

ACIA-rapporten (Arctic Climate Impact Assessment) som ble publisert i 2005, oppsummerer kunnskapen om klimaendringer og deres mulige effekter på økosystemene i Arktis. Rapporten levner liten tvil om at det vil kunne skje store endringer i marine økosystemer i løpet av dette århundret. I et varmere hav med mindre is i nordområdene vil planktonproduksjonen øke. Dette vil gi bedre beiteforhold, og fisk vil få en mer nordlig utbredelse. En slik forskyvning vil kunne bli trinnvis, avhengig av plassering av gytefelter i forhold til havstrømmene.



Hein Rune Skjoldal
hein.rune.skjoldal@imr.no

Harald Loeng
harald.loeng@imr.no

Ken Drinkwater
ken.drinkwater@imr.no

Allerede i 1909 sier Fridtjof Nansen og Bjørn Helland Hansen i boken *The Norwegian Sea* klart og tydelig at hovedårsaken til de store vekslingene i fiskeriene er temperaturvariasjoner i havet. Etter et symposium i København i 1948 sa daværende direktør for Havforskningsinstituttet, Gunnar Rollesen, at det var gjort liten framgang i å finne sammenhenger mellom de store variasjonene i havklima og utbredelse og mengde av de viktigste fiskeslagene. Utover på 1970-tallet økte forskningsinnsatsen omkring virkninger av klimaendringer på marine økosystemer, og ACIA-rapporten oppsummerer vår kunnskap basert på scenarier for oppvarming utover i dette århundret.

Stor usikkerhet i modellresultatene

Klimamodellene som simulerer fremtidens klima, konkluderer med at temperaturøkningen i Arktis vil være nær enn dobbelt så stor som den globale økningen, og at økningen om vinteren vil være langt større enn om sommeren. Dette vil gi en sterk reduksjon i sjøisdekket, hovedsakelig om våren og sommeren, mens endringene i vinterisdekket vil være langt mindre. Store områder vil derfor ha åpent vann om sommeren og være tilfrosset om vinteren. Enkelte modeller antyder at hele Polhavet kan bli isfritt om sommeren mot

slutten av dette århundret, mens andre viser en sterk reduksjon av isdekket i forhold til i dag. Endringene om vinteren blir langt mindre, men det er ventet at hele Barentshavet vil være isfritt året rundt når vi nærmer oss 2100. En konsekvens vil være at mye av flerårsisen vil forsvinne og mengden ettårsis vil øke. Det betyr også at istykkelsen vil avta.

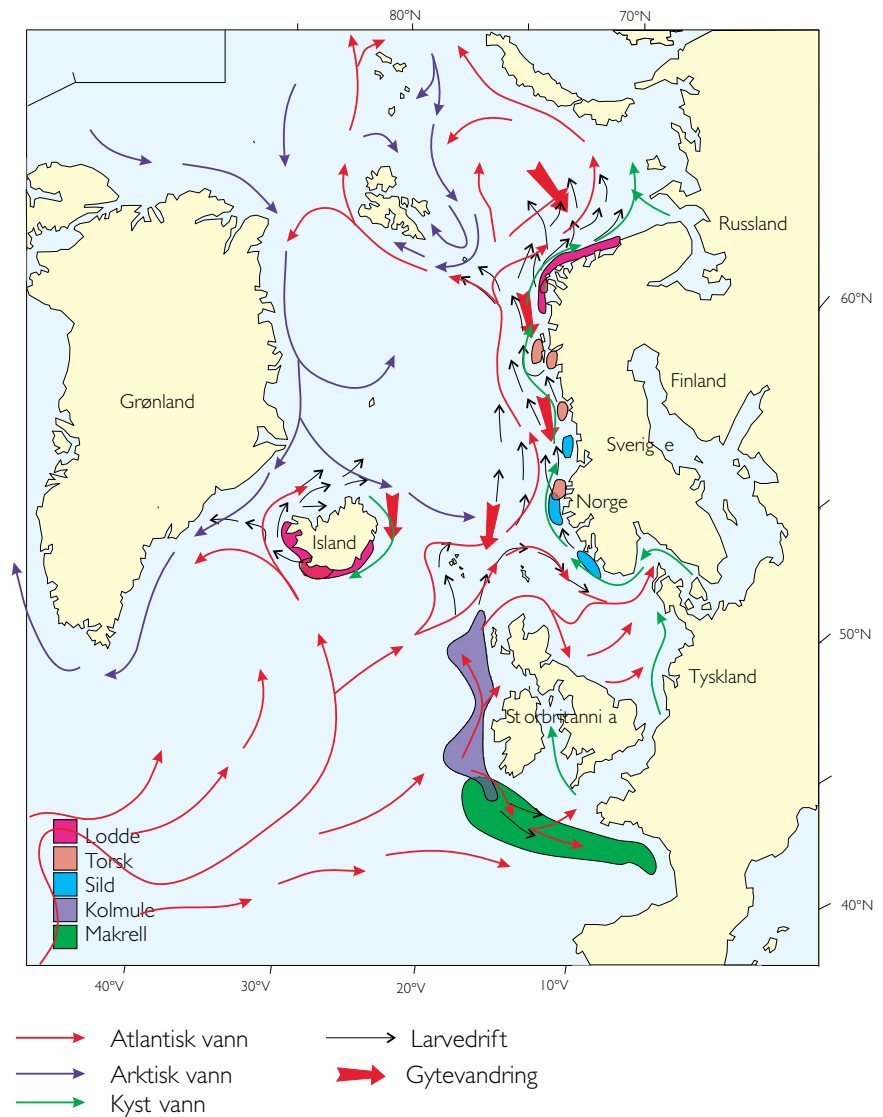
Det er grunn til å understreke den store usikkerheten i modellresultatene, men klimamodellene er stort sett enige om at isdekket vil bli redusert, uenigheten består i hvor mye. Det vi imidlertid kan være rimelig sikre på er at endringene blir størst i sommerhalvåret og minst om vinteren.

Økt temperatur i havet

Med denne klimaendringen er det forventet at temperaturene i Norskehavet og Barentshavet vil stige med 1–2 grader. Mer vind fra vest vil føre til en svak økning i vanntransporten langs kysten, til tross for at Golfstrømssystemet lenger sør i Atlanterhavet vil svekkes. Varmere luft og mer vind vil gi mer nedbør, og sammen med økt avrenning fra kontinentene og smelting av breer vil dette føre til lavere saltinnhold i havet. Det betyr at vannet nær overflaten vil bli lettere, noe som kan få stor betydning for den biologiske produksjonen. Det vil også virke inn på produksjonen av tungt vann i nordområdene, som er en av motorene som driver Golfstrømmen.

Havklima mer enn temperatur

Havstrømmene utgjør en viktig del av havklimaet. Strømmene transporterer varme



Figur 4.2.1

Fiskebestander har en romlig tilpasning med geografisk lukking av livssyklusen i forhold til strømsystemene. Gyting på gytefeltene, larvedrift med strømmene, næringsvandring og gytevandring tilbake til gytefeltene er faser i livssyklusen. Figuren viser gytefelt for lodde i Barentshavet, torsken i Barentshavet, norsk vårgytende sild, kolmule og makrell (vestlig bestand) og hovedtrekkene i larvedrift og gytevandring i forhold til strømsystemene. Figuren viser også gytefelt, larvedrift og gytevandring for lodde og torsk ved Island.

Fish stocks have adapted their life cycle phases in relation to the current system. These phases include spawning, larval transport by the currents, a feeding migration and a spawning migration back to the spawning grounds. The figure shows the spawning grounds for capelin and cod in the Barents Sea and Norwegian spring spawning herring, blue whiting and mackerel (western stock) plus the main features of the larval drift (thin black arrows) and spawning migrations (thick red arrows) relative to the surface currents. The figure also shows the spawning sites, larval drift and spawning migration for capelin and cod around Iceland.

og påvirker fordelingen av vannmasser. De transporterer også planktonorganismer og har dermed innvirkning på produksjonsforholdene i havområdene våre. Havstrømmene og vannmassene utgjør de dynamiske leveområdene for fiskebestandene.

Den atlantiske strømmen representerer en stor varmetransport nordover. Det varme atlantiske vannet som renner inn i Norskehavet, fortsetter nordover langs den norske kontinentalskråningen. Der forgrener den seg: noe tar en sløyfe inn i Nordsjøen, noe bøyer vestover mot Jan Mayen og resirkulerer i det sørlige bas-

senget av Norskehavet, noe renner inn i Barentshavet, noe resirkulerer i Grønlandshavet, og noe renner inn i Polhavet gjennom Framstredet. Selv om vannet gradvis avgir varme og avkjøles underveis, er det fortsatt temperaturer på pluss-siden i et tykt lag fra ca. 200 meter og ned til knappe 1000 meters dyp i Polhavet.

Mens det varme atlantiske vannet renner nordover i øst, renner det kaldt arktisk vann sørover i det vestlige Grønlandshavet og Islandshavet. Dette starter som en utstrømning av kaldt overflatevann fra Polbassenget gjennom Framstredet, og noe av det fortsetter som Østgrøn-

landsstrømmen sørover gjennom Danmarksstredet. Noe av det kalde arktiske vannet resirkulerer også i Grønlandshavet, Islandshavet og Norskehavet. Dette bidrar til en polarisering mellom en varm østside og en kald vestsider, skilt av en mer eller mindre skarp polarfront i disse havområdene.

Fisk må lukke livssyklusen

Det atlantiske vannet som renner nordover, transporterer ikke bare varme. Det utgjør også et stortilt transportsystem for fiskelarver for de aller fleste av våre kommersielle fiskebestander. Den vestlige bestanden av makrell gyter vest av De

britiske øyer og sørover i Biscayabukta, kolmule gyter vest av De britiske øyer, sild gyter på kystbanker utenfor Vest- og Midt-Norge, torsk gyter i hovedsak i Lofoten- og Vesterålen-området, og lodde gyter utenfor Troms, Finnmark og Kola (Figur 4.2.1). Larvene driver fra gytefeltene med strømmene til gunstige oppvekstområder for yngelen. Ettersom yngelen vokser til, tar den del i storstilte sesongmessige næringsvandring. Den modne fisken vandrer så tilbake til gytefeltene. Dette lukker livssyklusen i en geografisk sammenheng.

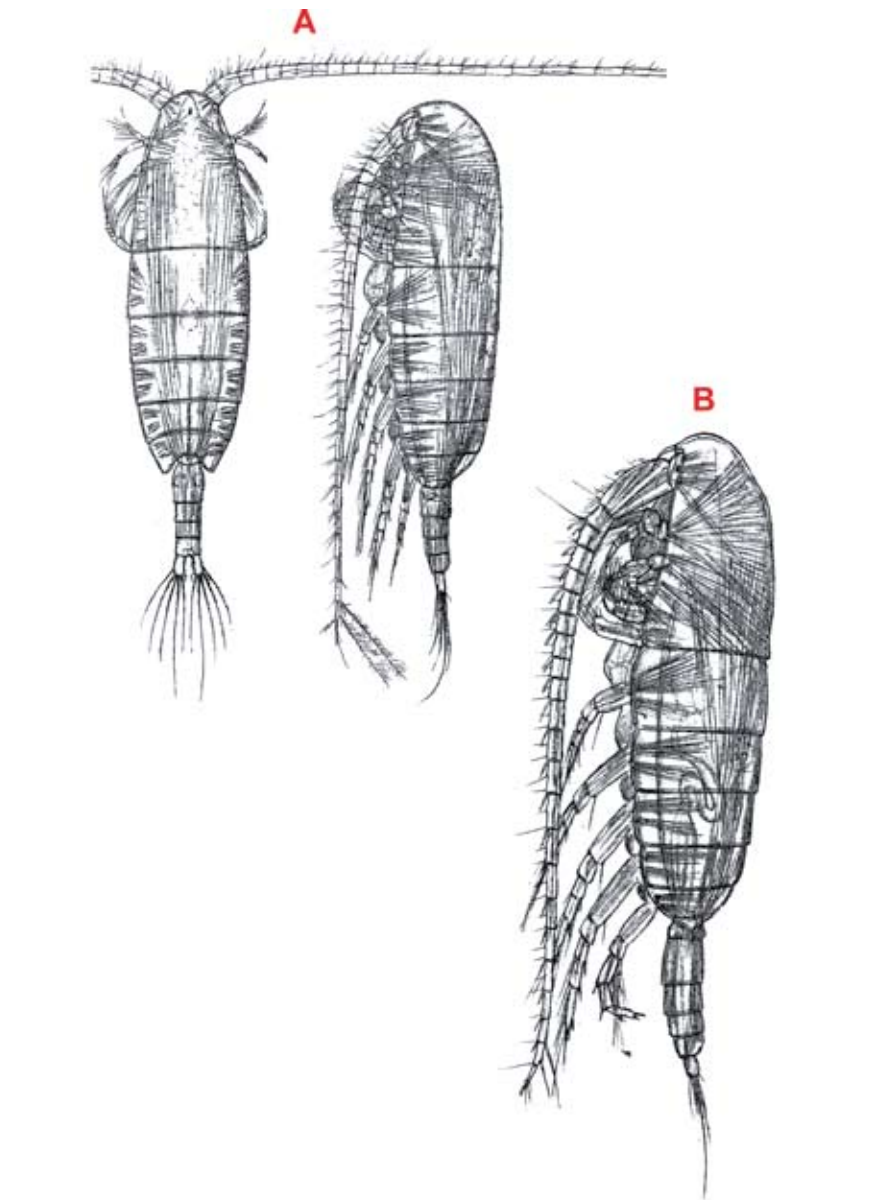
Store fiskebestander trenger et stort leveområde. De må beite på produksjonen fra et stort areal, og næringsvandring er ofte en forutsetning for å gi livsgrunnlag til en stor bestand. En enkelt sild kan vandre opp til 5.000 km i Norskehavet i løpet av ett år. Dersom den overlever lenge nok til å gyte ti ganger, vil den i løpet av sitt liv kunne vandre en distanse som tilsvarer jordens omkrets. Slike lange vandring krever mye energi. Generelt vil liten fisk svømme langsommere og har derfor mer begrenset rekkevidde enn større fisk. I motsetning til store bestander, vil små lokale bestander være tilpasset et avgrenset lokalt miljø hvor hovedutfordringen er å bli holdt tilbake i dette miljøet og ikke bli "vasket ut" og transportert vekk med strømmene.

Fiskebestander er gjennom evolusjon og økologisk adaptasjon tilpasset et dynamisk miljø og havklima. Hver bestand har funnet sin løsning på hvordan livssyklusen slutes i forhold til de dominerende strømmene som transporterer larver, og som fisken må navigere i. Disse løsningene gir bestander av ulik størrelse, avhengig av det romlige og dynamiske miljøet som fiskene lever i.

Selv om hovedtrekkene i strømmene er faste, er det stor variasjon over tid i strømstyrke og til dels retning. Slik pulserer strømmene og påvirker bestandene, som kan vise store endringer i respons på variasjoner i havklima. Siden de fleste store norske fiskebestander lever i det samme strømsystemet (Figur 4.2.1), er det ikke så overraskende at det er stor grad av samvariasjon mellom endringer i ulike fiskebestander.

Hvorfor er det ikke pelagiske fiskebestander i Grønlandshavet?

Grønlandshavet er havområdet mellom Jan Mayen, Svalbard og Grønland. Det ligger omtrent på samme breddegrad som Barentshavet og har en relativt høy produksjon. Ishavsåte (*Calanus hyperboreus*) (Figur 4.2.2), en større slektning av raudåte, forekommer i store mengder i Grønlandshavet. Til tross for dette er det



Figur 4.2.2

Raudåte (A; *Calanus finmarchicus*) og ishavsåte (B; *Calanus hyperboreus*) tegnet av Georg Ossian Sars. Begge artene finnes i våre havområder, men ishavsåte er mer vanlig i nordlige områder og dominerer i Grønlandshavet.

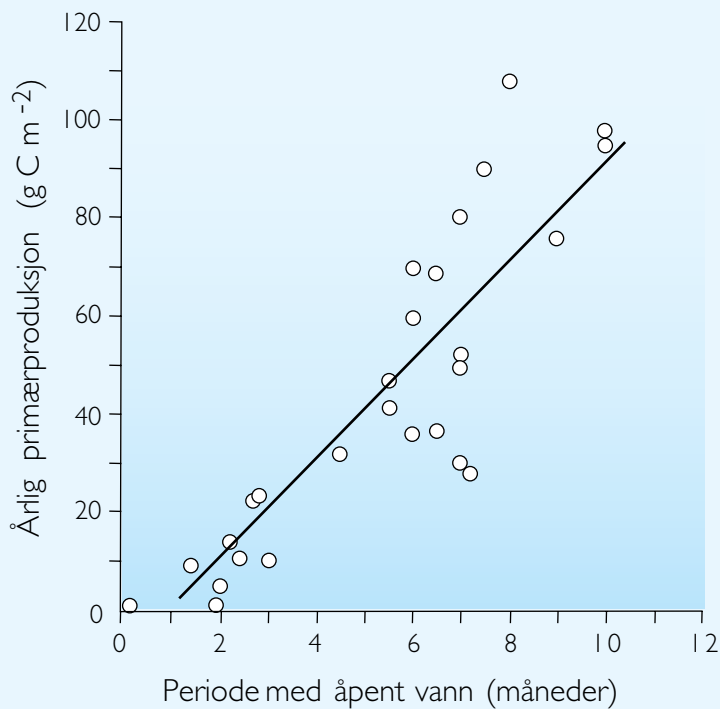
Two important copepods (A; *Calanus finmarchicus* and B; *Calanus hyperboreus*) drawn by G.O. Sars. Both species are found in our ocean region, but *C. hyperboreus* is more common in northern areas and dominates in the Greenland Sea.

ingen store pelagiske fiskebestander som har Grønlandshavet som sitt hjemsted og beitemark. Hvorfor er det slik? Hvorfor har ingen pelagiske fiskebestander etablert seg for å utnytte denne beitemark-en?

Et mulig svar ligger i den romlige tilpassningen og lukkingen av livssyklus som vi har vært inne på. Det er mulig at det ikke finnes noen god løsning for pelagiske fiskebestanders plassering av gytefelt, larvedrift til oppvekstområder, nærings-

vandring og gytevandring. Strømmene renner i stor grad gjennom Grønlandshavet på hver side. På den "varme" østsiden renner strømmen nordover, og larver fra gytefelt på sokkelen vest for Svalbard ville i stor grad bli transportert inn i Polhavet. På vestsiden renner den kalde Østgrønlandsstrømmen sørover. Den har sitt opphav i Polhavet og er i utgangspunktet fattig på dyreplankton.

Den norske vårgytende sildebestanden kan beite i området nordøst for Jan May-



Figur 4.2.3

Sammenheng mellom årlig primærproduksjon og varighet av isfritt åpent vann basert på målinger fra ulike steder i Arktis. (Fra Rysgaard et al. 1999. *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 179: 13-25).

The relationship between annual primary production and the ice-free period based on measurements from several sites in the Arctic. (From Rysgaard et al. 1999. Marine Ecology Progress Series, Vol. 179: 13-25).

en og nord til ca. 75°N vest for Bjørnøya. De sentrale delene av Grønlandshavet ser imidlertid ut til å være utenfor rekkevidde for sild, i hvert fall med dagens plassering av gytefeltet langs norskekysten. Bestanden av lodde ved Island, Østgrønland og Jan Mayen gyter langs sør- og vestkysten av Island, og larvene driver med Irmingerstrømmen til oppvekstområder nord for Island (Figur 4.2.1). Denne loddebestanden har næringsvandring nordover i Islandshavet og kan i enkelte år nå så langt nord som til området ved Jan Mayen. Lodde vest for Svalbard hører til bestanden i Barentshavet. Disse skal tilbake til norskekysten for å gyte. Polartorsk (*Boreogadus saida*) finnes i Grønlandshavet, men danner ingen stor vandrende bestand i dette havområdet. Deter mulig at forekomst av polartorsk her skyldes rekruttering fra andre bestander, f.eks. i det nordvestlige Barentshavet.

Mindre is – mer produksjon

Produksjonen av planteplankton i nordlige havområder er i stor grad styrt av isforholdene. Is begrenser lysgjennomgangen

til vannet under, og særlig er snødekket is effektiv til å stoppe lyset. Algeveksten er derfor sterkt begrenset i isdekte farvann. Målinger av primærproduksjon ulike steder i Arktis har vist at det er en klar sammenheng mellom størrelsen av den årlige produksjonen og varigheten av perioden med åpent vann om sommeren (Figur 4.2.3).

Med mindre is om sommeren er det rimelig å anta at primærproduksjonen vil øke markant i de arktiske havområdene. Den største endringen forventes først å skje over de arktiske sokkelområdene og kontinentalskråningene rundt dypbassengene i Polhavet, dvs. i områdene ut mot Polhavet nord for Barentshavet. Dersom prognosene om lite sommeris slår til, vil også de mer sentrale delene av Polhavet få en vesentlig økning i primærproduksjonen utover i århundret.

Ishavsåte (*Calanus hyperboreus*) (Figur 4.2.2) finnes allerede i Polhavet. Den klarer seg under de marginale forholdene med lav årlig planteplanktonproduksjon

ved å legge opp store fettreserver til den lange arktiske vinteren, og ved å bruke tre år på å bli voksent individ. Kjerneområdet for denne arten er trolig Grønlandshavet, hvor vekstbetingelsene er langt mer gunstige og livssyklusen kan gjennomføres i løpet av ett år heller enn tre.

Med mindre is og mer produksjon av planteplankton vil forholdene i Polhavet kunne bli relativt gunstige for ishavsåte, som vil kunne opptre i større mengder her. Det vil igjen kunne bedre næringsgrunnlaget for fisk og andre dyr høyere i næringskjeden. Samtidig vil *Calanus glacialis*, som i størrelse ligger mellom ishavsåte og raudåte, og som i dag dominerer i den kalde nordlige delen av Barentshavet, kunne få bedre vekstbetingelser over sokkelområdene rundt polbassenget. Store kopepoder (*Neocalanus cristatus*, *N. plumchrus* og *Calanus marshallae*) fra det nordlige Stillehavet og Beringhavet transporteres inn i Polhavet med strømmen som renner nordover gjennom Beringstredet. Disse artene vil også kunne få forhold som tillater vekst og utvikling i et Polhav med mindre is og mer planteplankton.

Nordlig forflytning av fiskebestander

Vi venter at det i et varmere hav med mindre is i Arktis vil bli en nordlig forskyvning av mange fiskebestander. Samtidig vil noen av disse forskyvningene kunne bli trinnvise, avhengig av at nye gyteplasser lenger nord tas i bruk slik at nye løsninger med geografisk lukking av livssyklus blir etablert. Kolmule vil kunne forskyves nordover. I de siste par årene med relativt varmt havklima har ung kolmule opptrådt i stor mengde i det sørvestlige Barentshavet. Kolmule gyter nå i hovedsak vest for De britiske øyer (Figur 4.2.1), men det forekommer også noe gyting utenfor norskekysten så vel som i norske fjorder. Med et gytefelt i Norskehavet og oppvekstområder i Norskehavet og Barentshavet, vil kolmule potensielt kunne utnytte planktonproduksjonen i Grønlandshavet under et varmere havklima.

Lodde forskyver seg øst-vest i Barentshavet i forhold til vekslinger mellom kalde og varme år. Det er imidlertid sannsynlig at lodda ikke har særlig mer rekkevidde å hente på sin beitevandring nordover i Barentshavet ved dagens plassering av gytefeltene utenfor Troms, Finnmark og Kola. En ytterligere forskyvning nordover betinger derfor sannsynligvis også en forskyvning av gytefeltene. Mulige gytefelt i et varmere hav vil kunne være grunne banker øst for Novaja Semlja og rundt Svalbard og øygruppene i det nordlige Barentshavet. Ved en slik østlig og nordlig forskyvning er det sannsynlig



Foto: Hans Hagen-Stockhausen

at lodda vil forsvinne fra de sørvestlige delene av sin nåværende utbredelse i Barentshavet.

Polartorsk finnes i dag med to bestandskomponenter i Barentshavet, en som gyter i det østlige Barentshavet og en som gyter i det nordvestlige området. Polartorsk gyter under isen om vinteren, og larvene klekkes om våren når isen smelter og planktonproduksjonen starter. Med mindre is og et varmere Barentshav, vil både gytefeltene og bestandene sannsynligvis skyves nordover.

En slektning av polartorsken er arktisk torsk, *Arctogadus glacialis*. Dette er en høyarktisk fisk som forekommer i Polhavet, særlig i den vestlige delen nord for Canada og Grønland. Biologien og økologien til arktisk torsk er lite kjent. Det er mulig at arktisk torsk vil kunne få bedret nærings situasjon i et Polhav med mindre sommeris og mer produksjon. Den er en slags joker i scenarier av den fremtidige utviklingen i Arktis under global oppvarming.

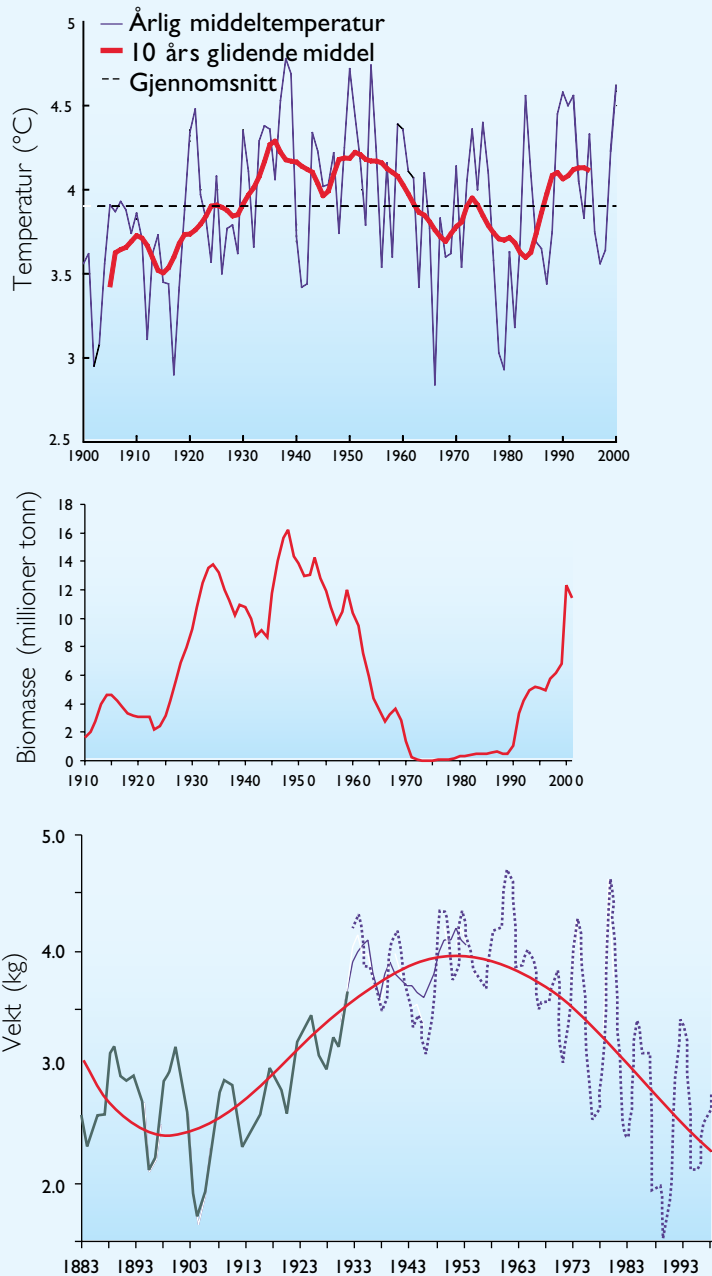
Sildeperioder

Helland-Hansen og Nansen i 1909, og senere Johan Hjort i 1913, skriver om

de store vekslingene i norske fiskerier. Silde og torsk har stått i en særstilling for kystbefolkningen i Norge. Vekslingene i fiskeriene har ment rikdom eller armod og har hatt stor betydning for matsituasjonen i en tid lenge før globalisering.

Sildefiskeriene har gått i lange bølger opp gjennom historien, med sildeperioder med svært rikt fiske fulgt av år hvor silde er blitt borte og fisket har vært dårlig. Dette har gått i bølger på omtrent hundre år, hvor sildeperiodene har startet på begynnelsen og sluttet ut i den andre halvdel av århundrene. Den forrige gode sildeperioden falt sammen med den varme klimatiske tiden fra 1920- til 1960-årene (Figur 4.2.4). Perioden tok slutt ved at sildebestanden kollapset, sannsynligvis som et resultat av sterkt overfiske kombinert med endrede klimatiske betingelser.

Sildebestanden tok seg kraftig opp utover på 1990-tallet og er nå tilbake på godt, gammelt nivå. Dette oppsvinget falt sammen med varmere klimatiske forhold fra slutten av 1980-årene og utover (Figur 4.2.4). Dersom historien skulle gjenta seg, og forutsatt en fornuftig forvaltning, kan vi forvente at sildeperioden varer 50–60 år før betingelsene igjen blir dårligere.



Figur 4.2.4

Hundreårs tidsserier av temperatur i Barentshavet, mengde av norsk vårgytende sild og gjennomsnittlig størrelse av torsk i Lofoten. Den øverste figuren viser årsmiddel og 10-års glidende middel for temperaturen på Kolasnittet i Barentshavet, målt av russiske forskere siden 1900. Den mellomste figuren viser tilbakeberegnet størrelse (i millioner tonn) av sildebestanden fra 1910; fra Toresen og Østvedt (2000). Den nederste figuren viser gjennomsnittlig vekt av torsk fanget i Lofotfisket med garn (1883–1953) og line (1932–1999). Den røde linjen viser langtidstrenden gjennom dataseriene. Fra Godø (2003; Fish and Fisheries, Vol. 4: 121–137).

A hundred-year time series of temperature in the Barents Sea, biomass of Norwegian spring-spawning herring and the estimated mean weight of cod in Lofoten. The upper figure shows the annual average and the 10-year running means of temperature on the Kola section in the Barents Sea, collected by Russian scientists since 1900. The middle figure shows the estimated spawning stock biomass (in millions of tonnes) of herring from 1910, taken from Toresen and Østvedt (2000). The lower figure shows the mean weight of cod caught in Lofoten with nets (1883–1953) and by long-lines (1932–1999). The red line shows the low-frequency trend in the data series. From Godø (2003).

Med global klimaendring kan imidlertid forutsetningene for svingningene endre seg.

Silda gyter på gytefelter langs kysten fra Lindesnes til Vesterålen. Det er kjent at silda vekslers i sin bruk av sørlige og nordlige gytefelt, noe som viser bestandens fleksibilitet. Plassering av gytefeltene er viktige for larvetransport og oppvekstområder, og for vandringsrutene til silda. I forhold til klimaendring vil denne fleksibiliteten sannsynligvis være viktig. I et varmere hav vil kanskje silda i større grad gyte på nordlige gytefelter, muligens også på kystbanker i Barentshavet. Da vil den kunne vandre lenger nord og utnytte beitemarker også nordover i Grønlandshavet. Silda vil kanskje også ta opp sine gamle beitevandringene til Island hvor den vil kunne overvintre.

Hva kan vi lære av torsken?

Også torsken i Barentshavet har vist store svingninger over tid. Vi hadde en krise i torskefiskeriene på slutten av 1980-tallet. Denne situasjonen markerte bunnen på en langvarig nedadgående trend i torskbestanden siden ca. 1950. Økt fiskepress var nok en viktig årsak til nedgangen, men også her kan klimatiske faktorer ha spilt en rolle.

I begynnelsen av forrige århundre var det også krise i torskefiskeriene i Nord-Norge. 1903 var et særlig dårlig år. Da var torsken som ble fisket i Lofoten så liten og så mager at det ble sagt at leveren sank i sjøvann.

En oversikt over gjennomsnittsvekten på torsk fanget i lofotfisket viser en markant langsiktig svingning. Torsken var liten i den kalde perioden rundt forrige århundreskifte, økte i den varme klimatiske perioden fra 1920- til 1950-årene, for så å avta i den kaldere perioden utover på 1970- og 80-tallet (Figur 4.2.4). I perioden med liten gjennomsnittsvekt på fisken ved begynnelsen av forrige århundre var lofotfisket nede på et lavt nivå. Dette skyldes sannsynligvis en liten bestand. Skrei gyter imidlertid ikke bare i Lofoten, men også på gytefelt helt sør til Vestlandet, og det er interessant at i den kalde perioden med dårlig fiske i Lofoten, var torskefisket etter skrei på Møre på et historisk toppnivå (Figur 4.2.5). Dette tyder på en forskyvning mot sørligere gytefelter under kalde klimatiske forhold. Omvendt har vi de siste varme årene sett at torsken i større grad har gytt nord for Vesterålen.

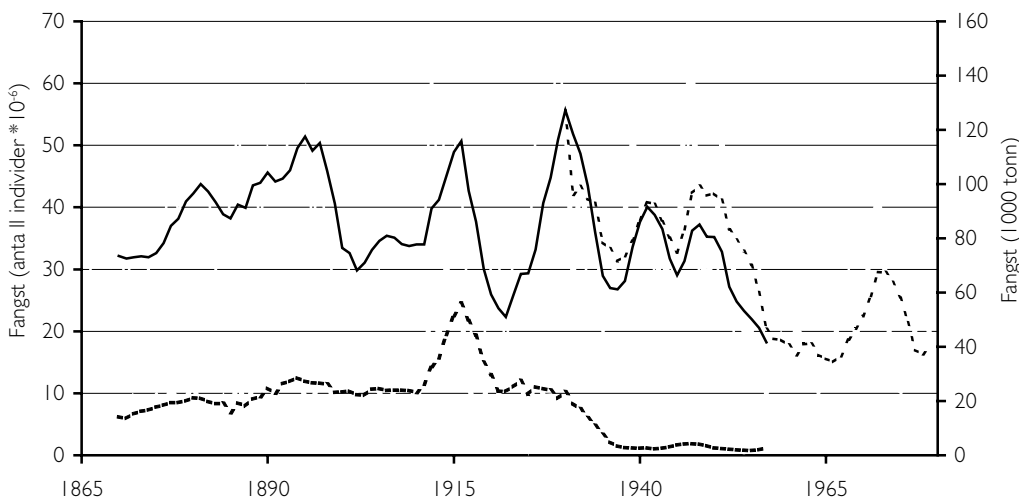
Det internasjonale havforskningsrådet (ICES) har de siste ti årene gjennomført

et prosjekt om torsk og klima (Cod and climate change). Her har informasjon om torskbestandene i Nord-Atlanteren blitt oppsummert og analysert i forhold til klimavariasjoner. Disse analysene viser et klart mønster. For torskbestander i den sørlige delen av utbredelsesområdet er en temperaturøkning negativ, og for noen av disse, f.eks. i Irskesjøen, kan global oppvarming medføre at bestanden forsvinner. For nordlige torskbestander som i Barentshavet, ved Island og New Foundland derimot, vil temperaturøkning kunne ha en positiv effekt.

Med et varmere hav må vi forvente at torsken i Barentshavet brer seg lenger øst og nord. Torsken er stor nok til å kunne vandre til nordlige beitemarker og fortsatt ha sine gytefelt langs Nord-Norge. Det vil imidlertid være viktig at torsken ikke beskattes for hardt slik at individer kan overleve til de er store og at gjennomsnittsstørrelsen på fisken ikke minker. Sterkt og selektivt fiskepress vil kunne endre de genetiske egenskapene i bestanden. Det er viktig at dette ikke skjer slik at torsken står best mulig rustet til å tilpasse seg klimaendringer.

Climate variations and fish abundance

The climate is changing, and a warmer Arctic is expected. This will have an important impact on both plankton and fish species. Higher plankton production is expected if the ice coverage is reduced, which in turn will influence abundance of several fish species. In addition, it is anticipated that climate change will have great impact on the distribution of important commercial species like blue whiting, mackerel, herring and cod. The article focuses especially on herring and cod.



Figur 4.2.5

Fangst av torsk (i antall fisk) for perioden 1866–1956. Den øverste tykke linjen viser den totale norske fangsten, mens den nederste prikkede linjen viser antall fanget på Møre. I den kalde klimatiske perioden på begynnelsen av forrige århundre var fisket i Lofoten lavt, mens det var på sitt høyeste på Møre. Den prikkede linjen viser til sammenligning den totale fangsten i 1000 tonn fra ca. 1930. Figuren er fra Godø (2003).
Catch of cod in numbers for the period 1866–1956. The upper thick line shows the total Norwegian catch while the thin line shows the numbers caught at Møre. In the cold climate period 100 years ago the fish catches in Lofoten were low but they were highest at Møre. The dashed line shows the total catch in 1000 tonnes from approximately 1930. From Godø (2003).