendringer på plankton	21
5. Effekter av klimaendringer på bunndyr og –planter	24
6. Effekter av klimaendringer på fiske- og skalldyrbestander	26
7. Effekter av klimaendringer på sjøfugl	29
8. Effekter av klimaendringer på sjøpattedyr	31
9. Mulige konsekvenser av klimaendringer på skipstrafikk	34
10. Klima og antatte klimaendringer – konsekvenser for petroleumsvirksomheten	36
11. Effekter av klimaendring på fiskeri	39
12. Effekter av klimaendringer i et økosystemperspektiv	40
Litteratur	44

Sammendrag

Klimaet er i stadig endring, og det blir stadig bedre dokumentert at menneskeskapte utslipp til atmosfæren har ført til, og vil komme til å føre til, endringer i det globale klimasystem. Prognoser for klimaendringer i Nordsjøen og Skagerrak viser at temperaturen og nedbøren vil øke, først og fremst om vinteren. Det er liten tvil om at en omfattende endring i klima vil kunne få vidtrekkende konsekvenser for plankton, bunnlevende planter og dyr, fisk, sjøfugl og sjøpattedyr i utredningsområdet, både i forhold til utbredelse, tetthet og reproduktiv suksess. I tillegg til effekten på enkeltarter må vi forvente kompliserte responser som forplanter seg gjennom næringsnettet. Men sammenhengene er komplekse og kunnskapsnivået ennå så utilstrekkelig at det er vanskelig å forutsi hva konsekvensene av klimaendring vil være. Uansett retningen i klimaendringene må vi regne med forandringer i balansen mellom artene, noen vil profitere, mens andre får problemer, og jo sterkere og raskere endringer, dess større kan effektene bli.

Klimaendringer vil ha konsekvenser for forurensningssituasjonen. Økt sjøtemperatur vil påvirke transport, omsetting og effekt av både næringssalter og miljøgifter. Økt nedbør vil føre til økt avrenning og raskere utvasking av næringssalter og miljøgifter fra land. Dette vil kunne ha stor innflytelse på kystvannet, spesielt sommerstid da lokale tilførsler langs norskekysten kan bety mer for vannkvaliteten enn de langtransporterte. Endringer i nivåer og fordelingsmønstre av næringssalter og miljøgifter vil utgjøre en tilleggsbelastning for allerede belastede systemer og økosystemtjenester. Flere forskere har påpekt at gamle miljøgiftsynder som PCB, DDT og kvikksølv dukker opp til overflaten og mobiliseres på grunn av endrede flom- og nedbørmønstre, erosjon og avrenning. På denne måten tilgjengeliggjøres "arkiverte" miljøgifter. Konsekvensene er nesten aldri akutt forgiftning, men skadene kan påvirke arters evne til å forplante seg og overleve på sikt. Vi vet fremdeles lite om kombinerte effekter og samvirke mellom klimastress og andre påvirkninger som havforsuring, forurensning og overfiske. Havforsuring, som er det raskest voksende forurensningsproblemet i norske havområder, tas opp i en egen delutredning, og er derfor ikke direkte adressert i denne rapporten.

Klimaendringer vil også kunne påvirke aktivitetsnivået innenfor sektorene skipstrafikk, petroleumsvirksomhet og fiskerier. Økt hyppighet av ekstremvær kan øke risikoen for akutt forurensning fra offshorevirksomhet og skip. For skipsfarten er det både sikkerhets- og miljøaspekter knyttet til endringer i klima. De største utfordringene blir infrastrukturens toleranse for vannstandsøkning, vind og bølger, men også vind og bølgepåvirkning på skip under seiling vil kunne gi en økt risiko. På miljøsidene er det særlig spredning av organismer i ballastvann og ved fouling (begroing av skipsskrog) som kan påvirkes av klimaendringer. Endringer i vind, bølger, temperatur, strøm etc. kan påvirke både sannsynligheten for uønskede hendelser i petroleumsvirksomheten og deres konsekvenser, dersom virksomheten ikke er tilpasset naturlastene den utsettes for. Det er derfor viktig at utforming, operasjoner og styring av petroleumsvirksomheten blir tilpasset konsekvensene av klima og klimaendringene. Fiskeriene vil møte de samme utfordringene som øvrig skipstrafikk. Fiskeriaktivitet er dessuten, per definisjon, nært knyttet til mengde og utbredelse av fiskeressursene. Den mer nordlige utbredelsen av bunnfiskbestandene som vi allerede observerer skulle medføre mer fisk nærmere norske farvann, noe som isolert sett er positivt for norske fiskere. Tradisjonelt har også industritrålfisket etter øyepål/kolmule og tobis vært av stor betydning, men omfanget av disse fiskeriene har de siste årene blitt vesentlig redusert. I hvilken grad dette er påvirket av klimaendringer er fortsatt uklart. Det kan videre ikke utelukkes at mer sørlige arter, som

sardiner og ansjos, i fremtiden kan opptre i den nordlige Nordsjøen i forekomster som vil gjøre et kommersielt fiske mulig.

Også andre aspekter ved fiskebestandene enn utbredelsen påvirkes av endringer i klima. De siste årene har rekrutteringen til både torske- og sildebestanden i Nordsjøen vært gjennomgående svak. Dette blir vurdert som et resultat av endringer i miljø- og biologiske forhold tilknyttet oppvarming. Videre temperaturøkning regner en med vil være svært ugunstig for disse bestandene, som er nær sørgrensen for artens totalutbredelse. Sammenhengen mellom temperaturendringer og fiskebestandene er komplekse, men det er liten tvil om at forandringer i dyreplanktonsamfunnet i Nordsjøen er av betydning. Særlig regner en med at det er ugunstig at mengden av det viktige byttedyret raudåte er sterkt redusert i løpet av de siste 20-30 årene.

Klimarelaterte prosesser påvirker utbredelsen og artssammensetningen av dyre- og plantelivet på havbunnen. Klimaendringer forventes således å få en klar effekt. Det bentiske systemet påvirkes først og fremst av forandringer i temperatur- og strømforhold (det siste for eksempel som et resultat av sterkere og hyppigere stormer). Klimaendringene kan også ha mer indirekte effekter på det bentiske systemet; for eksempel kan økt temperatur føre til høyere primærproduksjon. Det kan påvirke bunndyrene på samme måte som ved overgjødning.

Klima påvirker sjøfugler hovedsakelig gjennom to typer prosesser: direkte gjennom fysiologiske effekter eller indirekte gjennom påvirkning av tilgjengelighet av byttedyr. Gjennom store deler av året har mange sjøfugler stor mobilitet og ganske tilpasningsdyktige i forhold til endringer i næringsgrunnlaget, forårsaket av klimasvingninger eller –endringer. Hekkende sjøfugl derimot er mer avhengig av at avstanden mellom reirplassen og beiteområdene ikke er for stor. Det er begrenset tilgang på egnete hekkeplasser for mange arter, slik at de i hekkeperioden er mer sårbare for svikt i næringsgrunnlaget (enten ved at bestandene til byttedyrene faktisk går ned, eller at de forflytter seg til andre områder og dermed ikke er tilgjengelige) i umiddelbar nærhet til kolonien.

Sjøpattedyr med fast tilhold i Nordsjøen (havert, steinkobbe, nise med mer) er trolig akklimatisert til å tåle de temperaturendringene som er sannsynlige innenfor rammene av dagens klimamodeller. Disse stedbundne artene kan imidlertid bli sterkt influert av indirekte virkninger av klimadrevne endringer i det marine økosystemet. Forekomsten av flere mindre stedbundne arter i Nordsjøen vil framover trolig avhenge av tilgangen på foretrukne byttedyr i Nordsjøen i forhold til tilgangen utenfor nordsjøområdet. Med økende temperatur og en nordlig forskyvning av utbredelsesområdets nordgrense kan mer varmekjære arter som har sin nordgrense ved De britiske øyer (for eksempel vanlig og stripet delfin) i løpet av relativt kort tid bli svært tallrike i Nordsjøen. Dette kan føre til konkurranse med, og nye økologiske betingelser for, dagens nordsjøarter.

Det understrekes at mye av effekten av klima på et økosystem som en helhet ikke kan forklares utelukkende basert på kunnskap om klimaresponsen til enkeltarter. Dette skyldes det komplekse samspillet mellom predator og byttedyr i et næringsnett.

I rapporten pekes det på felt der det er behov for mer forskning og kunnskap for å kunne forvalte Nordsjøen bedre. Behovene er i mange tilfeller sammenfallende med tilsvarende behov identifisert i forbindelse med forvaltningsplan for Barentshavet-Lofoten og Norskehavet. Tiltak for å bedre kunnskapsgrunnlaget vil med andre ord være nyttig for arbeidet med alle våre havområder.

1. Klima, antatte klimaendringer og effekter på fysisk miljø i Nordsjøen

Klimabakgrunn

Det FNs internasjonale klimapanelet (IPCC) definerer *klima* som ... "gjennomsnittlig vær", eller mer presist, som statistisk beskrivelse i forhold til gjennomsnittet og variasjon av relevante størrelser over en tidsperiode som strekker seg fra måneder til tusenvis eller millioner av år. Den klassiske perioden er 30 år, som definert av World Meteorological Organization (WMO). Den faktiske periode kan avvike fra 30 år avhengig av tilgjengeligheten av data og formålet med studien. *Klimaendring* er brukt til å betegne systematiske endringer som skjer over flere tiår og lengre og har de siste årene blitt synonymt med de endringene som følger av menneskelig inngripen som gjennom klimagassutslipp, urbanisasjon og avskoging. Vi vedtar sistnevnte bruk i denne rapporten. Dette i motsetning til klimasvingninger eller klimavariasjon som refererer til variasjon i tid av atmosfære-hav systemet rundt en middeltilstand.

Klimaet er i stadig endring, og det er stadig mer sannsynlig at menneskeskapte utslipp til atmosfæren har ført til, og vil komme til å føre til, endringer i det globale klimasystem. Klimaparametere som luft- og havtemperatur, nedbør, vind, sol- og UV-stråling, havstrømmer, saltholdighet og vannstand har allerede, eller forventes over de følgende tiår, å endre seg.

Variasjon på mellom-årlig, interdekadisk og multi-dekadiske tidsskalaer

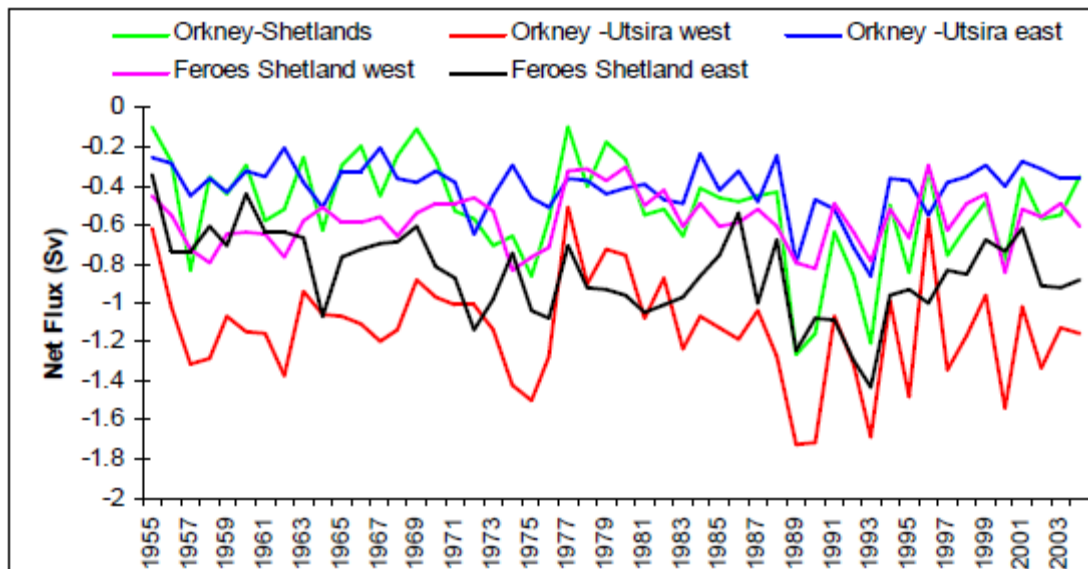
Innstrømming gjennom ulike snitt i Nordsjøen viser en markert år-til-år variasjon (Fig. 1.1). I det sentrale Nordsjøen er det i år med positiv indeks for NAO (North Atlantic Oscillation) gjennomgående varmere havoverflatetemperaturer. Dette anses å skyldes økt tilsig av atlantisk vann til Nordsjøen samt økt varmetilførsel fra atmosfæren. I tillegg til ovenstående variasjon er det dokumentert fluktuasjoner med en periode på ca 60 til 80 år. Svingninger med en slik periode har blitt kalt den Atlantiske Multidekadiske oscillasjon (AMO). I Nordsjøen så vel som nordøstatlanteren og andre tilgrensende områder har en observert et generelt mønster av relativt kalde år i slutten av 19. århundre og begynnelsen av det 20., en varmeperiode fra 1920-tallet til 1950, kulde gjennom 1970-tallet til 1980 og varmere igjen i de siste tiår av det 20. århundre og inn i dette århundre.

I Nordsjøen skiller to klimatiske perioder seg ut som eksepsjonelle i løpet av de siste 50 år. Under den siste endringen i slutten av 1980 tallet, skjedde en markant endring i storskala hydro-meteorologiske- og økosystemparametre, blant annet en markert økning i oseaenisk innstrømming og havoverflatetemperatur. Denne tempererte periode har fortsatt fram til i dag. Den forrige endringen skjedde i slutten av 1970-tallet, og var preget av lave temperaturer og saltholdighet, redusert tilsig av atlantisk vann og kalde boreal forhold (Fig. 1.2).

De viktigste fysiske variablene

For troverdig å kunne forutsi økologiske sammenhenger under klimaendringer er det flere fysiske variable det er viktig å kunne gjenskape. På atmosfærisk side inkluderer disse lufttemperatur, nedbør, skydekke, lufttrykk, vind og varmekulser atmosfære-hav. De to første er betydningsfulle på grunn av deres effekt på henholdsvis havtemperatur og saltinnhold. Nedbør avgjør også elveavrenning og direkte ferskvannutslipp til havet. Skydekke påvirker solens stråling på havoverflaten og er derfor en avgjørende regulator av planteplanktonproduksjon. Det kan også påvirke fødetilgang for enkelte organismer gjennom lysforholdene i vannsøylen. Storskala lufttrykksmønstre henger sammen med vindforhold,

som igjen påvirker vertikalblandingen i vannsøylen og dermed transport av næringsalter til overflatenære lag og fødetilgang for små organismer. Vind påvirker også havets sirkulasjonsmønstre. Modeller som forutsier framtidige klimascenarier har blitt vesentlig forbedret de siste årene og er nå konsekvente med hensyn til temperatur- og nedbørsmønstre. Fremskrivninger av skydekke og vind er imidlertid fortsatt høyst usikre.

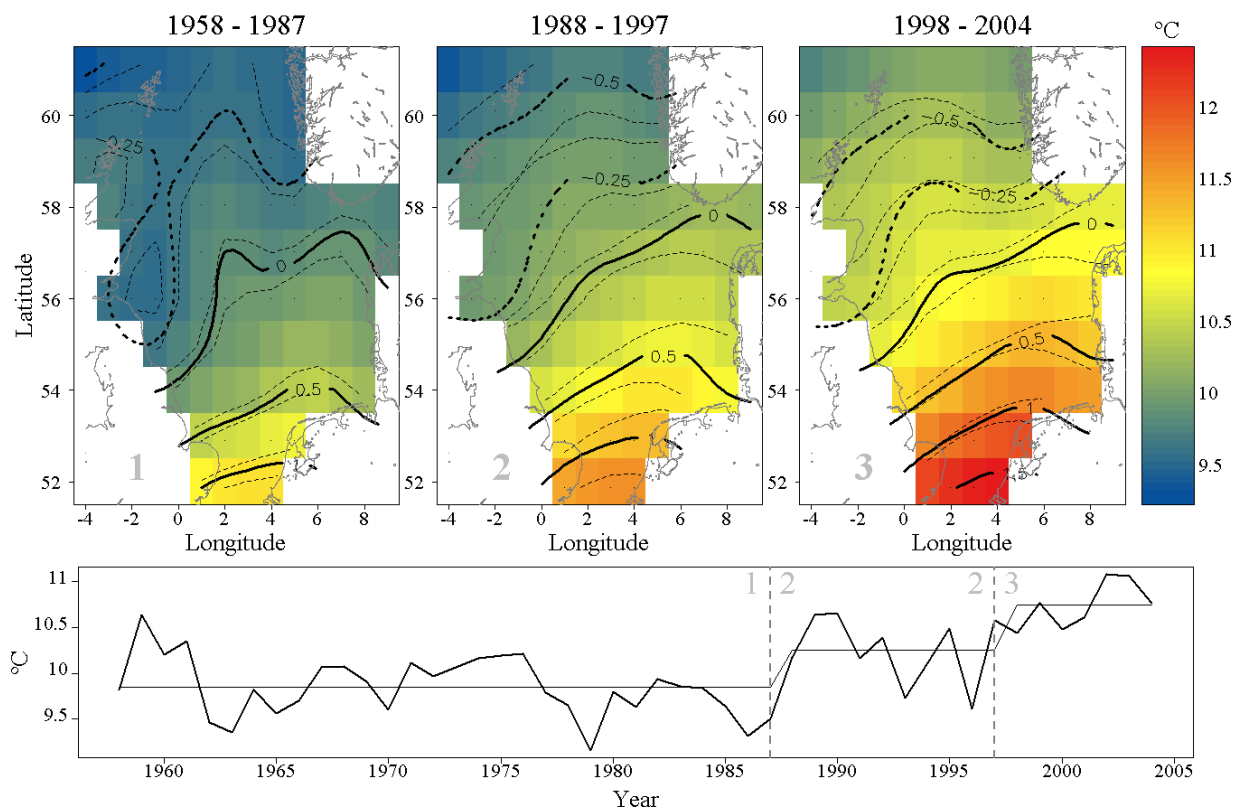


Figur 1.1. Midlere vinter (desember, januar, februar) innstrømming i Sverdrup ($10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) gjennom ulike snitt til det nordlige Nordsjøen som modellert ved den 3D koblede modellen NORWECOM. Negative verdier indikerer sterkere utstrømming.

Viktige havvariabler for økosystemstudier inkluderer temperatur, saltholdighet, lagdeling, sirkulasjonsmønstre, oppvelling og fronter. Temperatur er viktig, både gjennom sin direkte innvirkning på en rekke metabolske prosesser og mer indirekte ved at endringer i temperatur påvirker ulike deler av økosystemet forskjellig. Saltholdighet synes å ha mindre effekt, bortsett fra ved svært lave verdier. Lagdeling påvirker omrøring og dermed næringsflukser til overflatelaget. Videre fører høyere lagdeling typisk til at mer energi blir resirkulert i de øvre lag av vannsøylen til fordel for organismer som lever i de frie vannmasser (pelagisk), mens redusert lagdeling gjerne resulterer i mer energi til bunnlevende dyr og planter og bunnorienterte (demersale) fisk. Strømmønstre har innflytelse på fronter mellom vannmasser, som i sin tur påvirker fordelingen til ulike arter. Strøm påvirker også drift av partikler, inkludert planteplankton, samt noen dyreplankton og fiskeegg og -larver. Oppvelling påvirker næringsstoffer og dermed planteplankton-produksjonen som i sin tur påvirker høyere nivåer i næringsnettet.

Antatte effekter av klimaendringer på det fysiske miljø i Nordsjøen

Den seneste IPCC rapporten (2007) konkluderer med at den menneskeskapt globale oppvarming er godt i gang og at temperaturer forventes å fortsette å stige. Disse anslagene eller scenarier er generert fra koplede atmosfære-hav globale sirkulasjonsmodeller (GCMer). Tidligere regionale klimaendringsscenarier for Nordsjøområdet har spådd en økning i lufttemperatur på mellom 2 °C og 3,5 °C til 2080, mens høye sommertemperaturer blir hyppigere og svært kalde vintre stadig sjeldnere.

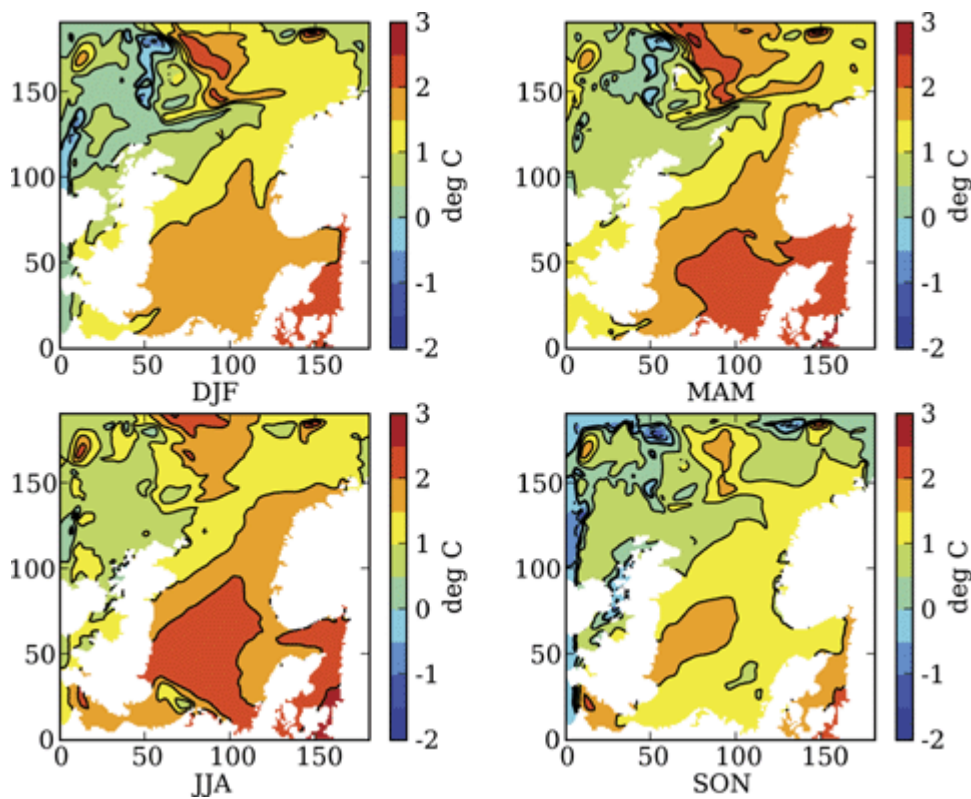


Figur 1.2. Utvikling i overflatetemperatur i Nordsjøen. En markert økning sees. Øverst vises romlig mønster, nederst utvikling i tid med to statistisk signifikante regimeskifter markert. Fra Marcos Llope, CEES, Universitetet i Oslo.

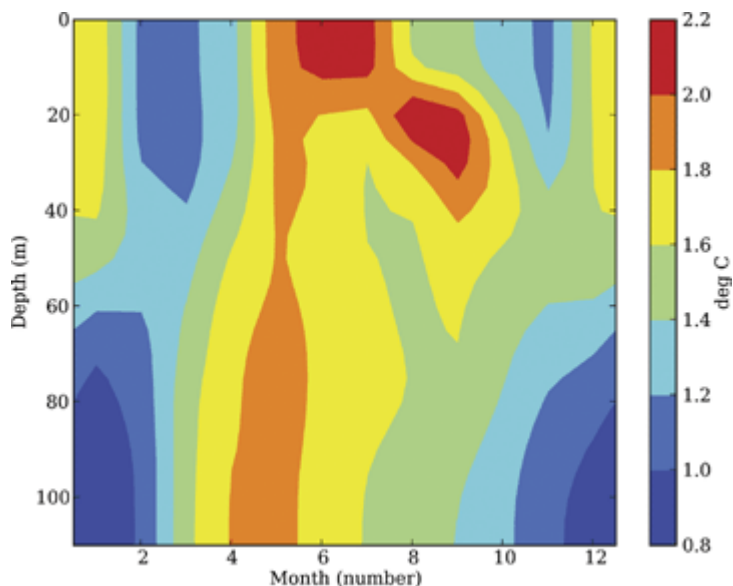
Frekvensen av ekstremt høye luft- og havtemperaturer vil øke og frekvensen av ekstrem kulde synke i hele Europa. På døgnskala vil nattens minimumstemperaturer øker mer enn dagens maksimumstemperaturer. På grunn av sin høye varmekapasitet vil havet ikke bli oppvarmet like mye som land.

Resultatene av en nylig modellkjøring for perioden 2072–2097 viser en oppvarming av Nordsjøen, med et volummiddel på 1.4 °C og en middels økning av temperaturen i havoverflaten med 1.7 °C i forhold til perioden 1972–1997 (Fig. 1.3). Oppvarmingen er sterkest i mai-juni (Fig. 1.4) og geografisk i vann nær overflaten i Skagerrak-Kattegat og på 50 meter i det sentrale Nordsjøen. Dessuten er det en svak økning i Atlantisk innstrømming til Nordsjøen.

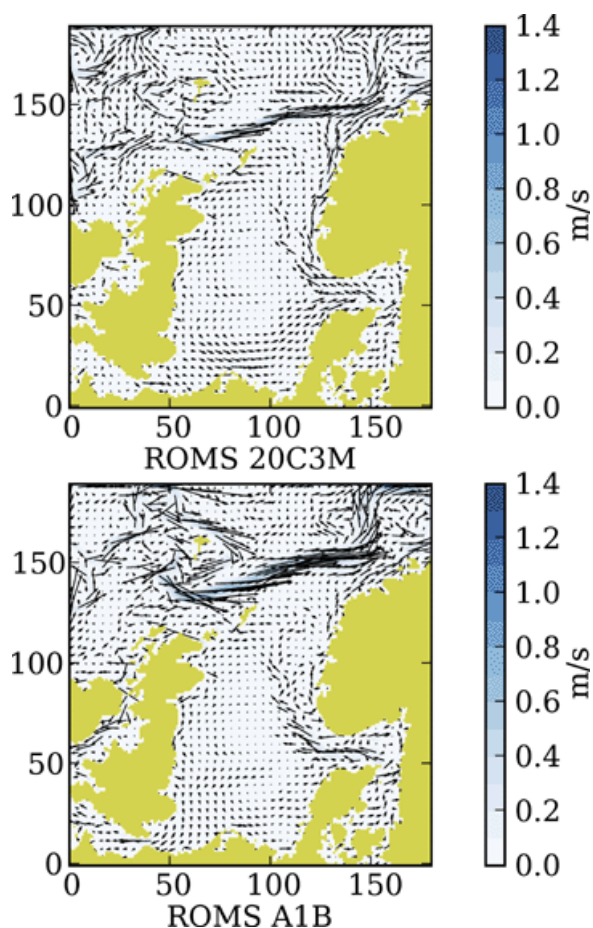
Nedbør og avrenning vil svært sannsynlig øke i Nord-Europa. Dessuten er det svært sannsynlig at ekstremverdiene i daglig nedbør også øker. Intensiteten i vinternedbør nord for 45 ° N forventes å øke. Endringene i vindforhold over europeiske marine områder under fremtidige klimatiske forhold er mer usikre enn for temperatur og nedbør, men en forventer at det vil bli en økning i gjennomsnittlige og ekstreme vindhastigheter over den nordlige Nordsjøen. Den meste markerte endringen i strømmønsteret i overflaten (Fig. 1.5) er i den atlantiske innstrømmingen til Norskehavet. I Nordsjøen kan en legge merke til en svekket Jyllandstrøm rundt Danskekysten i framtidsscenarioet. Ekstreme stormfloepisoder kan øke langs Nordsjøkysten mot slutten av dette århundret. Den samme endringen er foreslått for bølgehøyde, men dette er ikke statistisk signifikant. I framtiden forventes et røffere marint klima i den nordlige Nordsjøen om høsten.



Figur 1.3. Modellerte forskjeller i sesongmidlede overflatetemperaturer mellom periodene 2072–2097 og 1972–1997. Basert på det såkalte SRES A1B scenarior for perioden 2072–2097 (kjørt ved Bergen Climate Modell, BCM) nedskalert for det marine klimaet i Nordsjøen vha. Regional Ocean Model System (ROMS).



Figur 1.4. Midlere månedsvise temperaturforskjeller mellom simuleringer for periodene 2072–2097 og 1972–1997 for et område i det sentrale nordlige Nordsjøen.



Figur 1.5. Midlere overflatestrømmer fra nedskalerte simuleringer. Øverst for perioden 1972–1997, nederst 2072–2097. Fylte konturer av hastighet i $m s^{-1}$.

Noen forskningsbehov

- Bedre grunnlaget for prediksjon av havklimaet i Nordsjøen ved å øke forståelsen av mekanismene bak endring av vindmønsteret over og forandringer av havsirkulasjonen og vannmassefordelingen i de Nordiske hav.
- Dagens storskala klimamodeller (GCM) er ikke gode nok til å gjenskape selv de dominerende moder av temperaturvariabilitet i Nordatlanteren, AMO og NAO. Dette skyldes delvis svakheter ved initialisering av feltene for havet. Et felles løft for å få forbedret dette trengs.
- Økt samarbeid mellom storskala klimamodellører og regionale havmodellører må etableres for å få på plass usikkerhetsmål for atmosfæredynamikk i klimaprojeksjoner, samt forbedre globale modeller.
- Det trengs mer forskning på å utvikle tilfredsstillende nedskaleringsstrategier for sokkelhav som Nordsjøen.

2. Effekter av klimaendringer på forurensningssituasjonen

Prognoser for klimaendringer i Nordsjøen og Skagerrak viser at temperaturen og nedbøren generelt vil øke. Slike klimaendringer vil ha konsekvenser for forurensningssituasjonen. Økt sjøtemperatur vil påvirke transport, omsetting og effekt av både næringssalter og miljøgifter. Økt nedbør vil føre til økt avrenning og raskere utvasking av næringssalter og miljøgifter fra land, og remobilisering av miljøgifter som er bundet opp i miljøet.

Endringer i nivåer og fordelingsmønstre av næringssalter og miljøgifter vil utgjøre en tilleggsbelastning for allerede belastede systemer. Samtidig vil klimaendringer føre til økt sårbarhet i økosystemene og biota. Organismer som allerede lever på 'marginale' vil være mer sårbare og mindre i stand til å håndtere ytterligere stress. De vil også ha mindre kapasitet for å tilpasse seg endringer i miljøet. Forskningen har i liten grad sett på kombinerte effekter av klimaendringer og andre påvirkninger. Vi vet fremdeles lite om samvirke mellom klimastress, havforsuring og forurensning.

Klimaendringer vil også kunne påvirke aktivitetsnivået innenfor de sektorer og næringer som påvirker havmiljøet. Kommuner, industri, landbruk og akvakultur er forurensere som vil kunne oppleve at klimaendringene utløser mer forurensning fra deres aktiviteter dersom det ikke settes i verk motiltak. Økt hyppighet av ekstremvær kan øke risikoen for akutt forurensning fra landbasert industri, offshorevirksomhet og skipsfart.

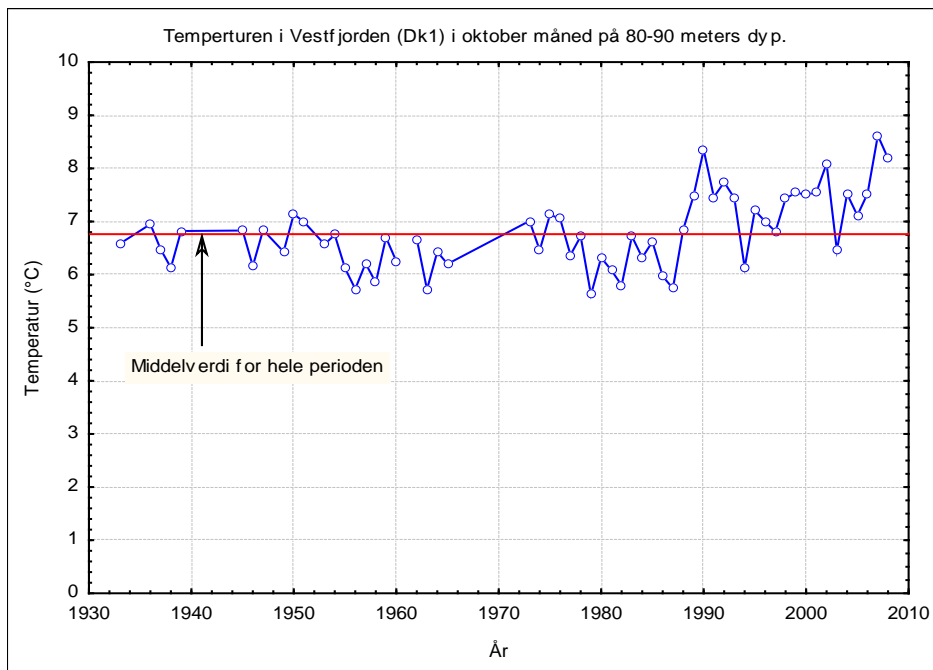
For forvaltningen vil det være behov for å tilpasse miljøovervåkingen slik at potensielle forurensningskonsekvenser av klimaendringene identifiseres og kvantifiseres, likeså effekten av tilpasninger og tiltak.

Klimaendringer påvirker tilførsler og omsetting av næringssalter

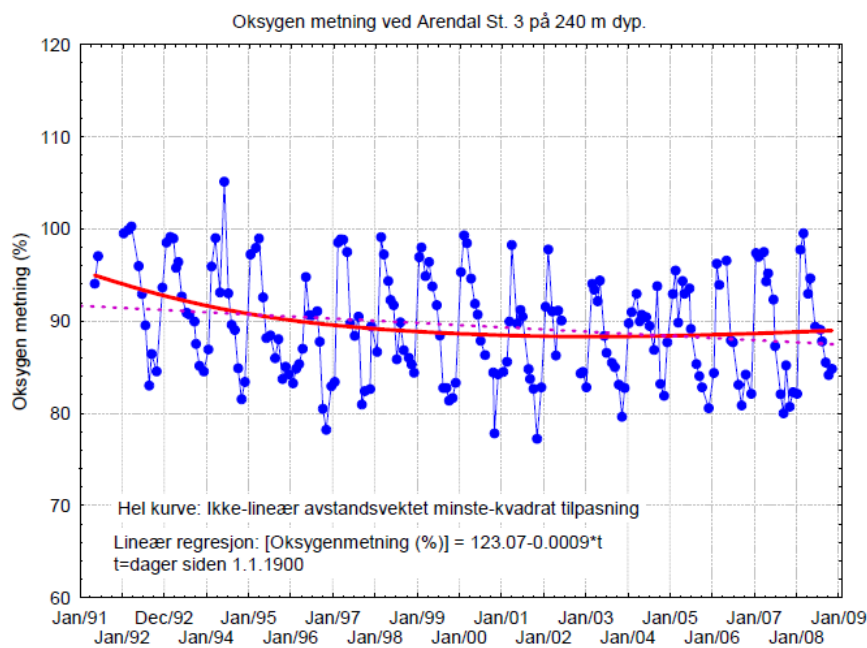
Overgjødsling skyldes for stor tilførsel av næringssalter. Jordbruk er den største kilden til menneskeskapte næringssalter rundt Skagerrak, mens en sterkt økende oppdrettsnæring gir økende lokale utslipp av næringssalter på Vestlandet. Foruten lokale kilder kommer det betydelige mengder med næringssalter langtransportert med havstrømmene fra andre land rundt Nordsjøen, men trenden er at disse tilførselsene er nedadgående.

Klimaendringer vil gjennom ulike mekanismer sannsynligvis resultere i en økt tilførsel av næringssalter til kyst- og havområder. Tilførslene vil øke både fra internasjonale, men spesielt nasjonale kilder. For eksempel vil økt nedbør og ekstremvær gi økt avrenning og transport av næringssalter, partikler og organisk stoff til kyst og hav. Økt frekvens av milde vintre med mange fryse-tinedøgn (nullpunktskrysnings) gir økt jorderosjon, som igjen vil ha betydning for utvasking og transport av næringssalter og partikler til sjø (se også kapittel 3).

Temperaturen i Skagerrakvann øker, og dermed også i dypvannet i ytre Oslofjord (Fig. 2.1). Økt temperatur gir samtidig redusert oksygeninnhold i vann, noe som bidrar til negativ utvikling i overgjødslingssituasjonen. Selv om oksygenforholdene er gode i kystvannet, er det en nedadgående trend i enkelte områder (Fig. 2.2). Vi opplever også at kyststrømmene med næringssalter fra kontinentet presses nærmere land som følge av kraftigere sørlige vinder. Dette påvirker dypvannsutskifting i terskelfjorder.

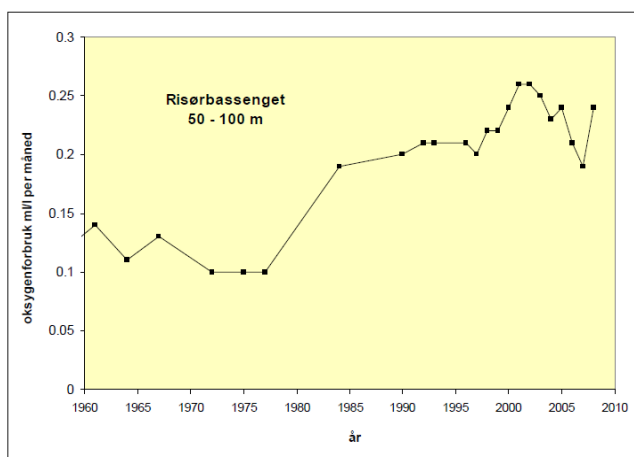


Figur 2.1. Temperatur i dypvann (80-90 m dyp) i ytre Oslofjord (Vestfjorden) fram til 2008 (Kilde: HI/NIVA).



Figur 2.2. Oksygenmetning (%) ved Arendal St. 3 på 240 m dyp 1991-2008 (Moy et al 2009).

Økt organisk belastning på fjorder og kystbasseng langs Skagerrakkysten gir økt oksygenforbruk, noe som fører til dårligere vannkvalitet i dypvannet. Resultater fra Risørbassenget viser at oksygenforbruket har økt dramatisk i perioden 1980-2005 (Fig. 2.3). I 2006 og 2007 var oksygenforbruket lavere, før det igjen økte i 2008.

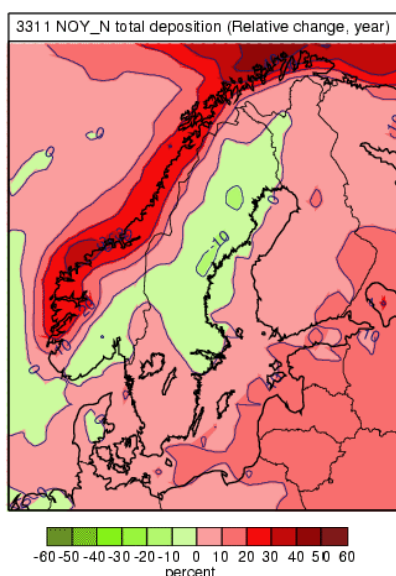


Figur 2.3. Oksygenforbruk i Risørbassenget fra 1930 til 2008 (Kilde: HI).

Nordsjøen har opplevd en økning i biomassen av planteplankton, og en utvidet vekstperiode (se også kapittel 4). Økt biomasse kan være et resultat av økt temperatur og/eller økt eutrofi. Med eutrofiering kan vi få kraftige algeoppblomstringer, der noen arter kan være giftige, noe som igjen kan gi store effekter på bestandene til beitende arter. Store oppblomstringer av giftige alger har også tidligere vist å gi fiskedød – spesielt hos oppdrettsfisk.

Oksygenstress som følge av overgjødning vil medføre lavere toleranse for andre påvirkninger.

Foreløpige beregninger tyder på at lufttilførsler av nitrogen vil øke langs norskekysten, og at lufttilførslene til hav også vil øke i framtida. Den største økningen blir fra Vestlandet og nordover, men man beregner økning også for Nordsjøen og Skagerrak (figur 2.4). Økt nedfall av nitrogen over land vil også kunne føre til økt avrenning av nitrogen fra land til kystområdene.



Figur 2.4. Endringer i nitrogenavsetninger i Norge i prosent fram mot år 2100. De røde feltene viser sterk økning langs norskekysten. (Figur: Magnuz Engardt, SMHI).

Klimaendringene og forurensning virker negativt på sukkertaren

Utviklingen i bestandene av sukkertare rundt Nordsjøen er et eksempel på hvordan mange faktorer kan virke sammen og slå ut viktige bestander. En utredning som ble gjennomført i forbindelse med "Sukkertare-prosjektet" konkluderer med at langs Skagerrakkysten virker avrenning av næringssalter fra land sammen med klimaendringene på en slik måte at høye sjøtemperaturer slår ut sukkertarebestandene, og høye næringssaltkonsentrasjoner og nedslamming bidrar til at trådalger erstatter sukkertaren og hindrer den i å etablere seg på nytt. På denne kyststrekningen er 80 prosent av sukkertaren borte. På Vestlandet er 40 prosent av sukkertaren forsvunnet. Dette har store effekter på kystøkosystemene, og rapporten konkluderer med at det er fortsatt et betydelig behov for forskning på årsaker og virkninger knyttet til denne problemstillingen, med sikte på iverksetting av nødvendige tiltak. Ifølge regionale klimamodeller vil perioder med høye sjøtemperaturer og fare for økt avrenning av næringssalter og partikler forekomme oftere i tiden framover. Det haster derfor med å få på plass effektive tiltak.

Klimaendringer endrer tilførsler og transport av miljøgifter

Klimavariabeler som vind, nedbør, avrenning, strømmer, bølgeregimer, temperatur, is og snødekke vil endre tilførselsrutene og – tidspunktene for miljøgifter. For eksempel vil mer nedbør kunne føre med seg mer miljøgifter via elver, og endrede temperatur og vindmønstre vil påvirke tilførselen av luftforurensning. Klimaendringer påvirker også miljøgiftenes videre skjebne i sjøen. En del miljøgifter vil kunne brytes ned raskere pga økt temperatur, eller transporteres raskere vekk fra Nordsjøen via lufttransport. På den andre siden vil endringer i vannstrømmer og smelting av sjøis kunne øke transporten av miljøgifter til Nordsjøen fra mer nordlige havområder.

Ulike vannmasser bringer med seg ulike sammensetninger av plante- og dyreplankton. Når vannstrømmer endres påvirkes dermed næringskvalitet og energigiveier. Slik kan flyten av miljøgifter gjennom næringsnett påvirkes, fra byttedyr til predatorer, helt opp til sel og sjøfugl. Også klimainduserte endringer i arters vandringsmønstre kan påvirke hvor og når miljøgifter transporteres.

Flere forskere har påpekt at gamle miljøgiftsynder som PCB, DDT og kvikksølv dukker opp til overflaten og mobiliseres på grunn av endrede flom og nedbørmønstre, erosjon og avrenning. På denne måten tilgjengeliggjøres 'arkiverte' miljøgifter. Det er velkjent at tungt nedbrytbare miljøgifter som bioakkumulerer i næringskjeden utgjør en trussel og kan akkumulere til nivåer som gir skade på organismer. Konsekvensene er nesten aldri akutt forgiftning, men skadene kan påvirke arters evne til å forplante seg og overleve på sikt.

Det er fremdeles store kunnskapsbehov knyttet til hvordan klimaforandringene påvirker dynamikken av gamle og nye miljøgifter i marint miljø og næringskjeder.

Klimaendringer påvirker miljøgiftenes biotilgjengelighet og effekt

Klimaendringer kan også påvirke tilstandsform, biotilgjengelighet og giftighet av miljøgifter. Dette skyldes blant annet at faktorer som temperatur påvirker hvor lett eller vanskelig et stoff tas opp av en organisme. Også organismenes fysiologiske funksjoner, sensitivitet og stresstoleranse påvirkes av temperatur. Saltholdighet er en annen faktor som påvirker miljøgiftenes biotilgjengelighet og giftighet.

Temperatur og fysiologiske funksjoner henger tett sammen. Økt temperatur vil i mange tilfeller øke produktiviteten i økosystemet, noe som vil kunne øke opptaket av miljøgifter i

næringskjeden (for eksempel pga økt metabolsk rate og/eller økt ventilasjon). Høy temperatur kan redusere toleransen for annen påvirkning. Organismer og populasjoner som lever tett opp til egen tålegrense er mer sårbare for påvirkninger fra for eksempel miljøgifter, og har mindre kapasitet for tilpasning. Samtidig kan temperaturløansen i seg selv reduseres i nærvær av organiske miljøgifter.

I mange tilfeller er det ingen lineær sammenheng mellom påvirkning og fysiologisk respons. Erfaringen er heller at når tålegrenser overskrides så medfører det alvorlige, og i mange tilfeller synergistiske effekter på art eller populasjon.

Mange organiske miljøgifter lagres i fettvev hos langlevde toppredatorer. Under vanskelige forhold, for eksempel matmangel forårsaket av klimaendringer, hvor dyrene må tære på sine fettreserver, blir miljøgiftene transportert ut i kroppen hvor de kan påvirke systemet.

Dette er et intrikat samspill som involverer mange fysiske, kjemiske og biologiske faktorer, og ulike prosesser går i ulike retninger. Resultatet er at det er ofte er vanskelig å forutsi nettoeffekten på arter og økosystemer.

Klimaendringene kan øke utslippene fra samfunnssektorer

Hav-, land- og kystbasert menneskelig aktivitet medfører utslipp av forurensende stoffer til hav, direkte eller via elver og luft. Klimaendringer vil kunne påvirke aktivitetsnivået innenfor de sektorer og næringer som påvirker havmiljøet. Kommunene, industri, landbruk og akvakultur er forurenserer som vil kunne oppleve at klimaendringene utløser mer forurensning fra deres kilder dersom de ikke setter i verk tiltak. Et eksempel er akvakultur: ved høy fisketetthet har høyere sjøtemperaturer negativ effekt på fôrutnyttelse og tilvekst. Når fiskens preferansetemperatur overstiges kan det føre til dårlig fôrutnyttelse eller stor andel fôrspill. Begge deler vil bidra til økt næringsstoffbelastningen i området, og potensielt bidra til overgjødning.

Økt hyppighet av ekstremvær kan øke risikoen for akutt forurensning fra landbasert industri, skipsfart og offshore-virksomhet. De klimaparametrene som er av betydning for vurdering av risikobildet ved akutte utslipp til sjø er hovedsakelig vind, bølger, sjøis, tåke og ising. Det er viktig å ha best mulig kunnskap om endringene i disse parametrene, blant annet gjennom forbedrede simuleringsmodeller og forbedret grunnlag for værvarsling. Risikoen kan øke ved at installasjoner og operasjoner ikke er dimensjonert for raske værenderinger, som for eksempel kan oppstå ved polare lavtrykk. Petroleumsvirksomheten har blant annet lasteoperasjoner i forbindelse med transport av petroleumsprodukter som ikke bør gjennomføres i ekstremvær, og dette kan medføre at olje må lagres til lasteoperasjoner kan gjennomføres. Oppankring av transportskip som inneholder bunkersolje i ekstremvær i påvente av slik lasting vil medføre økt risiko for akutt forurensning. I ekstremvær vil det ofte ikke være mulig å redusere konsekvensene av et oljeutslipp ved hjelp av oljevern, fordi de aktuelle beredskapstiltakene har begrensninger knyttet til sikt, strøm og bølgeforhold. Dette vil kunne medføre at olje som ikke har så lett for å bli dispergert i vannsøylen, transporteres til sårbare områder.

Klimaendringer kan medføre økt bruk og tilførsel av kjemikalier til det marine miljøet. Dette kan være i forbindelse med endringer i praksis i for eksempel landbruk (økt bruk av pesticider, omlegging av landbruk og endret praksis for jordbearbeiding, mv), innenfor skipsfart (antibegroingsmidler, nye seilingsruter), endrede forbruksvaner (for eksempel økt

bruk av impregneringsmidler) etc. Økt sjøtemperatur påvirker fiskens motstandsdyktighet mot sykdom, og kan dermed ha betydning for bruken av legemidler i akvakulturnæringen.

Økt fokus på klimatrusselen og energieffektivitet har videre resultert i utvikling og forskning rundt nye teknologier og produkter som potensielt kan medføre bruk av miljøfarlige kjemikalier. Eksempel er nye byggematerialer, økt bruk av trebeskyttelsesmidler og overflatebeskyttende stoffer. Et konkret eksempel er sparepærer som gir økt energiutnyttelse, men som samtidig gir økt bruk av miljøgiften kvikksølv, mv. Det er viktig at en i den sammenhengen har nok kunnskap om de totale miljøkonsekvensene av de tiltak som prøves ut slik at ikke nye miljøproblemer oppstår. EUs nye kjemikalieforordning (REACH) er et viktig verktøy som vil kunne gi oss bedre oversikt over kjemiske stoffers helse- og miljøskadelige egenskaper.

Konsekvenser for menneske og helse

Samspillet mellom klimaendringer og forurensning vil også kunne ha effekter for menneske og helse. I Nordsjøen og Skagerrak har vi kostholdsråd om hvor mye fisk og sjødyr vi trygt kan spise i flere fjord- og havneområder. De fleste kostholdsrestriksjonene skyldes tungt nedbrytbare miljøgifter som PCB og PAH i fiskelever og blåskjell. Slike stoffer gir sjelden akutt sykdom, men kan ha helseeffekter på sikt. Økt tilgjengelighet av "arkiverte" miljøgifter vil kunne medføre økt innhold i sjømat, og dermed økt omfang av tiltak i forma av kostholdsråd.

Andre stoffer, som blant annet brukes i industri og elektronikk, mistenkes for å kunne gi alvorlige helseskader som kreft, nerveskader, fosterskader og nedsatt fruktbarhet. Forskere og myndigheter jobber nå for bedre kunnskap om stoffenes utberedelse, og hvordan de enkeltvis og samlet påvirker dyr og mennesker over tid. Det er nødvendig med mer kunnskap om biotilgjengelighet og giftighet sett i lys av prognoser for klimaendringer.

Konsekvenser for miljøovervåking og forvaltning

I forurensningskapitlet har vi illustrert hvordan klimaendringer kan påvirke forurensningssituasjonen i Nordsjøen og Skagerrak. I datamaterialet fra miljøovervåkingen ser vi tendenser som tyder på at klimaendringene påvirker forurensningssituasjonen, og det er sannsynlig at dette problemet vil aktualiseres ytterligere i framtiden. Allerede i dag ser vi at økt temperatur og endringer i nedbørsforhold øker eutrofiproblemet og avrenningen av næringsalter og partikler fra land, og at endret klima kan påvirke tilførsler av miljøgifter med luft- og havstrømmer. Vi er også bekymret for hvordan dette virker inn på økosystemene.

For forvaltningen betyr dette blant annet at vi må tilpasse miljøovervåkingen slik at potensielle forurensningskonsekvenser av klimaendringene identifiseres og kvantifiseres. Det krever blant annet at vi i en del tilfeller må måle oftere eller på flere stasjoner og trappe opp den biologiske overvåkingen for å skaffe godt nok grunnlag for å oppdage kritiske endringer. Det er nødvendig hvis vi skal skaffe godt nok grunnlag for å sette inn tiltak og reguleringer som kan forebygge eller dempe konsekvensene. Vi har også behov for bedre kunnskap om effekten av tiltak som iverksettes for å minimalisere økt forurensning.

Noen kunnskapsbehov

- Det er fremdeles betydelig behov for forskning på årsaker og virkninger knyttet til sukkertareproblematikken. Det er behov for forskning på sammenhenger mellom økende sjøtemperaturer, høyere næringsaltilførsler og større partikkelbelastning (nedslamming),

oksygen og lys på bortfallet av sukkertare, og hvilke faktorer som må være til stede for reetablering.

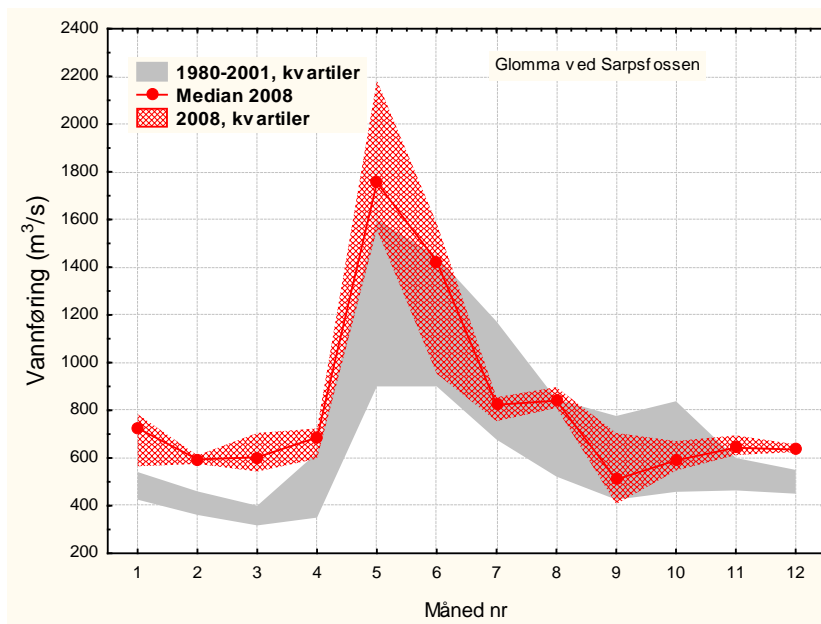
- Det er fremdeles store kunnskapsbehov knyttet til hvordan klimaforandringene påvirker dynamikken av gamle og nye miljøgifter i marint miljø og næringskjeder, og hvordan dette virker inn på økosystemene.
- Det er behov for å gjennomgå og tilpasse miljøovervåkingen slik at potensielle forurensningskonsekvenser av klimaendringene identifiseres og kvantifiseres, likeså effekten av tilpasninger og tiltak.
- Alvorlige skadevirkninger av havforsuring ventes dette århundret. Dette omfatter mange arter som er helt nødvendige i økosystemene, slik som viktige planktonarter, skjell, krepsdyr og koraller. Vi kan forvente samspillseffekter mellom klimaendringer, forurensning, havforsuring og andre miljøpåvirkninger. Mer kunnskap om dette er avgjørende for å få en bedre forståelse av de samlede belastningene.
- Vi trenger mer kunnskap om oppdretsnæringens påvirkning på det marine miljø, og den effekt klimaendringer kan ha på disse forhold
- Det er behov for mer kunnskap om endringene i klimaparametrene som er av betydning for vurdering av risikobildet ved akutte utslipp til sjø (hovedsakelig vind, bølger, sjøis, tåke og ising). Det er videre behov for forbedrede simuleringsmodeller og forbedret grunnlag for værvarsling.

3. Konsekvenser av klimaendringer på påvirkning fra land

Tilførsler fra land har stor innflytelse på kystvannet, spesielt sommerstid da lokale tilførsler langs norskekysten kan bety mer for vannkvaliteten enn de langtransporterte. De lokale tilførslene av bl.a. nitrogen og fosfor har nær sammenheng med vannføringen i elvene. Resultater fra det nasjonale elveovervåkingsprogrammet, RID, viser at dagens klimavariasjon medfører store forskjeller i elvenes stofftransport på tidsskalaer fra timer til år. Undersøkelser i Numedalslågen viste for eksempel at mer enn 90 % av årstilførselen av næringssalter og partikler fra elva ble eksportert i løpet av noen få, kortvarige flomepisoder. Spesielt partikkeltransport, fosfor og andre stoffer som er knyttet til partikler, samvarierer med variasjon i vannføringen.

Hva viser dagens overvåking?

Langsiktig overvåking er nøkkelen til å dokumentere og forstå endringer i økosystemene våre. Det nasjonale Elveovervåkingsprogrammet, RID, overvåker hvert år tilstand og forurensningstransport i de største elvene langs norskekysten. Tilførsler fra de store norske elvene som Glomma, Drammenselva og Numedalslågen starter vanligvis med vårfloppen i mai og strekker seg ut i juni for Glommas del (Figur 3.1). I de kontinentale elvene (som for eksempel Elbe) er vannføringen derimot størst i desember til mai og kulminerer i april før vår lokale vårflopp starter. Avrenningen fra Danmark til Kattegat er til sammenlikning lav.



Figur 3.1. Månedsvannføring i Glomma i 2008 sammenlignet med gjennomsnittlig vannføring fra 1980-2001 (data fra NVE og Glommens og Laagens Brukseierforening, GLB).

1995-flommen på Østlandet var en spesiell hendelse hvor Glommavann kunne spores langt nedover Sørlandskysten. Høstflommen i år 2000 på både Østlandet og Sørlandet kan også karakteriseres som en spesiell hendelse med sannsynlige følger på kystmiljøet grunnet sin unormalt lange varighet (60 dager). Av andre hendelser kan nevnes den kraftige sommerflommen på Sør og Østlandet i juli 2007 (Figur 3.2).



Figur 3.2. Flom i Numedalslågen, juli 2007 (foto: NRK)

Foruten endring i vannføring er endring i stoffkonsentrasjoner viktig for endring i belastning på kystmiljøet. Analyse av karbonkonsentrasjonen (TOC) i ellevannet viser store år til år variasjoner, men det har likevel vært en signifikant økning i innsjøer og bekker på Sør- og Østlandet siden 1990 (data fra nasjonal overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør). Flommen i 2000 førte til en nesten doubling av normal TOC-transport i vassdragene samt en sterk økning i tilførslene av nitrogen, fosfor og slam.

Fosfor- og til dels nitrogentransporten i elvene er ofte sterkt korrelert med vannføringen. Overvåkningsprogrammet for landbruksbekker (JOVA) viser økt avrenning av både fosfor og partikler fra landbruksbekker på Sørlandet i perioder med høy vannføring i 1999-2002 sammenliknet med tilsvarende høy vannføring i 1994-1995. Høy transport av partikler er også notert i de norske store vassdragene i perioden 1999-2001. Denne endringen kan ha bidratt til økte lokale tilførsler av næringsstoffer og partikler til kystmiljøet.

Påvirkningen fra land forventes å øke med et endret klima

I tillegg til endringer i primære parametere som temperatur og nedbør, vil de predikerte klimaendringene ha en rekke sekundær-effekter som vil kunne påvirke hydrologi samt mobilisering og transport av ulike elementer med vassdragene. Eksempel på slike sekundær-effekter er endret snøakkumulering, frekvens av fryse-/tineperioder, fordamping, jord-/vanntemperatur m.m. Effekter i vassdrag og fjorder kan være:

- økt/endret ferskvannstilførsel
- økt eksport av næringssalter og partikler på grunn av erosjon
- økt eksport av næringssalter og organisk stoff på grunn av økt nedbrytning i jord
- økt eksport av næringssalter, organisk stoff, mm. ved overbelastning av avløpssystemer
- endret mengdeforhold mellom primære næringsstoffer (C:N:P:Si)

En modellstudie utført i Bjerkreimselva i Rogaland viste at fremtidige klimaendringer vil kunne bety opptil 90 % redusert snøakkumulering i høyereliggende områder, store endringer i flommønsteret (forskyving fra vårflokk til hyppige vinterflommer) og opptil 40-50% økning i årstransporten av nitrat ved utløpet til sjøen. Arbeidet ble gjennomført ved å samkjøre fire hydrofysiske og hydrokjemiske effektmodeller; først med dagens klima og deretter med nedskalerte klimascenarier fra to globale klimamodeller (ECHAM4 og HadCm3), kjørt med hvert sitt utslipsscenario (IS92a og A2).

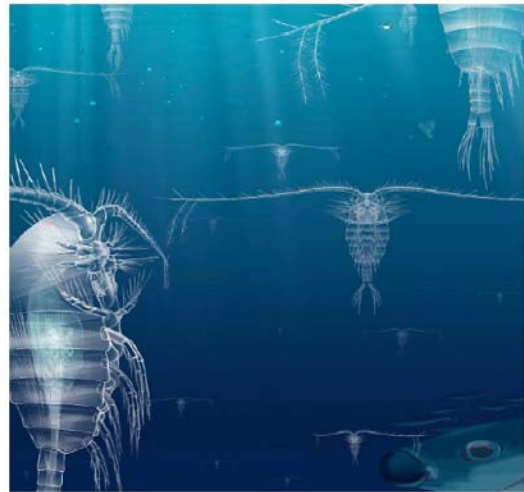
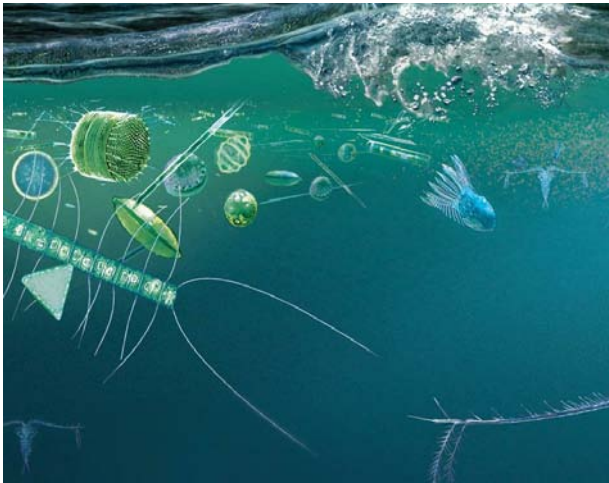
Nasjonale overvåkingsprogrammer viser at det allerede ved dagens klimavariasjon kan være perioder betydelig elvetransport og økt belastning på marine økosystemer. Basert på scenarier for framtidig klimautvikling kan det ventes både en generell økning i elvenes vannføring og stofftransport, men også økt frekvens av ekstreme avrenningsepisoder. Dette betyr at dagens miljøltiltak knyttet til landbaserte forurensningskilder kan vise seg å være utilstrekkelige i et endret klimaregime i framtiden.

Noen forskningsbehov

Det er fremdeles betydelig behov for forskning på:

- Effekter av ekstreme avrenningsepisoder på eutrofisituasjonen i fjorder og kystvann: Hvor stor belastning utgjør kortvarige, men intense episoder i forhold til mer langsomme (f.eks. år til år) endringer i tilførsler av næringsstoffer, partikler og organisk stoff? Aktuelle verktøy: Automatiske sensorer, fjernmåling, i kombinasjon med dynamiske simuleringsmodeller.
- Prosess-studier/målinger av opptak, transformasjoner og sedimentasjon av næringsstoffer, organisk stoff og partikler (+ metall spesiering) i overgangssoner mellom ferskvann og saltvann.
- Hvordan sesongvariasjon i tilført mengde og støkiometrisk sammensetning av elvetransportert karbon, nitrogen, fosfor og silisium kan påvirke kvantitet og kvalitet av marint plankton (ved dagens klima, samt ved ulike klima-scenarier).

4. Effekter av klimaendringer på plankton



Klima kan påvirke marine plankton på en rekke måter. Lokalt vær påvirker klima-plankton koblingen gjennom å avgjøre når og i hvilken grad den sesongmessige lagdelingen av vannmassene oppstår. Sammen med dette kommer variasjon i lys, overflatetemperatur og resirkulering av næringssalter fra dypere lag, som påvirker vekst hos planteplankton og dermed nedenfra-opp effekter på økosystemet. Foruten den indirekte effekten via planteplankton, kan i tillegg klima-induserte endringer i det fysiske miljøet, for eksempel temperatur, saltholdighet og adveksjon, direkte påvirke zooplankton via fysiologi. Klima påvirker (i) mengde og biomasse av plante- og dyreplankton, samt (ii) deres fordeling i rom (distribusjon) og (iii) tid (fenologi)

Marine plankton er spesielt gode indikatorer på klimaendringer på grunn av følgende: 1) ingen fangsteffekter som kan (reelt eller tilsynelatende i modeller) påvirke effekten av klima; 2) planktonartene har kort levetid og reagerer dermed raskt på endringer i havets fysiske forhold; 3) ikke-lineære responser i planktonsamfunn kan forsterke subtile miljømessige endringer. Fordelene undergraves til en viss grad av generelt lav tilgjengelighet av langsiktige tidserier for marine plante- og dyreplankton.

Planteplankton

Sammen med økt biomasse, er økte andeler av dinoflagellater og reduserte andeler av diatomeer rapportert for det meste av Nordatlanten gjennom de siste tiårene. Dette skiftet i dominans menere en ble forårsaket hovedsakelig av at redusert lagdeling og lav næringstilgang har favorisert dinoflagellatene. Denne utviklingen, med bakgrunn i klimaendringer, er mest uttalt i den nordlige Nordsjøen og tilstøtende sørlige Nordatlantiske områder.

I løpet av de siste tiårene har endringer i planteplanktonsamfunnet i havområdene utenfor Europa skapt en situasjon med høyere frekvens av unormale planteplanktonblomstringer, ofte assosiert med uønskede konsekvenser på mennesker og de omkringliggende økosystem (dvs. skadelige algeoppblomstringer). Dette har spesielt vært tilfelle siden den store hydroklimatiske endringen (regimeskiftet) på midten av 1980-tallet, selv om økningen i hovedsak er begrenset til bestemte områder påvirket av lavere saltholdighet, slik som Norskerenna, og mye høyere temperaturer, som for eksempel Tyskebukta, og i mindre grad Nordsjøen generelt.

Den modellerte gjennomsnittlige årsproduksjonen av planteplankton for Nordsjøen i 2008 var 115 gram karbon/m²/år. Det er den høyeste verdien som er estimert for perioden 1985–2008. I de sentrale delene av Nordsjøen og langs kysten av Vestlandet var produksjonen under normalen.

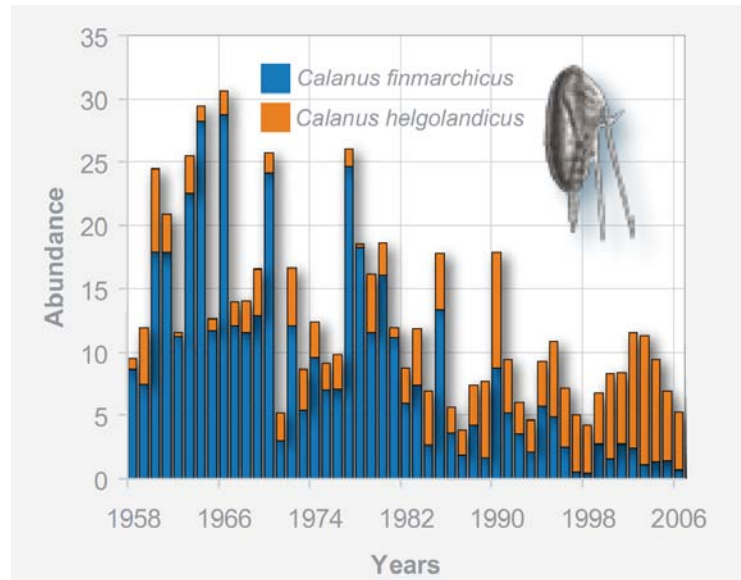
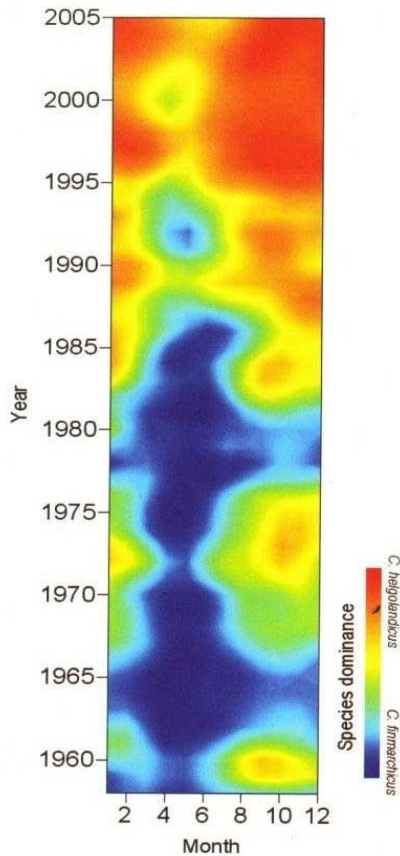
Dyreplankton

Den mest omfattende kilden til dyreplanktondata i Nordsjøen (og hele Nord-Atlanteren) er de såkalte Continuous Plankton Recorder (CPR) målingene. Dette er relativt enkelt måleutstyr som festes til ulike ferger, transportskip mm. Langtidsvariasjoner i mengde og sammensetting av dyreplankton i Nordsjøen er knyttet til regionale endringer i klima (vind, temperatur) og endringer i innstrømning av atlantisk vann. I tillegg vil endringer i geografisk utbredelsesmønster i Nord-Atlanteren påvirke artssammensetning av dyreplankton i innstrømmende atlantiske vannmasser. Dette er igjen relatert til klimatiske forhold over Atlanterhavet. Klimaendringene med økt vanntemperatur og mulighet for endringer i vannsirkulasjonen synes allerede å ha gjort seg gjeldende i Nordsjøen ved at marine arter forskyves fra sine vanlige områder. En rekke sydlige arter vandrer inn, mens mange av de tidligere Nordsjøartene flytter seg nordover. Varmtvannsarter har utvidet sitt habitat nordover med mer enn 10° bredde (1000 km), mens antall kaldtvannsarter reduseres. Disse biogeografiske endringene er knyttet til storskala temperaturendringer på den nordlige halvkule og NAO. Det er for eksempel registrert at mengden raudåte i Nordsjøen, *Calanus finmarchicus*, er gått ned, mens artsfrenden *C helgolandicus*, som er en mer varmekjær art, er blitt mer tallrik (Fig. 4.1). Denne endringen er antatt å ha betydning for rekrutteringen til fiskebestandene fordi *C helgolandicus* hverken representerer rett type startfôr for fiskelarver eller forekommer til rett tid. Det er også verdt å merke seg at totalmengden av calanus i Nordsjøen har minsket vesentlig, noe som også kan ha stor påvirkning på høyere nivåer i næringsnett.

Tidsmessige (fenologiske) endringer i plante- og dyreplankton

Marin trofodynamikk er sterkt avhengig av romlig overlapp og graden av sammentreff av viktige hendelser som våroppblomstringen. Nyere studier gir bevis for at økt temperatur kan endre tidspunkt for våroppblomstringen, men med varierende grad og retning i respons. Data fra CPR undersøkelser viser at diatomeoppblomstringen i Nordsjøen generelt er relativt fast i tid. Likevel, noen planktonarter sees nå opptil fire til seks uker tidligere enn for 20 år siden. Siden responsene på klimaoppvarmingen har variert mellom ulike funksjonelle grupper og trofiske nivåer, har en fått en tidsmessig mangel på overlapp ("mismatch") i byttedyr-predator forholdet. I tillegg til denne mangelen på sammenfall i tid, kan temperatur-forårsakete endringer i romlige fordelinger forårsake forstyrrelser i samspillet mellom artene.

Fremtidig oppvarming vil sannsynligvis ytterligere endre fenologi og geografisk fordeling av plante- og dyreplankton, noe som vil påvirke økosystemtjenester som oksygenproduksjon, karbonsekvestering og biogeokjemiske sykler. Disse endringene kan øke stresset ytterligere på allerede hardt belastede fiskebestander samt få konsekvenser for pattedyr- og sjøfuglbestander.



Figur 4.1. Tidsmessig utvikling i forholdstallet mellom en varmekjær, sørlig hoppekrepsart (*Calanus helgolandicus*) og en mer kuldekjær, nordlig art (*Calanus finmarchicus*) årlig fra 1958-2005/2006. I venstre panel sees også sesongverdier, mens i høyre panel sees tydeligere år-til-år utviklingen og en generell nedgang i calanus totalt.

5. Effekter av klimaendringer på bunndyr og –planter

Diversiteten av bunnlevende dyr i Nordsjøen er lavere i sør sammenlignet med de nordlige områdene. Det er klare skiller i artssammensetting på 50, 100 og 200m dyp. I den sørlige delen av Nordsjøen er bunndyrene dominert av frittlevende organismer, mens fastsittende organismer dominerer i nord. Det er ikke etablert noe fast overvåkingsprogram for å detektere endringer i bunndyrssamfunnene i selve Nordsjøen, men det er et norsk statlig program for overvåking av bunndyrsamfunn, både på hard- og bløtbunn, som har hatt årlige undersøkelser av den norske Skagerrakkysten i 20 år. Det er ikke gjort registreringer av koraller på bankområdene i Nordsjøen. I vestskråningen av Norskerenna ved Tampen er det en kjent forekomst av koraller, men en vet ikke hvor stor den er. Det er ett stort (Tislerrevet) og flere små korallrev utenfor Hvaler øst i Skagerrak. Det er også et mindre rev i Kosterhavet. Der er dessuten tett kobling mellom vannmassene i Nordsjøen og revstrukturene langs Norskekysten. Det er ikke kjente større konsentrasjoner av stor svamp i den norske delen av Nordsjøen.

Klimatiske prosesser påvirker utbredelsen og artssammensetningen av dyre- og plantelivet på havbunnen. Klimaendringer forventes således å få en klar effekt. Det bentiske (bunn) systemet påvirkes først og fremst av forandringer i temperatur og hydrodynamiske forhold (for eksempel sterkere og hyppigere stormer). Klimaendringene kan også ha mer indirekte effekter på det bentiske systemet; for eksempel kan økt temperatur føre til høyere primærproduksjon. Det kan påvirke bunndyrene på samme måte som ved overgjødning. Om rekkefølgen og tidspunktet i oppblomstringen av planteplankton endres, kan det bli et misforhold mellom livssyklusen til bunndyrene og ressursgrunnlaget. I neste omgang kan det få konsekvenser for reproduksjonen av bunndyr. I tillegg er det sannsynlig med en endring i artssammensetningen ved at mer sørlige arter vil få en mer dominerende rolle om oppvarmingen fortsetter. En kan også få en spredning av bentiske arter fra kystnære til mer åpne områder. Det har vært vist at organismer som ikke er i stand til å flytte på seg i nevneverdig grad som oftest har vært i stand til å tolerere moderate endringer over en tidsskala som gir mulighet for tilpasning. På den annen side så er de svært følsomme for plutselige og ekstreme hendelser. Etter slike episoder kan rekoloniseringen av benthos ta flere tiår, eller til og med hundrevis av år, særlig for arter med mindre suksessrik seksuell reproduksjon.

Klimatiske prosesser påvirker tallrikhet og artssammensetning i bunnsamfunn, noe som direkte påvirker mattilgangen for fisk som beiter på bunnen (Figur 5.1). Endringer i bunnsamfunn som følge av klimaendringer kan videre påvirke rater og tid for næringssaltsykluser, larveproduksjon og assimilering av organisk avfall.

Til dags dato har endringer i sammensetningen av bunnsamfunn blitt observert, men ingen store endringer i totalproduksjon. Dette forventes å være tilfellet også framover på kort og mellomlang tidsskala. Det antas at den store nedgangen i sukkertareforekomster som er observert på Skagerrakkysten, og til dels på Vestlandet, i stor grad skyldes forhold knyttet til klimaendringer.



Figur 5.1. Venstre: Et stort antall fisk lever i tareskogen hele eller deler av livet (foto Stein Fredriksen, Universitetet i Oslo. Høyre: Sjøpølse (foto MAREANO).

Noen forskningsbehov

Det som skjer i Nordsjøen vil kunne gi en "tidlig advarsel" om hvilke klimarelaterte endringer i bunndyrsamfunn vi kan forvente i nordligere hav som Norskehavet og Barentshavet. Fremtidige studier av klimarelaterte bentiske prosesser i Nordsjøen bør undersøke:

- hvordan hyppigere og kraftigere stormer påvirker bunndyr
- bentosrelaterte forandringer i produksjon, biomasse og dynamikken i næringsnett
- hvilke endringer som skjer i bunndyrsamfunnet med hovedfokus på habitatbyggende arter som koraller
- hvilke endringer som skjer i næringstilførselen ved forandring i strømmer, fronter og primærproduksjon
- totaleffekten av menneskeskapt forstyrrelse og klimaendringer
- hvordan endring i klima påvirker bunndyr og –planters struktur og funksjon i offshore- og kystøkosystemer?

Temaene skal undersøkes ved at det etableres flere studieområder i Nordsjøen for prøvetaking av bunndyr og alle typer miljøparametre. Dataene vil bli brukt til å forbedre de eksisterende klimarelaterte modellene. Studieområdene plasseres i etablerte overvåkingsområder siden bakgrunnsmateriale fra tidligere år er helt avgjørende i klimastudier. Den sørlige delen av Nordsjøen er relativt godt undersøkt, mens det er gjennomført forholdsvis få studier i den nordlige og nordøstlige delen. Det er viktig å være i forkant av de ukjente klimaeffektene som kan komme til å ramme bunndyr. Havforskningsinstituttet og Norsk Institutt for Vannforskning utfører årlige studier i den nordlige delen av Nordsjøen og har anledning til å delta i internasjonalt forskningsarbeid på bunndyr.

6. Effekter av klimaendringer på fiske- og skalldyrbestander



Nordsjøen er oppvekstområde for flere kommersielt viktige fiske- og skalldyrarter inkludert sild, torsk, sei, hyse, hvitting, tobis, øyepål, brisling, dypvannsreke og sjøkrep. Næringsforhold, predasjon og transport i den planktoniske fasen hos fisk har avgjørende betydning for styrken av årsklassene. I grunne havområder som Nordsjøen er ofte de pelagiske og bentiske prosessene nær koblet, noe som bidrar til høy produktivitet og biologisk avkastning i regionen.

Fordeling og utbredelse

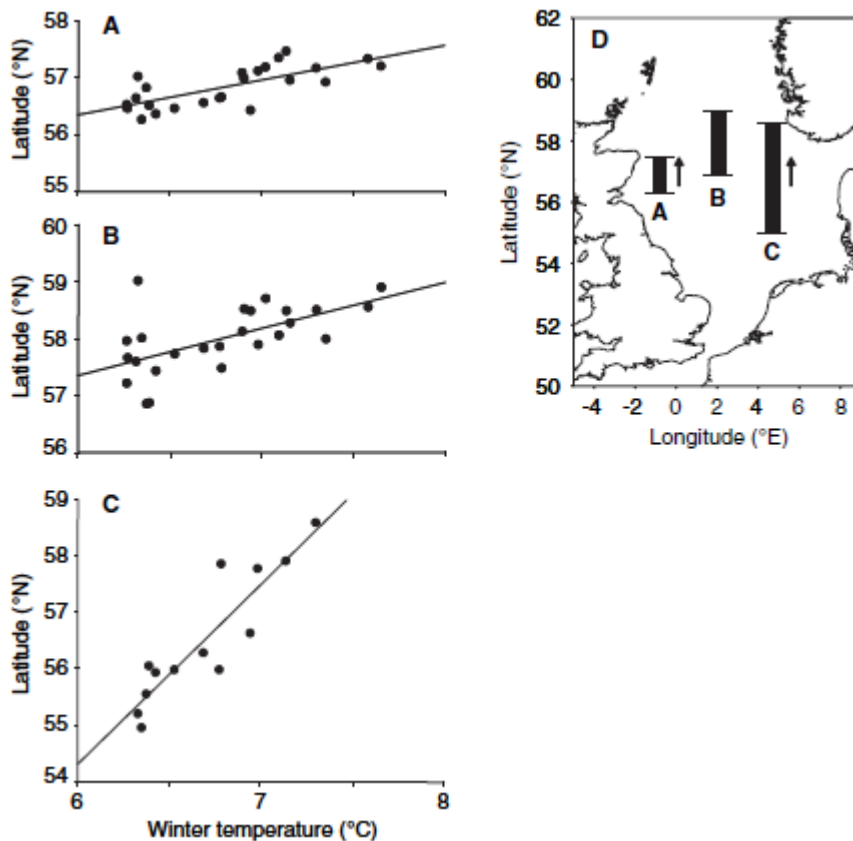
Forskjellige faktorer påvirker den generelle distribuering og valg av leveområder for fisk og skalldyr, med vanntemperatur, saltholdighet, dybde og sedimentært miljø som noen av de viktigste drivkreftene bak storskala geografisk fordeling. Gitt at klimatiske svingninger påvirker kystnære og grunne sokkelhavområder som Nordsjøen mer enn dyphavet (som vanligvis har mer stabile miljøforhold), kan arter som forekommer her være mer påvirkelige av miljømessige svingninger og endringer. Endringer i oseanografisk sirkulasjon kan i tillegg til å påvirke planktoniske tidlige livshistoriestadier, ha innflytelse på distribusjon og bevegelser av pelagisk fisk. Utbredelsen av bunnfisk kan på sin side være henge sterkt sammen med det sedimentære miljø, samt dybdeforhold, temperatur og saltinnhold.

Temperatur er en av de viktigste påvirkningsfaktorer for storskala fordelingsmønstre for fisk og skalldyr. Fordi de fleste fiske- og skalldyrarter eller -bestander har en tendens til å foretrekke et bestemt temperaturintervall, vil en utvidelse eller sammentrekning av distribusjonen ofte falle sammen med langsiktige endringer i temperatur. Disse endringene er mest åpenbare nær den nordlige eller sørlige grensen av artens spekter; teoretisk vil oppvarming resultere i en forskyvning av fordelingen nordover, mens ved nedkjøling trekker både varmt- og kaldtvannarter sørover.

En viktig komplikasjon i vurderingen av virkningen av klimaendringer på fiskepopulasjoner er at en må være i stand til å skille denne effekten fra effekter fra andre påvirkningsfaktorer, som fiske. Fiskedødeligheten har vært høyere i den sørlige Nordsjøen enn i nord, så observerte endringer i fordelingen behøver ikke å skyldes forflytning, men kan være en konsekvens av lokale forskjeller i fisketrykk og ulike reduksjonsrater i romlig separerte subpopulasjoner. Det er også en absolutt og relativ økning i antall av små fiskearter og små

størrelsesgrupper innenfor arter. Effekten av fiske kan dermed spille sammen med effekten av klima og dermed forsterke den tilsynelatende forskyvningen nordover.

En studie av habitatsutvidelse og endringer i geografisk fordeling av 36 bunnfiskarter i Nordsjøen fant av 15 av disse hadde en markert endring i fordeling, tyngdepunktet i fordelingen hadde forflyttet seg fra 48-403 km i perioden 1977-2001 og dette ble knyttet til en økning i havtemperaturen (Figur 6.1). En annen undersøkelse av bunnfisksamfunnet i Nordsjøen fant at vertikalfordelingen også har endret seg, dypet har økt med i middel 3,6 m per tiår.



Figur 6.1. Eksempler på fiskebestander i Nordsjøen som har fått tyngdepunktet i fordelingen forflyttet nordover samtidig med en oppvarming av havet. Sammenhengen mellom midlere breddegrad i fordelingen og 5 års glidende midler av bunntemperaturen om vinteren vises for A) torsk, B) breiflabb og C) lumpenus lumpretaeformis. I (D) vises endringer i tyngdepunkt i fordeling i nord-sør retning for de samme tre artene. Pilene viser retningen på endringer som er statistisk signifikante over tid. Fra Perry m. fl. (2005).

Blant de mest markerte enkeltartene som har forflyttet seg nordover er sardiner og ansjos som de siste årene har blitt observert helt opp til vestkysten av Norge, mens de nærmest var totalt fraværende fra Nordsjøen til midten av 1990-tallet. En annen art som har gjort seg bemerket er stor havnål (*Entelurus aequoreus*). Det har blitt pekt på at innvandringen av denne arten kan være skadebringende for sjøfugl, men samtidig har de blitt funnet i magen til kommersielt viktige fiskeslag.

Ved et varmere hav forventer en at Nordsjøtorsken forflytter seg til kjøligere områder. Torsk kan forflytte seg over store avstander, teoretisk til hvor som helst i Nordsjøen. Likevel, et

nyere studium som målte omgivelsestemperaturen til torsk vha. elektroniske merker fant ut at flertallet av de merkede individene i det sørlige Nordsjøen stod i vann som var så varmt at det burde være suboptimalt for vekst. Noen individer forflyttet seg til relativt nærliggende kaldere områder, men flertallet forble i det varme vannet. Dette er en indikasjon på at endringene i temperaturforholdene i Nordsjøen enda ikke er så store at de får voksen torsk til aktivt å forflytte seg til kjøligere områder.

Dypvannsreken er en kaldtvannsart og finnes vanligvis i vann med temperatur på mellom 1 og 6 °C. I Nordsjøen har arten sin sørligste utbredelse i det nordøstlige Atlanterhavet. Bestanden er i god forfatning og ser ut til å klare seg bra ved såpass høye temperaturer som 7-8 °C. Ved et enda varmere hav, er det imidlertid grunn til å tro at artens utbredelsesområde vil forskyves nordover.

Rekruttering

For torsk i Nordatlanteren er det tilsynelatende et etablert mønster der rekrutteringen til de nordligste bestandene i kaldt vann systematisk er bedre i varme år/perioder, mens det motsatte er tilfellet for sørligere bestander som Nordsjøtorsken. Allerede ved dagens forhøyede temperaturnivå er rekrutteringen i sør sviktende, men dette må også sees i sammenheng med størrelsen og strukturen i gytebestanden.

Den dårlige rekrutteringen til Nordsjøensild som en har sett siden 2002, blir vurdert som et resultat av endringer i miljøforhold tilknyttet oppvarming. Rekrutteringsstyrke i Nordsjøensild antas å bli bestemt like før larvene metamorfoserer. Tidsserieanalyser tyder på at endringer i hydrografi, dyreplanktonsamfunnet og kanskje transport av larver skjedde samtidig som endringen i rekrutteringen. Prosessene involvert er foreløpig bare delvis identifisert.

Artsmangfold

En forventer at klimaendringer kan føre til lokale og regionale endringer i arts mangfold gjennom utryddelser og nord-sør endringer i utbredelse. Det er påvist at utbredelsesområdet til fisk i Nordsjøen generelt er økende og at dette har sammenheng med høyere vanntemperaturer. Mer enn åtte ganger så mange arter (hovedsakelig små, sørlige arter) økte sitt utbredelsesområde i løpet av studieperioden på 22 år i forhold til artene som fikk mindre utbredelse (hovedsakelig store, nordlige arter). Denne økningen i arts mangfold kan forklares ved at mangfoldet for fisk generelt avtar med økende breddegrad. Dette bekrefter et generelt forventet fenomen, at samspill mellom storskala biogeografiske mønstre og klimaendringer kan føre til økt arts mangfold i den tempererte sonen der Nordsjøen ligger.

Noen forskningsbehov

- For enkelte fiskearter er det etablert kunnskap om hvordan klimaendringer, særlig endringer i havtemperatur påvirker dem. Dette er unntaket, og kunnskapen er ellers rent kvalitativ og vanskelig å bruke i for eksempel fiskeriforvaltning. Med de forventede endringene i klimaet er det viktig å øke kunnskapsnivået på dette feltet generelt og på en rekke mer spesifikke områder.
- Eksperimentelle studier som knytter vekst og reproduksjonsresultater for fisk og skalldyr til temperatur og andre miljøvariable bør utføres.
- Informasjon om hvordan endringer i atferden til kommersielle fiskearter kan ha innflytelse på "fangbarhet"/"catchability" bør innhentes fra fiskeflåten.
- Bedre forståelse av hvordan klimaendringer påvirker samspillet mellom fiskearter og mellom fisk og zooplankton.

7. Effekter av klimaendringer på sjøfugl

I forhold til de fleste andre grupper av fugl har sjøfugl typisk mer ekstreme livshistorietrekk. De lever lenge (20 – 60 år), når reprodutiv alder seint (noen arter begynner ikke å hekke før de er 10 år), har små kullstørrelser (mange legger kun 1 egg) og perioden de tar seg av ungene er ofte lang (opp til 6 måneder). Dette er en god tilpasning til et meget omskiftelig miljø der næringstilgangen kan variere sterkt fra år til år. Voksen overlevelse og fremtidig reproduksjon er således viktigere enn den enkelte hekkesesong.

Klima påvirker sjøfugler hovedsakelig gjennom to typer prosesser: direkte gjennom fysiologiske effekter eller indirekte gjennom påvirkning av tilgjengelighet av byttedyr. Direkte fysiologiske effekter kan være endring av metabolske prosesser under reproduksjon og myting. Værforhold kan også påvirke foringsrate eller konkurranse om matressursene enten gjennom energibruk eller mattilgjengelighet. For eksempel bruker havhest (*Fulmarus glacialis*) mer energi når det er lite vind. Selv om de fleste sjøfugl befinner seg høyt opp i næringskjeden, har de som regel en rekke ulike type byttedyr på menyen og kan beite på flere trofiske nivå. Selv om temperaturen er akseptabel både for sjøfuglen og dens byttedyr, kan den fortsatt være ufordelaktig for byttedyrets primære matkilde. Alle disse forholdene er med på å forklare hvorfor effektene av eventuelle klimaendringer ofte er komplekse og vanskelige å avdekke i detalj.

I en studie fant man en negativ korrelasjon mellom voksenoverlevelse hos lomvi (*Uria aalge*) på Hornøya og sjøtemperatur. Det er spekulert i at fjærfellingsperioden om høsten når alkefuglene ikke kan fly, kan representere en flaskehals fordi de vanskeligere kan unnsnippe ugunstige værforhold eller næringsmangel. Kanskje er dette en større begrensning for overlevelsen enn uværsperioder om vinteren. Hekketida utgjør også en utfordring siden fuglene må holde seg i nærheten av kolonien og områdene de kan søke mat i er sterkt begrenset. I sin rapport fra 2009 presenterer ICES Working Group on Seabird Ecology en oversikt over koblinger mellom klimaendringer og sjøfugl. Studier i sjøfuglkolonier i Nordsjøen (for eksempel Isle of May og Orkenøyene) har avdekket at både hekkesuksess og overlevelse hos krykkje (*Rissa tridactyla*) er negativt korrelert med sjøtemperatur. For havhest (*Fulmarus glacialis*) fant man en negativ korrelasjon mellom overlevelse og NAO vinterindeksen, mens overlevelsen for toppskarv (*Phalacrocorax aristotelis*) var negativt korrelert med pålandsvind/nedbør. Man skal imidlertid være klar over at de samme klimavariablene kan påvirke overlevelse forskjellige i forskjellige havområder, og at det sjelden er snakk om direkte effekter. For eksempel var det en negativ korrelasjon mellom overlevelse og sjøtemperatur hos lunde (*Fratercula arctica*) i Nordsjøen mens det motsatte var tilfellet på Røst i Norskehavet. Dette skyldes trolig at lunde i stor grad benytter seg av havsil (*Ammodytes marinus*) som føde i Nordsjøen, mens den har sild (*Clupea harengus*) som hovedføde i områdene utenfor Røst. Disse byttedyrene responderer forskjellig på endring i sjøtemperatur. I Norskehavet er det blant annet påvist en positiv korrelasjon mellom sjøtemperatur og årsklassestyrke for norsk vårgytende sild. Hos havsil i Nordsjøen derimot, er det funnet en klar negativ korrelasjon mellom rekruttering og sjøtemperatur.

Utenom hekketida (og for noen arter fjærfellingsperioden) har sjøfuglene stor mobilitet og er således mer tilpassningsdyktige i forhold til endringer i næringsgrunnlaget. Hekkende sjøfugl derimot er mer avhengig av at avstanden mellom reirplassen og beiteområdene ikke er for stor. Det er begrenset tilgang på egnete hekkeplasser for mange arter, slik at de i hekkeperioden er mer sårbare for svikt i næringsgrunnlaget (enten ved at bestandene til

byttedyrene faktisk går ned, eller at de forflytter seg til andre områder og dermed ikke er tilgjengelige) i umiddelbar nærhet til kolonien.

Det vil alltid være en fordel å tilpasse seg de lokale ressurs- og miljøforholdene, men de spesialiseringene dette medfører vil samtidig gjøre det vanskeligere å tilpasse seg når store, hurtige endringer i vanntemperatur plutselig endrer tilgangen på byttedyr. I et sirkumpolart studium ble det nylig vist at kolonistørrelsen til både lomvi og polarlomvi (*Uria lomvia*) ble påvirket negativt av store forandringer i overflatetemperaturen (SST). Av mindre betydning var om det ble kaldere eller varmere, men polarlomvi økte i antall raskere når SST ble litt varmere og motsatt økte lomvi i antall raskere med moderat avkjøling.

Som følge av en livshistoriestrategi med lang levealder og små kull, må sjøfuglene hele tiden avveie hekkeinnsatsen i forhold til egen overlevelse. Det er derfor ikke uvanlig at de reduserer omsorgen for ungen(e) i år med dårlig næringstilgang. Hekkesuksessen er avhengig av at hekkeinnsatsen og den viktigste tilgangen på mat er sammenfallende i tid. Et godt eksempel på dette er den sterke sammenhengen mellom hekkesuksess hos lunde (*Fratercula arctica*) på Røst og tilgjengelighet av førsteårs (0-gruppe) sild i områdene rundt kolonien i ungeperioden. Sildeyngelen som driver nordover med kyststrømmen er avgjørende for lundenes suksess, men deres antall, størrelse og ankomst står og faller med tilgangen av dyreplankton som igjen er avhengig av god oppblomstring av planteplankton om våren. Ved en forskyvning i tid og rom mellom disse leddene i næringskjeden vil sildeyngelens vekst og overlevelse bli dårlig og sild av god kvalitet vil bli mindre tilgjengelige for lundene i hekketiden. Siden få andre byttedyr forekommer i tilstrekkelig mengde til å underholde den store bestanden på Røst, er hekkesvikten som regel total når tilgangen på sild kommer under et visst nivå.

Dette er bare noen eksempler på hvilken type effekter variasjoner i klimatiske forhold kan ha på sjøfugler. Mekanismene er som regel komplekse, og det er ennå ikke mulig å gi noen tilfredsstillende prognoser for hvor omfattende konsekvenser klimaendringer vil føre til for sjøfugl i norske deler av Nordsjøen. Konsekvensene vil uansett variere mellom arter og områder, bl.a. som en følge av store ulikheter i diett og næringstilgang og evne til å tilpasse seg nye vilkår. Det er likevel grunn til å forvente at relativt kortsiktige endringer kan være vel så betydelige som de mer langsiktige trendene i klima, særlig hvis større variasjon i klima mellom år og fra tiår til tiår er et ledd i denne utviklingen.

8. Effekter av klimaendringer på sjøpattedyr

Nordsjøen ligger i en klimasone med vesentlige temperaturforskjeller mellom sommer og vinter og også variasjoner fra år til år. Sjøpattedyr med fast tilhold i Nordsjøen er trolig akklimatisert til å tåle de temperaturendringene som er sannsynlige innenfor rammene av dagens klimamodeller. Disse stedbundne artene kan imidlertid bli sterkt påvirket av indirekte virkninger av klimadrevne endringer i det marine økosystemet. Flere av de stedbundne sjøpattedyrene i Nordsjøen har gjennomgått storskala endringer i tallrikhet og utbredelse i løpet av siste hundreårsperiode. Med unntak av de dramatiske reduksjonene i antall sel som følge av utbruddene av phocine distemper virus (PDV) i 1988 og 2002, er det vanskelig å dokumentere klare årsakssammenhenger bak disse endringene. Det er likevel grunn til å tro at de skyldes et samspill av forandringer i beskatning, næringstilgang og andre miljøforhold. Klimaet virker inn på dette samspillet, men det vil være vanskelig å trekke ut effekter av klima fra effekter av andre miljøfaktorer. Nedenfor drøftes noen av de storskala endringene som allerede er observert hos pattedyr som tilbringer hele året i Nordsjøen. Deretter drøftes kort arter som temporært benytter Nordsjøen, primært som beiteområde, og arter som i dag er tallrike like utenfor Nordsjøområdet. Til slutt er det formulert noen hypoteser med tilhørende kunnskapshull for mulige endringer som kan oppstå som følge av klimaeffekter for hver art, eller artsgruppe.

Havert

De største forekomstene av havert, *Halichoerus grypus*, er ved De britiske øyer hvor det er mellom 120,000 og 245,000 dyr. I tillegg er det om lag 1600 havert fordelt på mindre kolonier fra Danmark til Frankrike. Haverten har sin sydlige utbredelsesgrense ved kysten av Bretagne. Langs nordsjøkysten av Norge er det bare en koloni på om lag 200 dyr i Rogaland. Generelt er bestandene av havert i Nordsjøen økende. Dette er best dokumentert i Storbritannia. Her har ungeproduksjonen øket fra vel 7000 på midten av 1960-tallet til ca 40,000 i 2003. Om lag 1/3 av dette er på vestkysten av Skottland og altså utenfor Nordsjøen, men det øvrige er ved Orknøyene og langs nordsjøkysten av Skottland og England (Duck 2009). Økningen har fortsatt også etter 2003, men særlig for nordsjøbestandene er årlig tilvekst nå mindre enn tidligere, noe som kan tyde på at bestandene nærmer seg områdets bæreevne (K) for havert. En mulig årsak til denne økningen som trolig begynte tidlig på 1960-tallet kan være at bestandene av havert tidligere var mer kontrollert av beskatning. En tilsvarende økning har imidlertid også funnet sted ved Nova Scotia i Canada. Heller ikke i Canada kan en helt utelukke at jakt eller menneskelig forstyrrelse hadde en større bestandsregulerende effekt før slutten av 1960-tallet, enn senere. Et annet fellestrekk for Nordsjøen og bankene utenfor østkysten av Canada er utviklingen av fiske med trål, med påfølgende overfiske og praktisk talt utradering av bestanden av stor torsk, *Gadus morhua*. Ved Canada ser det ut som havertene har profittert på sammenbruddet i torskbestandene fordi bortfallet av torsk (som er en betydelig predator) har utløst et større næringspotensiale for havert. Undersøkelser ved Canada mellom 1991 og 1999 viste at tobis, *Ammodytes dubius*, dominerte havertens diett i alle årene og til alle årstider selv om innslaget av andre arter varierte over tid. Tobis (*Ammodytes* sp.) har også vært det viktigste byttedyret for havert i Nordsjøen og betydningen av tobis har i 1980- og 1990 årene vært viktigere enn tidligere. Det er imidlertid ikke kjent om det også i Nordsjøen er en slik kaskadeeffekt fra torsk via tobis til havert, som en mener å ha påvist ved Canada.

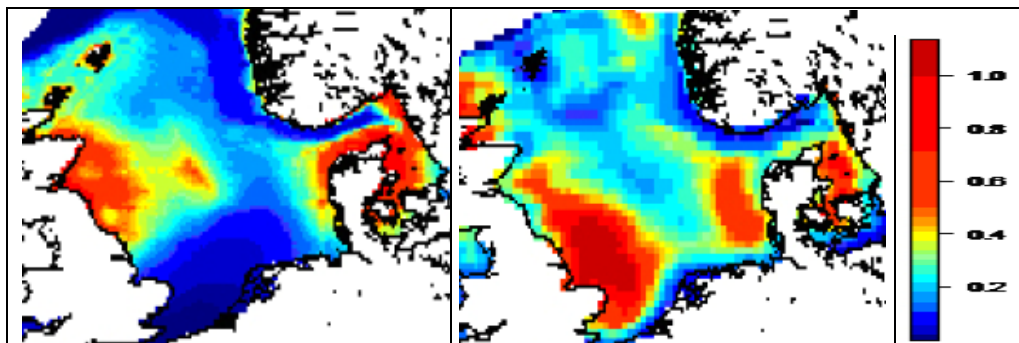
Steinkobbe

Det er om lag 100,000 steinkobber, *Phoca vitulina*, i Nordsjøområdet. De største konsentrasjonene finnes i Vadehavet (Nederland, Tyskland og Danmark) med ca 36,000, ved

De britiske øyer med vel 40,000 og i Skagerrak-Kattegat (Danmark og Sverige) med ca 18,000 individer. Bestanden langs hele nordsjøkysten av Norge er til sammenligning beregnet til 2,270 individer. Bestandene i Skagerrak, Vadehavet og i The Wash i England ble sterkt rammet av PDV i 1988 og 2002 med mer enn 50 % dødelighet i 1988 og noe mindre dødelighet ved det andre utbruddet. I begge tilfeller viste bestandene i Skagerrak og Vadehavet meget rask gjenvekst med en vekstrate på omlag 12 % årlig (og til dels enda høyere etter det første utbruddet). Bestanden i The Wash viste evne til gjenvekst etter PDV-utbruddet i 1988, men etter utbruddet i 2002 har bestanden fortsatt å avta. Det er et fellestrekk for alle nordsjøbestandene av steinkobber i Storbritannia at tallrikheten går ned. Den store bestanden ved Orknøyene er halvert siden år 2000. Det er ingen indikasjoner på PDV-dødelighet har forårsaket denne nedgangen. Det ser imidlertid ut som dette er et nordsjøfenomen, fordi bestanden av steinkobbe på vestkysten av Skottland er fortsatt i vekst. Mens havert og steinkobbe tidligere i stor grad var geografisk atskilt, er det etter 2000 observert stadig mer havert sammen med steinkobber på land i kolonier som grenser til Nordsjøen. Det spekuleres i om haverten har nådd *K*-nivået og dermed endrer atferd og at denne nye atferden medfører økt konkurranse med steinkobbe. En konkurranse som de langt mindre steinkobbene taper.

Andre arter

Den største tallrikheten av nise, *Phocoena phocoena*, i Nord-Atlanteren finnes i Nordsjøen. To internasjonale telletokt estimerte tallrikheten i Nordsjøen til 341,400 (CV=0.14) i 1994 og til 335,000 (CV=0.21) i 2005 (ICES 2007). Dette viser en stabil tallrikhet over denne 10-åreperioden. Men den romlige fordelingen var vesentlig forskjellig i de to årene (Figur 8.1) med en sydligere mengdefordeling i 2005 sammenlignet med 1994 både i den vestlige og østlige delen av Nordsjøen. Det er sannsynlig at denne forskyvningen i utbredelse skyldes ulik tilgang på næring i de årene. På samme måte som havert og steinkobbe kan nisene velge mellom flere byttedyr, men tobis, sild og brisling er viktige.



Figur 8.1. Tetthetsoverflater av nise i Nordsjøen i 1994 (til venstre) og i 2005 viser at konsentrasjonen ved østkysten av Skottland i 1994 tilsynelatende har forskjøvet seg sørover til East Anglia i 2005. Tilsvarende har konsentrasjonen i Skagerrak i 1994 tilsynelatende forskjøvet seg sørover til vest og sørvest av Jylland og til Kattegat i 2005. Fargeskalaen til høyre viser antall niser per km². Datakilde: ICES.

I tillegg til havert, steinkobbe og nise er det en liten, kystbunden bestand av tumler, *Tursiops truncatus*, ved Moray Firth i Skottland. Arter som forekommer vanlig, men som ikke er så stedbundne som de fire førstnevnte artene omfatter tumlerene kvitnos, *Lagenorhynchus albirostris*, (22,665 individer i 2005, CV=0.42) og kvitskjeving *Lagenorhynchus acutus*, spekkhogger, *Orcinus orca*, og grindehval, *Globecephala melas*. Arter med klare årstidsvandinger som benytter Nordsjøen som beiteområde omfatter blant andre vågehval,

Balaenoptera acutorostrata, (10,541 individer i 2005. CV=0.32). Alle estimatene er fra det internasjonale telletoktet i 2005 og hentet fra ICES 2007. Forekomsten av disse mindre stedbundne artene i Nordsjøen vil trolig avhenge av tilgangen på foretrukne byttedyr i Nordsjøen i forhold til tilgangen utenfor nordsjøområdet.

Av særlig interesse er pelagiske, mer varmekjære arter som har sin nordgrense ved De britiske øyer. Av de mer tallrike artene kan nevnes stripet delfin, *Stenella coeruleoalba*, og vanlig delfin, *Delphinus delphis*. Med økende temperatur og en nordlig forskyvning av utbredelsesområdets nordgrense kan disse artene i løpet av relativt kort tid bli svært tallrike i Nordsjøen. Dette kan føre til konkurranse med, og nye økologiske betingelser for, dagens nordsjøarter.

Aktuelle hypoteser for konsekvenser av klimaendring og tilhørende forskningsbehov:

- Vil forekomsten av havert i Nordsjøen bli forskjøvet mot nord som følge av temperaturbestemt sydlig grense for artens utbredelse?
 - ✓ Det mangler dokumentasjon på sammenhenger mellom temperatur (i vann og luft) og havertens utbredelse.
- Er havertens økning i tallriket siden 1960 forårsaket av en trofisk kaskade-effekt på grunn av nedfisking av stor torsk, og hvilke effekter har klima på en eventuell slik kaskadeeffekt?
 - ✓ Årsaken til havertens bestandsvekst etter 1960 er ikke dokumentert.
 - ✓ Det er manglende opplysninger om jakt på havert i Storbritannia før 1960.
 - ✓ Det er ikke dokumentert noe konkurranseforhold mellom havert og stor torsk i Nordsjøen.
- Er den reduserte populasjonsveksthastigheten for havertbestanden i Nordsjøen etter 2000 et uttrykk for at arten nærmer bæreevnenivået, K , og hvilken effekt har klima på K ?
 - ✓ Havertens bæreevnenivå, K , er ikke kjent
 - ✓ Effekten av temperatur på K er ikke kjent.
- Skyldes nedgangen av steinkobbe i vestlige Nordsjøen næringskonkurranse med havert, og hvilken effekt har klima på et eventuelt konkurranseforhold?
 - ✓ Det er ikke dokumentert noe konkurranseforhold mellom havert og steinkobbe.
 - ✓ Effektene av klima på et eventuelt konkurranseforhold mellom havert og steinkobbe er ikke kjent.
- Er geografisk forskyvning av nisenes mengdefordeling en effekt av næringstilgang og hvilke effekter har klima på nisenes næringstilgang?
 - ✓ Årsaken til den geografiske forskyvningen av nise mellom 1994 og 2005 er ikke kjent.
 - ✓ Inndelingen av niser i genetiske populasjoner og sub-populasjoner i Nordsjøen er mangelfullt beskrevet, med analyser tyder på at det finnes populasjonstrukturer innenfor Nordsjøområdet.
- Vil temperaturøkning på for eksempel to grader i Nordsjøens vannmasser føre til at mer varmekjære delfiner etablerer seg med tallrike bestander i Nordsjøen og hvilke effekter får det eventuelt for dagens stedbundne arter i Nordsjøen?
 - ✓ Konkurranse mellom ulike arter sjøpattedyr er ikke dokumentert.

9. Mulige konsekvenser av klimaendringer på skipstrafikk



Klimaendringers virkning for skipsfarten

Sjøtransporten er på samme måte som andre transportformer utsatt for klimaendringer. De største utfordringene blir infrastrukturens toleranse for vannstandsøkning, vind og bølger, men også vind og bølgepåvirkning på skip under seiling vil kunne gi en økt risiko. Under dagens klimaforhold er det av sikkerhetsmessige grunner allerede mange farvann og havner som flere dager i året ikke er tilgjengelige. Enhver forverring av vind-, bølge- eller strømforhold vil kunne redusere tilgjengeligheten ytterligere uten tiltak.

Moloer og dekningsverk er dimensjonert med sikte på å oppnå så rolige forhold i havnene at oppankring, lasting, lossing og andre havneoperasjoner kan utføres sikkert og effektivt uten personskader, skader på fartøy eller kaianlegg. Dimensjoneringen av infrastruktur i havner og farleder er i stor grad tilpasset dagens rådende værforhold og vil dermed liten grad kunne fungere som forutsatt hvis påvirkning av vær og vind blir høyere en dagens fastsatte dimensjoneringskriterier.

Høyere havenivå, høyere bølger, gjerne i kombinasjon med sterkere stormflo og kraftigere strømmer, øker belastningen og slitasjen på moloer, havneanlegg og andre maritime konstruksjoner. Dette gjør at vi kan se for oss skader på moloer og kaianlegg i et større omfang enn tidligere. Det vil medføre økt behov for vedlikehold og forsterkning av eksisterende konstruksjoner. Allerede i dag må vi ta høyde for en mer robust dimensjonering av nye konstruksjoner som skal tåle mer en 100 års levetid.

En klimaendring vil kunne påvirke skipsfarten på flere områder, kanskje især på sikkerhetssiden med hensyn til flere tilfeller enn tidligere der grensene for sikker og effektiv operasjon i havnene overskrides og på miljøsidan mht spredning av organismer. Klimaendringer kan på den andre side åpne nye muligheter for skipsfarten. Issmelting og nye åpne seilingskorridorer vil kunne effektivisere sjøfarten, og redusere avstander mellom kontinenter i nordlige sjøruter.

a) Sikkerhetsaspekter

Alle skip som tar last har lastemerker som angir i hvor stor grad skipet kan lastes under vinter og sommerkondisjon (i normalsituasjoner). En klimaendring som gir mer ekstremvær vil nødvendigvis måtte endre betingelsene for slike lastekondisjoner, antagelig i retning av at skipene kan ta mindre last enn tidligere. Uten en klar beskrivelse av klimaendringenes omfang er det vanskelig å være tydeligere med hensyn til i hvor stor grad lasteevnen endres, men dette vil i sin ytterste konsekvens medføre større behov for lastekapasitet i kysttransporten.

Mer ekstremvær vil kunne føre til flere liggedøgn uten seilingsforhold og på den måten bidra til å redusere skipsfartens regularitet. Videre kan mer ekstremvær medføre økt fare for ulykkeshendelser og samtidig vanskeliggjøre bergingsarbeide og skadebegrensende tiltak i ettertid.

b) Miljøaspekter

På miljøsidan er det særlig spredning av organismer i ballastvann og ved fouling (begroing med mer av skipsskrog) som kan påvirkes av klimaendringer. I dag har en sett på såkalte biogeografiske regioner og angitt sannsynligheter for spredning av organismer ut i fra skipenes eksisterende seilingsmønster og temperaturregimer. I en situasjon med mer ekstremvær vil temperaturregimene kunne skifte så mye at nye organismegrupper og nye biogeografiske regioner kan gi spredning inn i våre områder. Igjen er det vanskelig å være veldig konkret uten et konkret tilfelle å relatere til.

Skipsfartens klimapåvirkning

Skipsfarten er som storforbruker av olje som drivstoff en del av klimaproblemet. Det foregår omfattende diskusjoner internasjonalt av hvordan skipsfarten skal bidra til reduksjoner i klimagassutslippene fremover, i FN's sjøfartsorganisasjon IMO. Det antas at det for Nordsjøen ikke er interessant å prøve å beregne andel utslipp i global sammenheng.

10. Klima og antatte klimaendringer – Konsekvenser for petroleumsvirksomheten

I forhold til petroleumsvirksomheten forvaltes et regelverk som stiller krav til teknologi, operasjoner og styring, og som inneholder en rekke virkemidler. Myndighetenes rolle er blant annet knyttet til forebygging og av uønskede hendelser og tilstander, samt stans av ulykker ved kilden (brønnkontroll og lignende).

Vind, bølger, temperatur, strøm etc. er svært viktige risikopåvirkende faktorer i petroleumsvirksomheten. Det kan påvirke både sannsynligheten for uønskede hendelser og deres konsekvenser, dersom virksomheten ikke er tilpasset naturlastene den utsettes for. Det er derfor viktig at utforming, operasjoner og styring av petroleumsvirksomheten blir tilpasset konsekvensene av klima og klimaendringene¹.

Petroleumstilsynet har oversikt over og følger med i utviklingen av stormskader og utmattingsskader på infrastrukturen i petroleumsvirksomheten (Fig. 10.1)².



Figur 10.1. Konstruksjonsskader.

For perioden 2000 til 2008 var stormskadene stort sett omfattet av skader som er gjort på dekket av innretningene, men det er også oppsprekking i skrog. I de fleste tilfellene var det bølger som gjorde skader, og i ett tilfelle var det vind. De øvrige skadene er bølger som slo i dekket på en flyttbar innretning og gjorde skade. Det er ikke målt endringer over tid.

Det følges også opp at næringen overvåker klimautviklingen og iverksetter nødvendige tiltak for eksisterende innretninger og fremtidige utbygginger. Videre følges blant annet Meteorologisk Institutt's vurderinger av klimautviklingsscenarier, NorACIA's arbeid, ulike standardiseringsoppgaver osv. I myndighetssamarbeid er det utredet konsekvensene av endret skipstrafikk som følge av en eventuell åpning av Nordøst-passasjen for kollisjonsrisiko i petroleumsvirksomheten, med tanke på å klargjøre behov for risikoreduserende tiltak.

¹ Ref blant annet Innretningsforskriften § 10

² Jf Hovedrapport Risikonivå Petroleumsvirksomheten 2008,

http://www.ptil.no/getfile.php/PDF/RNNP%202008/Rapport_HOVED_2008_total_rev1b%5B1%5D.pdf

Med den usikkerheten som er i klimaendringsscenariene og tidsperspektivet det er snakk om, kombinert med overvåking av petroleumsvirksomheten, blant annet med hensyn til stormskader, er det foreløpig ikke vurdert som nødvendig å endre regelverket. Dette følger også av at vi har et regelverk som er risikobasert og funksjonelt. I regelverk vises det til standarder hvor det kreves at klimaendringer skal vurderes. Industristandarden NORSOK N-003 krever at en skal ta høyde for 30 cm høyere vannstand på grunn av klimaendringer.

Utover de direkte konsekvensene av klima og klimaendringer på ulykkes- og arbeidsmiljørisiko, har utsiktene for klimaendringer ført til en mobilisering for å redusere utslipp av klimagasser. Dette fører blant annet til utvikling av ny teknologi og nye operasjonelle løsninger i petroleumsvirksomheten, som kan endre risikobildet og dermed kreve tilpasninger for å unngå for eksempel at reduksjon av klimagassutslipp øker fare for ulykker som kan skade mennesker eller øke fare for akutt forurensning til sjøen.

I henhold til Klimameldingen skyldes 90 % av CO₂-utslipp og 90 % av NO_x-utslipp kraftgenerering. Det er viktig å få klargjort de positive og negative konsekvensene av alternative kraftgenereringsløsninger for å bidra til å opprettholde forsvarlig teknisk og operasjonell integritet og forsvarlig arbeidsmiljø. I denne forbindelsen er det gjort et arbeid med å utrede elektrifisering av sokkelen.

I SFTs prosjekt Klimakur 2020 skal man se på ulike tiltak som kan redusere klimagassutslippene. Karbonfangst og lagring (CCS) er et av tiltakene som man ser på her. Petroleumstilsynets arbeider med å utrede risikoer som innføres som følge av CCS og lukke kunnskapshull på sikkerhets- og arbeidsmiljøområder, slik at CCS kan implementeres uten at det truer teknisk og operasjonell integritet i virksomheten. Her er blant andre Det Norske Veritas (DNV) engasjert for å gjennomføre en studie om risikoforhold knyttet til fangst og transport av CO₂ i væskefasen.³ DNV-studien konkluderer med at det ikke er forventet at noen av de identifiserte HMS-utfordringene og potensielle farene vil utgjøre noen betydelige hindring for implementering og anvendelse av CCS, så lenge risiko vurderes og håndteres på en fullstendig og tilfredsstillende måte. De potensielle farene og utfordringene kan grovt sett deles inn i tre grupper:

- CO₂-rørledningutfordringer (innvendig og utvendig korrosjon, hydratdannelse, lastfordeling ved frie spenn, løpende brudd)
- Materialutfordringer (CO₂-løsemiddelegenskaper og materialkompatibilitet, elastomerer - det vil blant annet si at materialene som brukes må være tilpasset CO₂s syreegenskaper)
- Drifts- og designutfordringer (CO₂ faststoffdannelse, trykkreduksjon (både kontrollert og ukontrollert), lave temperaturer, feiling av trykksatte systemer, CO₂ BLEVEs - det vil si hvordan CO₂ oppfører seg i ekstreme omgivelser – f.eks ved høyt trykk kombinert med sterk varme)

Eksisterende strategier for risikohåndtering bør kunne tilpasses slik at de potensielle farene håndteres på en akseptabel måte.

Det er også behov for mer kunnskap om brønnsikkerhet i forbindelse med CO₂-injeksjon, blant annet i forhold til om CO₂ kan påvirke eksisterende brønnbarrierer som hindrer olje-

³ <http://www.ptil.no/getfile.php/PDF/Ptil%20CCS%202008.pdf>

eller gasslekkasjer. Disse forholdene⁴ er vurdert i en SINTEF-studie. Det er i denne sammenheng påpekt et behov for å utvikle tilstrekkelige kriterier for å måle styrke og tåleevne til sementering som barriere i injeksjonsbrønner for CO₂.

DNV er ansvarlig for å studere rørledninger for CO₂-transport. Målet er å avdekke spesielle risikoforhold knyttet til CO₂-transport i stor skala for å komme fram til en anbefalt norm for slike rørledninger, både over land og på havbunnen. Dette prosjektet er industrien oppdragsgiver for, med myndighetene som observatør.

Med tanke på alternative energikilder vil endrede vind- og bølgeforhold få konsekvenser for fremtidig havenergiproduksjon. Hvilke konsekvenser er usikkert, men man kan tenke seg at det på den ene side vil måtte stilles strengere krav til robusthet og driftsikkerhet, mens det på den andre side kan endre potensialet for produksjon. Potensialet vil kunne reduseres ved mer ekstremvær, mens det kan øke ved høyere midlere vindhastighet og bølgehøyde.

⁴ <http://www.ptil.no/getfile.php/PDF/SINTEF-Report-CO2-injection-well-integrity.pdf>

11. Effekter av klimaendring på fiskeri

Sett fra norsk ståsted foregår det i Nordsjøen viktige kommersielle fiskerier etter sei, makrell, sild, og reke. Andre bestander kan også være viktige for noen fiskere, som for eksempel torsk, men det totale uttaket er forholdsvis begrenset. Tradisjonelt har også industritrålfisket etter øyepål/kolmule og tobis vært av stor betydning, men omfanget av disse fiskeriene har de siste årene blitt vesentlig redusert.

Klimaendring er sannsynligvis mye av grunnen til endringene i dyreplanktonsamfunnet i Nordsjøen; noe som igjen antas å være hovedgrunnen til dårlig rekruttering hos sild og torsk. Det forventes at torsk i Nordsjøen vil få en mer nordlig utbredelse ved høyere sjøtemperatur. En slik forskyvning i nordlig retning forventes også for andre bunnfisk bestander, se kapittel 6. En viktig bestand for norsk fiskeri i Nordsjøen er sei; også denne vil antagelig forflytte seg nordover ved høyere temperatur. I senere år er makrell observert på beitevandring stadig lenger nord i Norskehavet.

En mer nordlig utbredelse av bunnfiskbestandene skulle medføre mer fisk nærmere norske farvann, noe som isolert sett er positivt for norske fiskere. På det nåværende tidspunkt er det også vanskelig å se at en mer nordlig utbredelse av bunnfiskbestandene skulle medføre særskilte problemer for utøvelse av praktisk fiskeri.

Klimaendring og varmere vann kan muligens også by på nye fiskemuligheter i fremtiden. Som det fremgår i kapittel 6 er det i senere år observert sardiner og ansjos helt opp til vestkysten av Norge, mens disse bestandene inntil midt på 1990-tallet var totalt fraværende i Nordsjø-området. Det kan ikke utelukkes at disse nye artene i Nordsjøen i fremtiden kan opptre i forekomster som vil gjøre et kommersielt fiske mulig.

Dersom klimaendringene medfører mer ekstremvær i Nordsjøen, vil dette påvirke mulighetene til å drive fiskeriaktivitet på en sikkerhetsmessig forsvarlig måte, jfr. kap. 9 om skipstrafikken.

Nordsjøen er allerede sterkt utsatt for ulike menneskeskapt påvirkninger, både fra aktivitet til havs og tilførsler fra land. Dersom klimaendringen medfører større spredning av ulike miljøbelastninger, som for eksempel fremmede organismer som kommer inn med ballastvann, er det sannsynlig at denne påvirkningen vil være negativ for de bestandene som utnyttes kommersielt.

Forskningsbehov:

- Dersom de tradisjonelle bestandene av fisk av kommersiell betydning i Nordsjøen i stor grad trekker nordover, mens bestander som tradisjonelt har holdt til lenger sør etablerer seg i Nordsjøen, kan det oppstå behov for forskning/uttesting av redskaper/fiskemetoder/fartøy. Slik praktisk forskning vil bli nødvendig for å kunne utøve disse nye fiskeriene mest mulig rasjonelt, se også nest siste strekpunkt i kapittel 6.

12. Effekter av klimaendringer i et økosystemperspektiv

Klimaendringer i tillegg til annen påvirkning

Mye peker i retning av at klimaendringer i framtiden vil gi enda større negative effekter enn de vi ser i dag. Dette kan gi svært store effekter på havmiljøet og de høstbare bestandene. Ofte gir det imidlertid liten mening å snakke om enkeltpåvirkninger. Miljøet organismene utsettes for er summen av alle påvirkninger, og samvirket mellom klimaendringer og andre påvirkninger som havforsuring, overfiske og forurensning kan forsterke de negative effektene. Et eksempel på forsterkede effekter er hvordan svikt i planktonproduksjon som følge av klimaendringer kan gi matmangel for sjøfugl, noe som igjen kan gjøre dem mindre motstandsdyktige mot oljesøl.

Klimaendringer påvirker dynamikken i økosystemet

Enkeltarter på alle trofiske nivåer kan bli påvirket av klimaendringer, om ikke annet så bare gjennom direkte fysiologisk respons på høyere omgivelsestemperaturer. Det er viktig å ha i mente at det er stor variasjon i fysiologisk toleranse og tilhørende respons mellom arter, så vel som mellom populasjoner av samme art og mellom individer innen samme populasjon.

De fleste studier ser på enkeltarter, men systemet som en helhet kan ha en dynamikk som ikke kan observeres utelukkende basert på kunnskap om responsen til enkeltarter. Dette skyldes det komplekse nettverket av predator-byttedyr interaksjoner i et næringsnett. Undersøkelse av økologiske responser på klimaendringer over et bredt felt av økosystemer understreker den komplekse og ofte indirekte naturen i marine økosystemers dynamiske respons (Fig. 12.1). Dette kan være gjennom endringer i primær- og sekundærproduksjon, tidsmessige forskyvninger som undergraver den evolverte tilpasningen av predatorer til tilgang på byttedyr/planter ("mismatch"), migrasjonsruter og romlig utbredelse på populasjons og artsnivå, fysiske prosesser som igjen kan påvirke næringssalter, produksjon og byttedyrtilgjengelighet for høyere trofiske nivåer. Dessuten kan annen menneskelig påvirkning øke effekten av klimaendringer på marine systemer, som beskrevet tidligere.

Samspill mellom klima, forurensning og havets økosystemtjenester

Samsillet mellom klimaendringer og forurensning er intrikat, og involverer en rekke biologiske, fysiske og kjemiske faktorer, som igjen påvirkes av steds- og tidsmessige faktorer. Figur 12.2 er en skjematisk fremstilling over de ulike påvirkninger klima kan ha på økosystemer og biota, og hvordan dette er koblet til forurensningssituasjonen. Figuren visualiserer også sammenhengen til menneskers velferd og verdiskaping gjennom å vise hvordan dette henger sammen med naturens varer og tjenester, såkalte økosystemtjenester. Per i dag har vi ikke oversikt over hvordan mange klimarelaterte stressfaktorer, som saltholdighet, temperatur, hypoxia, UV-stråling og forurensning, til sammen påvirker biota og økosystemtjenester i hav- og kystområder. Prognoser for nøkkelfaktorer som temperatur og saltholdighet gir oss likevel en indikasjon på hva vi får av fremtidige utfordringer når vi skal forutse den kombinerte effekten og risikoen av klima og forurensning.

Effekter av samspill mellom klima og fiske

En bestand som gjennom lengre tide er utsatt for høyt fisketrykk kan respondere med evolusjonære endringer av livshistorietrekk. Er det selektive trykket høyt nok kan slike endringer oppstå allerede etter noen få generasjoner. Som følge av geografisk ulikt fisketrykk (for eksempel hardere i det sørligere Nordsjøen enn lengre nord) kan hele underpopulasjoner bli utslettet. Studier av bestander fra andre steder sannsynliggjør at en hardt fisket bestand, bestående av yngre fisk og færre årsklasser, er mer følsom overfor klimaendringer enn en med en mer naturlig aldersstruktur. Videre kan tap av naturlig genetisk mangfold pga. fiske og/eller klimaendringer øke en populasjon sin risiko for kollaps. Arter består naturlig av populasjoner og individer med ulike genotyper som kan gi fordeler under ulike klimaregimer. Etter som miljøforholdene utvikler seg i tid og rom kan frekvensene av spesielle genotyper også endre seg.

Bunn-opp effekter av klima på det pelagiske næringsnettet

Vanligvis er det to effekt-kjeder fra marine plante- og dyreplankton til fisk eller andre dyr høyere oppe i næringskjeden: 1) Effekter på bestand (dvs. biomasse og antall) av planteplankton som har bunn-opp effekter på dyreplankton, eller direkte effekter på dyreplanktonbestander; 2) Effekter gjennom endringer i distribusjon og fenologi som potensielt forårsaker mismatch i rom og tid mellom tilstøtende trofiske nivåer. Begge kjeder kan føre til matbegrensninger for de øvre trofiske nivåer, dvs. hovedsakelig tidlige livsstadier av fisk så vel som voksne planktonspisende fisk. Eksempelvis forårsaket klimaendringer og påfølgende endringer i planktonsamfunnet samt fiskerier at rekrutteringen til torskebestanden i Nordsjøen ble redusert på midten av 1980-tallet. Analyse av lange, romlig dekkende biologiske (plankton og torsk) og fysiske (overflatetemperatur) datasett tyder på at synkrone endringer i torsk og sjøtemperatur har etablert en omfattende endring som favoriserer grupper på lavere trofiske nivå i forhold til de kommersielt viktige fiskebestandene. En spredning av maneter kan være et markert resultat av disse endringene. Denne endrede Nordsjøøkologien kan være en klar indikasjon av samspilleffekter mellom samtidige klimaendringer og hardt fiske.

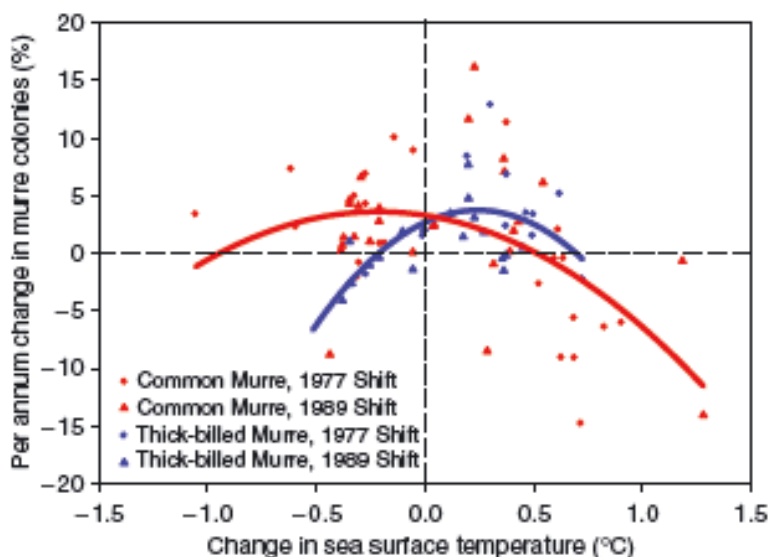
Det er ikke nødvendigvis bare selve temperaturnivået som er viktig, endringer kan i seg selv, uavhengig av retning, skape problemer for, for eksempel, sjøfugl (Fig. 12.3). Trolig var årsaken til det som her ble observert større endringer i de næringskjedene artene utnyttet, noe som kanskje også kan ha hatt tilsvarende betydning for marine pattedyr, fisk og evertebrater.

Omfanget av de økologiske omstillingene som har skjedd i Nordsjøen tyder på at vi neppe er i stand til å reversere dagens klima og menneske-induserte effekter gjennom økosystemforvaltning på kort sikt, men i stedet må forstå og tilpasse oss det nye regimet. Dette innebærer at fiskeriforvaltningen må ta hensyn til de økologiske konsekvensene av klimaendringer. Man må arbeide for å en forvaltning som tar endring i klima inn over seg. Effektene av klimaendringer kan begrenses ved at annen menneskelig påvirkning i systemet, og dermed den samlede påvirkningen, reduseres.

Noen forskningsbehov

- Øke forståelsen av effekter av klimaendringers retning, styrke og temporære variasjon på produksjon og trofiske interaksjoner på ulike nivå i næringskjeden, fra primærproduksjon til næringstilbud, reproduksjon og overlevelse hos topp-predatorer.
- Bedre forståelse av hvordan klimaendringer påvirker samspillet mellom fiskearter og mellom fisk og zooplankton ved bl.a. modellering. Vi kjenner ikke årsaks-virkning

forholdet noe som vanskeliggjør forvaltningen både av de kommersielle fiskebestandene og andre naturressurser.



Figur 12.3. Over hele sitt sirkumpolare utbredelsesområde er bestandene av både lomvi (rød kurve) og polarlomvi (blå kurve) som regel økende når sjøtemperaturen rundt hekkekoloniene holder seg forholdsvis stabil, mens det motsatte er tilfelle etter kraftige endringer i temperaturregime, uansett om endringen innebærer stigende eller synkende temperatur. Hvert punkt i figuren representerer en koloni i enten Nordatlanten eller nordlige deler av Stillehavet, og viser den gjennomsnittlige, årlige antallsendringen i kolonien i det påfølgende tiåret etter ett av to tydelige, men motsatte temperaturskift, hhv. i 1977 og 1989. Den horisontale aksene viser den gjennomsnittlige endringen i sjøtemperatur i havområdene rundt kolonien siden foregående tiårsregime. Disse tiårsskiftene i sjøtemperatur forklarte omkring en tredel av antallsvariasjonen for disse artene. Etter Irons et al. (2008).

- Bedre forståelse av effekter av klimaendring på økosystemenes motstandsdyktighet mot endringer (robusthet), herunder risiko for alvorlige økologiske regimeskift som kan føre systemet over i en mindre produktiv tilstand for planktoniske krepsdyr (som raudåte) som utgjør det viktigste næringsgrunnlaget for fisk og de fleste sjøfugler
- Økosystemmodeller må utvides/omarbeides for å ta inn nye prosesser og komponenter etter hvert som det framkommer ny eksperimentell kunnskap. De må inkludere synergistiske effekter av både pH, pCO₂ og klima/temperatur. Det trengs mer kunnskap både på direkte effekter på fisk, sjøfugl og pattedyr, og på de indirekte effektene igjennom påvirkninger på byttedyr (som raudåte eller tobis).
- Mer informasjon trengs, utover det rent korrelative, om sammenhengen mellom fiskelarver (overlevelse og fødetilgang), zooplankton og klima.
- Prediktive studier, der en prøver å estimere endringer i fordelingsmønstre, populasjonsinteraksjoner og den økologiske rollen til nye arter i området bør utføres.
- Økt kunnskap om direkte og indirekte effekter av klima på bentiske økosystemers struktur og funksjon.

Litteratur

1. Klima, antatte klimaendringer og effekter på fysisk miljø

- Drinkwater, K. 2008. RECLAIM Deliverable 1.6 Report of WP1. Chapter 8 – Atmospheric and Ocean Climate: past, present and future. 24 p.
- Drinkwater, K., Skogen, M.D., Hjøλλo, S.S., Schrum, C., Alekseeva, I., Huret, M., and Léger, F. 2008. RECLAIM Deliverable D4.1. The effects of future climate change on the physical oceanography and comparisons of the mean and variability of the future physical properties with present day conditions. 58 p
- IPCC 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: Synthesis Report.
http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf (06.05.2008)
- IPCC, 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. Eds M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, C.E. Hanson. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp.
- OSPAR Commission. 2009. OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic Meeting of the Management Group for the QSR (MAQ). Draft assessment of the impacts of climate change on the North East Atlantic. 36 pp.
- Ådlandsvik, B. 2008. Marine downscaling of a future climate scenario for the North Sea. *Tellus* 60A, 451–458.

2. Effekter av klimaendringer på forurensningssituasjonen

- Dahl, E. 2004. Økosystemene på kysten og i fjordene: Skadelige alger. Fisken og havet, særnummer 2-2004.
- EEA 2004. Impacts of Europe's changing climate – 2004. An indicator-based assessment
- EEA 2008. Impacts of Europe's changing climate – 2008. An indicator-based assessment
- Havets ressurser og miljø 2009 kap 3.3
- Macdonald et al. 2005. Recent climate change in the Canadian arctic and its impact on contaminant pathways and interpretation of temporal trend data. *Science of the Total Environment* 342, 5-86.
- Moy et al. 2005. Langtidsovervåking av miljøkvaliteten i kystområdene av Norge. Kystovervåkingsprogrammet. Årsrapport 2004. SFT-rapport 2099/2005.
- Moy og Stålnacke 2007. Sukkertareprosjektet: Analyse av klima- og overvåkingsdata. SFT-rapport TA-2279/2007
- Moy et al. 2008. Sluttrapport fra Sukkertareprosjektet 2005-2008. SPFO-rapport: 1043/2008.
- Moy et al 2009. Langtidsovervåking av miljøkvaliteten i kystområdene av Norge. Kystovervåkingsprogrammet. Årsrapport 2008. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport TA-1048/2009
- Noyes et al 2009. The toxicology of climate change: Environmental contaminants in a warming world. *Environment International* 35 (2009), 971-986
- Schiedek et al. 2007. Interactions between climate change and contaminants. *Marine Pollution Bulletin* 54 (2007), 1845-1846.

3. Konsekvenser av klimaendringer på påvirkning fra land

- Bechmann, M., Pengerud, A., Eggestad, H.O., Deelstra, J. og Øygarden, L. 2008. Erosjon og næringsstofftap fra jordbruksdominerte nedbørfelt. Årsrapport for 2006/07 fra Program for jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA). Bioforsk Rapport Vol. 3 Nr. 20 2008, 53 s.

- Kaste, Ø. Wright, R. Barkved. L. Bjerkeng, B. Engen-Skaugen, T Magnusson, J. & Sælthun, N.R. 2006. Linked models to assess the impacts of climate change on nitrogen in a Norwegian river basin and fjord system. *Sci. Tot. Environ.* 365: 200-222.
- Moy, F., Aure, J., Falkenhaus, T., Johnsen, T., Lømsland, E., Magnusson, J., Norderhaug, K., Omli, L., Pedersen, A., Rygg, B. 2008. Langtidsovervåking av miljøkvaliteten i kystområdene av Norge. Kystovervåkingsprogrammet. Årsrapport for 2007. SFT-rapport, TA 1024/2008, 81 s.
- Moy, F., Christie, H., Steen, H., Stålnacke, P., Aksnes, D., Alve, E., Aure, J., Bekkby, T., Fredriksen, S., Gitmark, J, Hackett, B, Magnusson, J, Pengerud, A, Sjøtun, K, Sørensen, K, Tveiten, L, Øygarden, L, Åsen, PA. 2009. Sluttrapport fra Sukkertareprosjektet 2005-2008. Final report from the Sugar Kelp Project 2005-2008. SFT-rapport TA 2467/2009, 131 s.
- Skarbøvik, E., Stålnacke, P.G., Kaste, Ø., Selvik, J., Tjomsland, T., Høgåsen, T., Pengerud, A., Aakerøy, P.A., Fjeld, E., Beldring, S. 2008. Riverine inputs and direct discharges to Norwegian coastal waters - 2007. OSPAR Commission. SFT-report TA 22452/2008, NIVA-sno 5696, 90 pp. + Annexes.
- Skjelkvåle, B. L.(red.) 2008. Overvåking av langtrasportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport - Effekter 2007. SFT-rapport TA 1036/2008, 157 s.

4. Effekter av klimaendringer på plankton

- Möllmann, C. 2008. RECLAIM Deliverable 1.6. Report of WP1. Part 9 – Primary and secondary production. 11 p.

5. Effekter av klimaendringer på bunndyr og –planter

- Dannheim, J. 2009. Bunndyr. In: Gjøsæter, Dommasnes, Falkenhaus, Hauge, Johannessen, Olsen, Skagseth (Eds.), Havets Ressurser og miljø 2009. *Fisken og havet*, særnr 1-2009. Havforskningsinstituttet, Bergen, pp. 141-142.

6. Effekter av klimaendringer på fiske- og skalldyrbestander

- Dickey-Collas. M., Engelhardt, G.E., and Möllmann, C. 2008. RECLAIM Deliverable 1.6. Report of WP1. Chapter 14 – Herring. 18p.
- Engelhardt, G.E., Pinnegar, J.K. and Heath, M.R. 2008. RECLAIM Deliverable 1.6. Report of WP1. Chapter 19 – Cod. 20 pp.
- Ottersen G, Alheit J, Drinkwater K, Friedland K, Hagen E, Stenseth NC. 2004a. The responses of fish populations to ocean climate fluctuations. In: Stenseth NC, Ottersen G, Hurrell J, Belgrano A (eds) *Marine ecosystems and climate variation: the North Atlantic*. Oxford University Press, Oxford, p 73-94
- Peck, M.A. and van der Veer, H. W. 2008. RECLAIM Deliverable 1.6. Report of WP1. Chapter 4 – Ecophysiology. 28 p.
- Perry AL, Low PJ, Ellis JR, Reynolds JD (2005) Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science* 308:1912-1915
- Pinnegar, J.K., Engelhard, G.H., Daskalov, G.M., and Dulvy, N.K. 2008. RECLAIM Deliverable 1.6 Report of WP1. Chapter 12 – Changes in the distribution of fish. 23 p.
- Rijnsdorp, A.D. 2008. RECLAIM Deliverable 1.6 Chapter 2 – Conceptual framework. 15p.

7. Effekter av klimaendringer på sjøfugl

- Anker-Nilssen, T. 1992: Food supply as a determinant of reproduction and population development in Norwegian Puffins *Fratercula arctica* . – Dr. scient. Thesis, Univ. Trondheim
- Anker-Nilssen, T. & Aarvak, T. 2006: Tidsseriestudier av sjøfugler i Røst kommune, Nordland. Resultater med fokus på 2004 og 2005. – NINA rapport 133, 85 s.

- Arnott, S.A. & Ruxton, G.D. 2002: Sandeel recruitment in the North Sea: demographic, climatic and trophic effects. – *Mar. Ecol Prog ser* 238: 199-210
- Christensen-Dalsgaard, S., Bustnes, J.O., Follestad, A., Systad, G.H., Lorentsen, S.-H. og Anker Nilssen, T. 2008: Tverrsektoriell vurdering av konsekvenser for sjøfugl. Grunnlagsrapport til en helhetlig forvaltningsplan for Norskehavet. – NINA Rapport 338. 161 s.
- Durant, J.M., Anker-Nilssen, T. & Stenseth, N.C. 2003: Trophic interactions under climate fluctuations: the Atlantic puffin as an example. – *Proc. R. Soc. Lond. B* 270: 1461-1466
- Frederiksen, M., Wanless, S., Rothery, P., Harris, M.P. & Wilson, L.J. 2004: The role of industrial fisheries and oceanographic change in the decline of North Sea black-legged kittiwakes. – *J. Appl. Ecol.* 41: 1129-1139
- Furness, R.W. & Bryant, D.M. 1996: Effect of wind on field metabolic rates of breeding Northern Fulmars. *Ecology* 77: 1181-1188
- Sandvik, H., Erikstad, K.E., Barrett, R.T. & Yoccoz, N.G. 2005: The effect of climate on adult survival in five species of North Atlantic seabirds. *Journal of Animal Ecology* 74: 817-831.
- Irons, D., Anker-Nilssen, T., Gaston, A.J. et al 2008: Fluctuations in circumpolar seabird populations linked to climate oscillations. *Global Change biology.* 14(7): 1455-1463

8. Effekter av klimaendringer på sjøpattedyr

- Bjørge, A., Øien, N. & Fagerheim, K.A. 2007. Abundance of Harbour Seals (*Phoca vitulina*) in Norway Based on Aerial Surveys and Photographic Documentation of Hauled-Out Seals During the Moulting Season, 1996 to 1999. *Aquatic Mammals* 33(3).
- Bowen, W.D. & Harrison, G. 2007. Seasonal and interannual variability in grey seal diets on Sable Island, eastern Scotian Shelf. *NAMMCO Scientific Publications* 6: 123-134.
- Duck, C.D. 2009. Grey seal pup production in Britain in 2008. Briefing paper 09/03.4 to NERC Scientific Committee on Seals. 15 pp.
- Duck, C.D. & Thompson, D. 2009. The status of British common seal populations in 2008. Briefing paper 09/03.2 to NERC Scientific Committee on Seals. 13 pp.
- Frank, K.T., Petrie, B., Choi, J.S. and Leggett, W.C. 2005. Tropic cascades in a formerly cod-dominated ecosystem. *Science*, 308: 1621-16323.
- Hammond, P.S., Berggen, P., Benke, H., Borchers, D.L., Collet, A., Heide-Jørgensen, M.P., Heimlich, S., Hiby, A.R., Leopold, M.F. & Øien, N. 2002. Abundance of harbour porpoise and other cetaceans in the North Sea and adjacent waters. *Journal of Applied Ecology* 39:361–376.
- Hammond, P.S., Hall, A.J. & Prime, J.H. 1994. The diet of grey seals around Orkney and other islands and mainland sites in north-eastern Scotland. *Journal of Animal Ecology* 31: 340-350.
- ICES 2007. Report of the Working Group on Marine Mammal Ecology, 2007. ICES CM 2007/ACE:03. 57pp.

9. Mulige konsekvenser av klimaendringer på skipstrafikk

10. Klima og antatte klimaendringer – konsekvenser for petroleumsvirksomheten

11. Effekter av klimaendring på fiskeri

12. Effekter av klimaendringer i et økosystemperspektiv

- Heath, M.R. and Gallego, A. 2008. RECLAIM Deliverable 1.6. Report of WP1. Chapter 10 – Ecosystem structure and function. 14 p.

- Miljøverndepartementet. 2005. Katalog over Miljøverndepartementets viktigste kunnskapsbehov 2005-2009. Miljøverndepartementet, april 2005: 94 s.
- OSPAR Commission. 2009. OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic Meeting of the Management Group for the QSR (MAQ). Draft assessment of the impacts of climate change on the North East Atlantic. 36p.
- Ottersen, G. og van der Meeren, GI. 2008. Helhetlig forvaltningsplan for Norskehavet: Vurdering av kunnskapsstatus og kunnskapsbehov, Havforskningsinstituttet, Bergen. 106 p.
- Ottersen G, Stenseth NC, Hurrell JW. 2004b. Climatic fluctuations and marine systems: a general introduction to the ecological effects. In: Stenseth NC, Ottersen G, Hurrell J, Belgrano A (eds) Marine ecosystems and climate variation: the North Atlantic. Oxford University Press, Oxford, p 3-14.
- Ottersen G, Hjermann D, Stenseth NC. 2006. Changes in spawning stock structure strengthens the link between climate and recruitment in a heavily fished cod stock. Fisheries Oceanography 15:230-243.